

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mouloud MAMMERY Tizi-Ouzou
Faculté du Génie de la Construction
Département de génie civil

En vue d'obtention du diplôme Master Académique

Spécialité : Génie Civil
Option : Géotechnique et Environnement

Présenté par :

BELMELLAT Noureddine

Thème

Analyse de la stratégie d'entretien du réseau routier Algérien

Devant le jury d'examen composé de :

- M^r GABI Smail *Maître de conférences à l'UMMTO président*
- M^r MELBOUCI Bachir *Professeur à l'UMMTO Rapporteur*
- M^{lle} BOUBRIT Hassiba *Maître Assistante à l'UMMTO Examineur*
- M^r HAMZA Ali *Maître de Conférences à l'UMMTO Examineur*

Soutenue le : 12/09/2013

Dédicace

Je dédie ce travail:

- ◆ À Mes chers parents pour toute leur affection et la bonne éducation.
- ◆ À mes frères et sœurs
- ◆ À tous mes cousins en Algérie, en France, en Italie, au Canada et aux Etats Unis d'Amérique.
- ◆ À toutes les familles BELACEL, AZOUANI, SAÏDANI et la famille OUAMEDDI.
- ◆ À tous les citoyens du village AIT BOUADDA.
- ◆ Aux nobles enseignants rencontrés tout au long de ma scolarité.
- ◆ À tous mes amis et amies, en particulier Mr HADJEBAR IDIR.
- ◆ À mon ami d'enfance, le regretté FERRAG NAZIL.

بِاللَّهِ وَأَنَا إِلَيْهِ رَاجِعُونَ

SOMMAIRE

La présente étude a pour objectif de pouvoir identifier, décrire, quantifier et analyser les mécanismes d'endommagement structurel se caractérisant, ou non, par des désordres de surface, correspondants aux principales structures des chaussées Algériennes, principalement sous faible et fort trafic. Une classification de ces désordres, ainsi qu'une recherche des causes ayant conduit à leur apparition sera menée. Pour chaque cause, une réparation ou confortement sera proposé.

La démarche proposée commence par des généralités sur les chaussées, puis un exposé de la problématique générale de l'entretien routier et la présentation globale de la politique de l'entretien du réseau routier en Algérie, comparativement aux pays de la sous-région (Afrique) et à la France, illustrant aussi leurs avantages et inconvénients.

Ensuite, une description de l'état du réseau routier Algérien, des différents types de dégradations de chaussées revêtues au monde ainsi que des différents types de dégradations souvent rencontrées sur les chaussées revêtues en Algérie indiquant leurs causes probables, sera proposée.

Par la suite, pour apporter des éléments d'information nécessaires aux décisions à prendre en matière d'entretien, un chapitre qui s'intitule ; Auscultation des chaussées, sera présenté et qui sera suivi par un diagnostic des chaussées bitumineuses (histoire de chercher et cerner les causes ayant conduit l'apparition des désordres).

Enfin, on se permet de faire une recommandation d'un ensemble de techniques (en terme de conception des renforcements ou réparations des désordres) coordonnées pour obtenir le meilleur résultat de réhabilitation ou d'entretien d'une chaussées ayant évolué au-delà des seuils admissibles.

Remerciements

La rédaction de ce projet de fin d'études a constitué une occasion de mesurer la part prise par toutes les personnes que nous avons côtoyées durant notre formation.

Ces personnes, par l'excellence des relations établies, ont largement facilité et contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Qu'il me soit permis par le biais de ce rapport de remercier vivement :

Ma famille, qui m'a soutenu durant toutes mes années d'études ;

Monsieur MELBOUCI BACHIR, le 1^{er} responsable du Laboratoire de Géotechnique, d'Environnement et Aménagement LGEA, Professeur à l'UMMTO, qui par sa disponibilité constante, ses conseils et son encadrement, m'a facilité ce travail en mettant à ma disposition les moyens nécessaires à sa réalisation;

Messieurs les membres du jury, pour leur dévouement ;

Monsieur BELMELLAT DJAMEL pour les conseils très utiles, les explications claires et précises qu'il n'a cessé de m'apporter tout au long de ce projet et surtout pour sa disponibilité.

Ma reconnaissance va également à l'endroit de tout le personnel du CTTP, de mes camarades de promotion et de tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réussite de ce projet.

Table des matières

	Page
DEDICACE.....	I
SOMMAIRE	II
REMERCIEMENTS	III
TABLE DES MATIERES	IV
LISTE DES TABLEAUX	VIII
LISTE DES FIGURES	IX
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES CHAUSSEES	2
Introduction.....	3
I.1. les structures de chaussées.....	3
I.1.1. Constitution d'une structure de chaussée.....	3
I.1.2. Les différents types de structures de chaussées.....	4
I.2. Mode de fonctionnement et d'endommagement de quelques types de chaussées.....	9
Conclusion.....	15
CHAPITRE II : POLITIQUE D'ENTRETIEN DES CHAUSSEES EN ALGERIE.....	16
Introduction	17
II.1. La politique d'entretien routier en Algérie.....	19
II.1.1. Définition de l'entretien courant.....	20
II.1.2. Définition de l'entretien périodique et réhabilitation.....	21
II.2. Comment dois-je entretenir ?.....	23
II.2.1. L'entretien curatif.....	23
II.2.2. L'entretien préventif.....	23
II.3. Combien cela va-t-il nous coûter ?.....	23
II.4. Stratégies d'entretien et de réhabilitation routiers mise en place dans la sous-région.....	25
II.4.1. Au Bénin.....	25
II.4.2. En Guinée Bissau.....	27
II.4.3. Au Ghana.....	28
II.5. Stratégie d'entretien et de réhabilitation routiers mise en place au Sénégal.....	29
II.5.1. Programme de l'entretien routier.....	29
II.5.2. Programme Triennal Glissant (PTG).....	29
II.5.3. Programme d'Entretien Routier Annuel (PERA).....	30
II.5.4. Avantages et inconvénients.....	31
II.6. Avantages et inconvénients du système d'entretien et de réhabilitation routiers au Bénin.....	31

II.7. Avantages et inconvénients du système d'entretien et de réhabilitation routiers en Guinée Bissau.....	31
II.8. Avantages et inconvénients du système d'entretien et de réhabilitation routiers au Ghana	32
II.9. Politique routière de maintenance par niveau de service de Septembre 2012 en France.....	32
Conclusion.....	36
CHAPITRE III : ETAT DU RESEAU ROUTIER ALGERIEN.....	37
Introduction	38
III.a. Le réseau routier Algérien.....	38
Conclusion.....	42
III.1. Les différents types de dégradation des chaussées dans le monde.....	43
III.1.1. Fissuration.....	43
III.1.2. Déformations de surface.....	48
III.1.3. Défauts d'enrobé et perte de revêtement.....	50
III.1.4. Dégradations et défaut en milieu urbain.....	52
III.2. Les principales dégradations de chaussées bitumineuses souples en Algérie...55	
III.2.1. Les fissures.....	57
III.2.2. Les déformations.....	60
III.2.3. Pertes de matériaux ou arrachements.....	63
Conclusion.....	66
CHAPITRE IV : LES DIFFERENTES CAUSES DES DEGRADATIONS.....	67
Introduction.....	68
IV.1. Processus de dégradation.....	68
IV.1.1. Le parc automobile.....	68
IV.1.2. Les conditions climatiques.....	69
IV.1.3. La qualité des matériaux.....	70
IV.1.4. La mise en œuvre.....	70
IV.2. Les causes des dégradations en Algérie.....	71
IV.3. Les causes dominantes en Algérie.....	73
IV.3.1. Au nord.....	73
IV.3.2. Au sud.....	78
Conclusion	79
CHAPITRE V : AUSCULTATION DES CHAUSSEES.....	80
Introduction.....	81
V.1. Principes de l'auscultation des chaussées.....	81
V.2. Etape 1 ; recueil des informations globales ou à caractère continu.....	82
V.3. Etape 2 : Découpage de l'itinéraire en zones homogènes – Implantation de zones témoins.....	108
V.3.1. Le pré-découpage à partir des dégradations.....	108
V.3.2. Le pré-découpage à partir des déflexions.....	108
V.3.3. Pré-découpage à partir du rayons de courbure.....	108
V.3.4. Pré-découpage à partir du drainage, géométrie et accotements.....	109
V.3.5. Visite pour implanter les sections témoins et observer les relations entre les paramètres relevés et l'environnement.....	109
V.3.6. Implantation des sections témoins.....	110
V.4. Etape 3 : Investigations complémentaires sur les sections témoins.....	110

VII.3.1.3. Les interfaces avec grillage d'armatures métalliques.....	152
VII.3.1.4. Les interfaces en géosynthétique.....	152
VII.3.1.4.1. Interposition d'un géotextile imprégné.....	157
VII.3.1.4.2. Les interfaces bitumineuses avec géogrilles en Polymère ou en fibre de verre.....	159
VII.3.1.4.3. Les interfaces avec armatures plastiques alvéolaires.....	160
VII.3.2. Le retraitement en place des chaussées souples (Traitement chimique).....	162
VII.3.2.1. Les fraisats d'enrobés.....	162
VII.3.2.2. Le retraitement aux liants hydrauliques.....	163
VII.3.2.2.1. Le retraitement à la chaux.....	163
VII.3.2.2.2. Le retraitement au ciment.....	167
Conclusion.....	171
Conclusion générale.....	172
Références bibliographiques.....	173

Liste des tableaux

	Page
Tableau 01 : les tâches de l'entretien courant. [CTTP Algérie. 1995].....	21
Tableau 02 : tâches d'entretien programmées sur chaussées. . [CTTP Algérie. 1995].....	22
Tableau 03 : Tâches et fréquence des entretiens au Bénin. [A.A.T.R 2006].....	25
Tableau 04 : Dégradations des routes au Ghana. [A.A.T.R 2006].....	28
Tableau 05 : Matrice des travaux sur axes routiers revêtus, par classe de trafic au Sénégal. [A.A.T.R 2006].....	30
Tableau 06 : Actions sur les déformations. France. [http://www.orne.fr/].....	33
Tableau 07 : Actions sur les fissures. France. [http://www.orne.fr/].....	33
Tableau 08 : Actions sur les arrachements. France. [http://www.orne.fr/].....	33
Tableau 09 : Actions sur les remontées. France. [http://www.orne.fr/].....	34
Tableau 10 : L'entretien programmé. France. [http://www.orne.fr/].....	34
Tableau 11 : Evolution de la consistance du réseau routier 2005-2009. [http://www.mtp.gov.dz/fr/].....	39
Tableau 12 : Classification des dégradations. [Le Ministère des Travaux Publics. 1976].....	56
Tableau 13 : Facteurs influant sur les dégradations.....	71
Tableau 14 : Récapitulatif des principales dégradations et de leurs causes probables en Algérie. [CTTP Algérie. 1995].....	72
Tableau 15 : Définition des classes de trafic. [LCPC-SETRA 2007].....	83
Tableau 16 : Importance de l'orniérage en fonction de l'étendue et la gravité.....	90
Tableau 17 : coefficient K correspondant à chaque type de structure. [LPC- N°153-1988].....	103
Tableau 18 : Classes de déflexion caractéristique. [LPC- N°153-1988].....	104
Tableau 19 : Classification de la qualité des interfaces. [LCPC-SETRA 2007].....	111
Tableau 20 : classifications des matériaux des sous-couches. [LCPC-SETRA 2007].....	111
Tableau 21 : La classe des MTLH en fonction des résistances mesurées en compression. [LCPC-SETRA 2007].....	112
Tableau 22 : les seuils par indicateur et par classe de route. [CTTP .1995].....	115
Tableau 23 : Classes de déflexion caractéristique. [LCPC-SETRA 2007].....	124
Tableau 24 : la valeur médiane minimale de rayon de courbure. [LCPC-SETRA 2007].....	125
Tableau 25 : Classement en zones homogènes en fonction du % de zones fissurées et faïencées. [LCPC-SETRA 2007].....	125
Tableau 26 : Classement de l'orniérage et des affaissements. [LCPC-SETRA 2007].....	126
Tableau 27 : Implantation des carottages. [LCPC-SETRA 2007].....	127
Tableau 28 : classifications des matériaux des sous-couches. [LCPC-SETRA 2007].....	127
Tableau 29 : Classification de la qualité des interfaces. [SETRA 2010].....	128
Tableau 30 : Module des matériaux non liés en MPa. [SETRA 2010].....	129
Tableau 31 : Module forfaitaire des enrobés bitumineux selon leur état de dégradation. [SETRA 2010].....	129
Tableau 32 : Coefficient d'agressivité moyen d'un poids lourd. [SETRA 2010].....	130
Tableau 33 : Zones climatiques de l'Algérie. [Le Ministère de l'équipement. 1992].....	139
Tableau 34 : Classes de trafic. [Le Ministère de l'équipement. 1992].....	139
Tableau 35 : Etat de la chaussée en fonction de l'uni. [Le Ministère de l'équipement. 1992].....	140
Tableau 36 : Evaluation de l'état de dégradation. [Le Ministère de l'équipement. 1992].....	141
Tableau 37 : Grille de décision pour le choix du type de renforcement. [Le Ministère de l'équipement. 1992].....	142
Tableau 38 : solutions de réparations. [COTITA-2012].....	143
Tableau 39 : Fonction, emplacement et type de renforcement dans les couches non-traitées. [Cost Action 348, 2004-1].....	153
Tableau 40 : Fonction, emplacement et type de renforcement dans les couches traitées. [Cost Action 348, 2004-1].....	156

Liste des figures

	Page
Fig.I.01. Constitution d'une structure de chaussée type. [LCPC, 1994].....	04
Fig.I.02 : les chaussées souples. [Saliou Lü & Massamba NDIAYE. 2009].....	04
Fig.I.03 : les chaussées semi-rigides. [Saliou Lü & Massamba NDIAYE. 2009].....	05
Fig.I.04 : les chaussées rigides. [Saliou Lü & Massamba NDIAYE. 2009].....	05
Fig.I.05 : les chaussées mixtes. [Saliou Lü & Massamba NDIAYE. 2009].....	06
Fig.I.06 : les chaussées inverses. [Saliou Lü & Massamba NDIAYE. 2009].....	06
Fig.I.07 : les chaussées bitumineuses épaisses. [Saliou Lü & Massamba NDIAYE. 2009].....	07
Fig.I.08 : Béton de ciment mince collé (BCMC). [Quang Dat TRAN. 2004].....	07
Fig.I.09 : Béton armé continu sur Grave bitume (BAC/GB). [Quang Dat TRAN. 2004].....	08
Fig.I.10 : Mode de fonctionnement d'une chaussée souple. [SETRA-LCPC 1994].....	10
Fig.I.11 : Mode de fonctionnement d'une chaussée semi-rigide. [SETRA-LCPC 1994].....	11
Fig.I.12 : Mode de fonctionnement d'une chaussée à structure mixte. [SETRA-LCPC 1994].....	12
Fig.I.13 : Mode de fonctionnement d'une chaussée à structure inverse. [SETRA-LCPC 1994].....	13
Fig.I.14 : Mode de fonctionnement d'une chaussée bitumineuse épaisse. [SETRA-LCPC 1994].....	14
Fig. II.1 : Organigramme DEER. [www.mtp.com].....	18
Fig. III.1 : Consistance du réseau routier. [http://www.mtp.gov.dz/fr/].....	38
Fig. III.2 : Consistance des ouvrages d'arts. [http://www.mtp.gov.dz/fr/].....	38
Fig. III.3 : Consistance du réseau routier revêtu ou non revêtu. [http://www.mtp.gov.dz/fr/].....	39
Fig. III.4 : Evolution de la consistance globale du réseau. [http://www.mtp.gov.dz/fr/].....	40
Fig. III.5 : Evolution de la consistance des RN. [http://www.mtp.gov.dz/fr/].....	40
Fig. III.6: Etat des routes nationales revêtues. [http://www.mtp.gov.dz/fr/].....	41
Fig. III.7 : Facteurs sollicitant la chaussée. [Ndéye Bigué Dieng MBOUP. Juillet 2004].....	41
Fig. III.08 : fissures transversales. [Ministère du transport Canadien. 2002].....	43
Fig.III.09 : fissures longitudinales en piste de roues. [Ministère du transport Canadien. 2002].....	44
Fig. III.10 : fissures longitudinales hors-piste de roues. [Ministère du transport Canadien. 2002].....	45
Fig. III.11 : fissures de rives. [Ministère du transport Canadien. 2002].....	45
Fig. III.12 : fissures de gel. [Ministère du transport Canadien. 2002].....	46
Fig.III.13 : faïençage dans les bandes de roulement. [Ministère du transport Canadien. 2002].....	46
Fig.III.14 : faïençage non spécifique aux bandes de roulement. [Ministère du transport Canadien. 2002].....	47
Fig.III.15 : faïençage circulaire. [LCPC 1998].....	47
Fig.III.16 : L'affaissement. [Ministère du transport Canadien. 2002].....	48
Fig.III.17 : L'orniérage. [Ministère du transport Canadien. 2002].....	48
Fig. III.18 : Le bourrelet. [CHEBREK Dehbia. 2010].....	49
Fig. III.19 : La flache. [CHEBREK Dehbia. 2010].....	49
Fig.III.20 : La tôle ondulée. [CHEBREK Dehbia. 2010].....	49
Fig. III.21 : Dés enrobage. [Ministère du transport Canadien. 2002].....	50
Fig. III.22 : Ressuage. [Ministère du transport Canadien. 2002].....	50
Fig. III.23 : Pelade. [Ministère du transport Canadien. 2002].....	51
Fig. III.24 : Nid de poule. [Ministère du transport Canadien. 2002].....	51
Fig. III.25 : Plumage. [CHEBREK Dehbia. 2010].....	51
Fig. III.26 : Tête de chat. [CHEBREK Dehbia. 2010].....	52
Fig.III.27 : Fissuration autour des regards et des puisards. [Ministère du transport Canadien. 2002].....	52
Fig. III.28 : Coupe et tranchée. [Ministère du transport Canadien. 2002].....	53
Fig.III.29 : Dénivellation des regards et des puisards. [Ministère du transport Canadien. 2002].....	53
Fig. III.30 : Evolution d'une dégradation dans le temps. : [Le Ministère des Travaux Publics. 1976].....	55
Fig. III.31: Fissures longitudinales parallèles à l'axe de chaussée. RN 71 (IRSANE).....	57
Fig. III.32: Fissures longitudinales parallèles à l'axe de chaussée. UMMTO. HASNAOUA. (TIZI OUZOU).....	57
Fig.III.33 : Fissures transversales perpendiculaires à l'axe de chaussée. RN 71 (IRSANE).....	58
Fig. III.34: Fissures transversales. RN 71 (ASSIF USSERDOUNE).....	58

Fig. III.35: Le faïençage. RN 71 (IRSANE).....	59
Fig. III.36: les épaufrures. (Village Ait BOUADDA- AZAZGA- TIZI OUZOU).....	59
Fig. III.37 : Ornière à grand rayon RN 71 (IRSANE).....	60
Fig. III.38 : Ornière à faible rayon RN 71 (CHEURFA).....	60
Fig.III.39 : Les tôles ondulées. (TIZI OUZOU).....	61
Fig. III.40: Les flaches. Boulevard AMIOUD (TIZI OUZOU).....	61
Fig. II.41 : Les affaissements. RN 71 (RABTA).....	62
Fig.III.42: plumage. RN 71 (IFIGHA).....	63
Fig.III.43 : Les pelades. RN 71 (IRSANE).....	64
Fig.III.44: Nid de poule. Boulevard AMIOUD (TIZI OUZOU).....	64
Fig.III.45: Nid de poule. RN 12 (AZAZGA).....	64
Fig.III.46: Ressuage. RN 71 (CHEURFA).....	65
Fig.III.47: Têtes de chat. RN 71 (IFIGHA).....	65
Fig. IV.1 : Action du compactage sur la chaussée. [http://www.cours-genie-civil.com].....	74
Fig. IV.2 : Loi du Logarithme. [http://www.cours-genie-civil.com].....	74
Fig. IV.3 : Loi du gradient. [http://www.cours-genie-civil.com].....	75
Fig.IV.4. Constitution d'une structure de chaussée incomplète. [LCPC, 1994].....	77
Fig. V.1 : Les trois étapes de l'auscultation. [LCPC-SETRA 2007].....	81
Fig. V.2 : Vu en plan de l'emplacement des sondages. [LCPC-SETRA 2007].....	85
Fig. V.3 : coupe d'un sondage. [LCPC-SETRA 2007].....	86
Fig. V.4 : distinction entre les fonctions de drainage et d'assainissement routier. [LCPC-SETRA 2007].....	87
Fig. V.5 : Système de la macro-camera pour détecter la fissuration de largeur > 0,6mm. [COTITA- Nantes 2012].....	89
Fig. V. 6 : étendue et gravité dans une ornière.....	90
Fig. V.7 : Analyseur de Profil en Long (APL). [LCPC-SETRA 2007].....	91
Fig. V.8 : Exemple de signal APL avec PO.....	91
Fig. V.9 : Exemple de signal APL avec MO.....	92
Fig. V.10 : Exemple de signal APL avec GO.....	92
Fig. V.11 : Schémas itinéraire ; uni longitudinal. [COTITA- Nantes 2012].....	93
Fig. V.12 : Le TUS. [LCPC-SETRA 2007].....	94
Fig. V.13 : Exemple de profil en travers individuel relevé par TUS. [LCPC-SETRA 2007].....	94
Fig. V.14 : Vue d'une rive de chaussée déformée et profil TUS correspondant. [LCPC-SETRA 2007].....	95
Fig. V.15 : Exemple de schéma itinéraire représentant les indicateurs en fonction de l'abscisse. [LCPC-SETRA 2007].....	95
Fig. V.16 : Déflexion et Rayon de courbure de la déformée sous charge mouvante. [LCPC-SETRA 2007].....	96
Fig. V.17 : La poutre Benkelman. [LCPC-2007].....	98
Fig. V.18 : le FWD. [LCPC-SETRA 2007].....	98
Fig. V.19 : Vue des trois systèmes principaux du déflectomètre. [LCPC-2007].....	99
Fig. V.20 : a) Le système de masse tombante, b) Suivi du bassin de déflexion.....	99
Fig. V. 21 : Le déflectographe. [LCPC-VECTRA-CETE].....	100
Fig. V. 22 : Exemple des résultats de mesure de déflexion. [LCPC-VECTRA-CETE].....	101
Fig. V. 23 : Le Curviamètre. [LCPC-2007].....	102
Fig. V.24 : Facteurs de correction des mesures de déflexion en fonction de la température pour les différentes structures. [LPC- N°153-1988].....	103
Fig. V.25 : Radar pour mesures longitudinales et transversales. [CETE].....	104
Fig. V.26 : Exemple de reconnaissance au RADAR dans le sens longitudinal. [LCPC-SETRA-2007].....	105
Fig. V.27 : Exemple de reconnaissance au RADAR des interfaces entre couches. [LCPC-SETRA-2007].....	106
Fig. V.28 : Exemple de reconnaissance au RADAR dans le sens transversal, mise en évidence de l'absence de couches d'assise près de la bande blanche qui explique l'affaissement en bord. [LCPC-SETRA-2007].....	106
Fig. V.29 : le CFT. [COTITA- Nantes 2012].....	107
Fig. V.30 : Exemple de découpage en sections élémentaires suivants les classes des différents paramètres.....	109

Fig.VI.1 : Évolution de la déformation en extension à la base de la couche de surface bitumineuse, dans le cas d'une chaussée souple « courbe en cloche ».....	131
Fig.VI.2 : Détermination de la couche ornierée par carottage.....	134
Fig. VII.a. : Cheminement général de la méthode. [Le Ministère de l'équipement. 1992].....	138
Fig. VII. 1 : PATA. [COTITA-2012].....	144
Fig. VII. 2 : Chauffage et nettoyage de la fissure (Air sous haute pression : 400°C). [COTITA-2012].....	145
Fig. VII. 3 : Application du mastic à base bitumineuse élastomère. [COTITA-2012].....	145
Fig. VII. 4 : Sablage. [COTITA-2012].....	146
Fig. VII. 5 : ESU monocouche. [COTITA-2012].....	146
Fig. VII. 6 : ESU monocouche. [COTITA-2012].....	147
Fig. VII. 7 : Exemple de travaux ESU. [COTITA-2008].....	147
Fig. VII. 8 : Exemple de travaux ECF. [COTITA- Aout 2011].....	148
Fig. VII. 9 : Aspect de surface avant mise en œuvre de la couche de roulement. [STBA-1999].....	150
Fig. VII. 10 : Compactage du sable enrobé Anti-fissure. [STBA-1999].....	150
Fig. VII. 11 : Aspect d'une membrane en bitume caoutchouc (élastomère) aussitôt après son répandage avant la mise en œuvre d'un enrobé ECF pour la protéger. [Bozkurt et al. (RILEM 2000)].....	151
Fig. V.II.12 : réduire ou éviter la remontée des fissures. [International Geosynthetic Society (IGS)].....	154
Fig. V.II.13 : barrière pour éviter le pompage des fines du sol. [International Geosynthetic Society (IGS)].....	154
Fig. V.II.14 : réduire l'épaisseur du revêtement bitumineux. [International Geosynthetic Society (IGS)].....	154
Fig. V.II.15 : augmenter la durée de vie de la chaussée. [International Geosynthetic Society (IGS)].....	155
Fig. V.II.16 : Géotextile imprégné de bitume. [Bozkurt et al. (RILEM 2000)].....	157
Fig. V.II.17 : A gauche : Sans géotextile – perte d'agrégats dans le sol mou de la plate-forme. A droite : Avec un géotextile – aucune perte d'agrégats, meilleure compacité. [DuPontTyparGéosynthétiques 2007].....	158
Fig. V.II.18 : les trois mécanismes de stabilisation. [DuPont Typar Géosynthétiques 2007].....	159
Fig. V.II.19 : les géogrilles. [MACCAFERRI 2012].....	159
Fig. V.II.20 : l'interposition de la géogrille. [MACCAFERRI 2012].....	160
Fig. V.II.21 : Remontée des Transversales. [Transport Québec].....	161
Fig. V.II.22 : Remontée des verticales. [Transport Québec].....	161
Fig. V.II.23 : influence de la chaux sur le pH. [LCPC-Nantes].....	164
Fig. V.II.24 : Effet sur la plasticité. [LCPC-Nantes].....	164
Fig. V.II.25 : Effet sur les caractéristiques Proctor. [LCPC-Nantes].....	165
Fig. V.II.26 : Effet sur l'IPI. [LCPC-Nantes].....	165
Fig. V.II.27 : Effet sur la portance après immersion. [LCPC-Nantes].....	166
Fig. V.II.28 : Effet sur la résistance. [LCPC-Nantes].....	166
Fig. V.II.29 : Effet sur la sensibilité aux variations de l'état hydrique. [LCPC-Nantes].....	166
Fig. V.II.30 : Stabilisation du sol au ciment. [Yves Thériault-2002].....	167
Fig. V.II.31 : Variation de la limite de liquidité et de plasticité en fonction du pourcentage de ciment. [GHEMBAZA M.S, DADOUCH M, BELLIA Z-2012].....	168
Fig. V.II.32 : Variation de l'indice de plasticité I_p en fonction du pourcentage de ciment. [GHEMBAZA M.S, DADOUCH M, BELLIA Z-2012].....	169
Fig. V.II.33 : Variation de la valeur au bleu en fonction du pourcentage de ciment. [GHEMBAZA M.S, DADOUCH M, BELLIA Z-2012].....	170

Introduction générale

L'entretien routier constitue aujourd'hui une des priorités de la politique d'ajustement structurel vu la superficie du pays, le transport diversifié en Algérie et les quantités importantes de marchandises à travers tout le pays. Même si quelques régions algériennes demeurent encore isolées en raison de l'absence d'infrastructure routière, le réseau routier algérien reste l'un des plus denses du continent africain.

Il est impératif de conserver la qualité première des infrastructures routières déjà faites et de veiller à ce qu'elles ne se dégradent pas faute de budget nécessaire pour leur remise en état, car le patrimoine routier d'un pays représente un capital qui requiert d'importants coûts d'investissement.

Lorsque la dégradation devient visible à tous, il est généralement trop tard, car elle a atteint son stade ultime. L'entretien correct qui aurait pu maintenir en bon état la chaussée pour nombreuses années s'avère dépassé, il ne reste plus comme solution qu'à reconstruire l'ouvrage.

C'est dans ce sens que s'inscrit ce projet de fin d'étude qui constitue une analyse de la stratégie d'entretien du réseau routier Algérien.

Il sera donc question, à travers cette étude, de comparer la stratégie d'entretien en Algérie par rapport à d'autres pays du monde, en tenant compte des dégradations les plus couramment rencontrées sur ces routes revêtues (souples et semi-rigides) et de leur causes probables, pour pouvoir enfin suggérer des solutions de réparation ou confortement.



CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES CHAUSSEES

Introduction

Le rôle principal d'une assise de chaussée est la répartition latérale des contraintes dues à des charges roulantes en surface afin de les amener à des niveaux compatibles avec les caractéristiques mécaniques du sol naturel.

Les chaussées dites souples sont des chaussées à revêtement hydrocarboné dont les couches de fondation et de base sont en matériaux granulaires non traités. La construction des chaussées souples requiert la mise en œuvre de deux à trois couches de matériaux différents dont la qualité augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche de la surface (module d'élasticité croissant du bas vers le haut).

La durée de vie des chaussées flexibles est généralement de l'ordre de 15 à 20 ans. Les épaisseurs et les types de matériaux à utiliser sont établis en fonction de la classe de route à construire, du trafic, des sols en place et des conditions climatiques particulières.

Ce chapitre introductif est découpé en 2 parties. Dans la première partie, on présente la constitution des chaussées et on illustre aussi les différents types de structure de chaussées, et enfin dans la seconde, on présente les modes de fonctionnement et d'endommagement de quelques types de chaussées.

I.1. les structures de chaussées

I.1.1. Constitution d'une structure de chaussée

Une chaussée est une structure multicouche constituée de trois parties principales qui ont chacune un rôle bien défini [LCPC, 1994] (Fig.I.01).

Tout d'abord le sol terrassé ou sol-support est surmonté généralement d'une couche de forme. L'ensemble sol-couche de forme représente la plate-forme support de la chaussée. La couche de forme a une double fonction. Pendant les travaux, elle assure la protection du sol-support, permet la qualité du nivellement ainsi que la circulation des engins. En service, elle permet d'homogénéiser les caractéristiques mécaniques des matériaux constituant le sol ou le remblai, et d'améliorer la portance à long terme.

Au-dessus de la couche de forme, la couche de base et la couche de fondation forment les couches d'assise. Celles-ci apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic et répartissent les pressions sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations à un niveau admissible.

Enfin, la couche de surface se compose de la couche de roulement et éventuellement d'une couche de liaison entre la couche de roulement et les couches d'assise. Elle a deux fonctions. D'une part, elle assure la protection des couches d'assise vis-à-vis des infiltrations d'eau. D'autre part elle confère aux usagers un confort de conduite d'autant plus satisfaisant que les caractéristiques de surface sont bonnes.

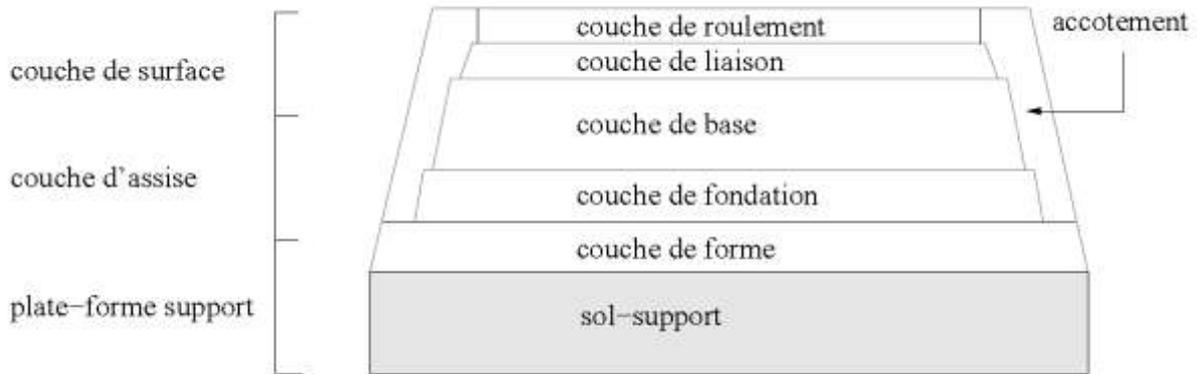


Fig.I.01. Constitution d'une structure de chaussée type. LCPC, 1994.

Selon les matériaux granulaires liés (enrobés, béton,...) ou non liés composants les couches des chaussées, nous distinguons plusieurs types de structure.

I.1.2. Les différents types de structure de chaussée

On distingue deux grandes familles de chaussée selon la nature de la surface de roulement: Les chaussées revêtues et les chaussées non revêtues.

I.1.2.1. les chaussées revêtues

Dans le document intitulé « Guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussée» [1] 2007, le LCPC et le SETRA ont classé les chaussées revêtues existantes en France en six types à savoir: **les chaussées souples, les chaussées semi-rigides, les chaussées rigides, les chaussées mixtes, les chaussées inverses, les chaussées bitumineuses épaisses.**

I.1.2.1.1. les chaussées souples

Ces chaussées tiennent leur nom du fait qu'elles ont l'aptitude de se déformer sans se rompre sous l'action des sollicitations[Gidel,2001]. Elles distribuent les efforts de surface à travers les couches de base et de fondation de façon que l'effort sur la plate-forme soit compatible avec la résistance de l'infrastructure et du sol. Elles sont constituées d'une couche bitumineuse en surface et d'une assise en matériau granulaire. L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 30 et 60 cm et dépend du trafic souvent faible et du climat. La structure type se présente comme suit:



1. Couche de surface en matériaux bitumineux
2. Couche de base en matériaux granulaires (< 15 cm)
3. Couche de fondation en matériaux granulaires(20 à 50 cm)
4. Plate-forme support

Fig.I.02 : les chaussées souples. SaliouLü&Massamba NDIAYE. 2009

I.1.2.1.2. Les chaussées semi-rigides

Encore appelées chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques, elles se différencient des chaussées souples par le fait que la couche de base doit être traitée au liant afin de lui conférer une rigidité plus élevée. La chaussée ainsi obtenue supporte un trafic plus élevé et les contraintes transmises au sol support sont aussi plus faibles. D'une épaisseur variant généralement entre 20 et 50 cm, la structure se compose d'un revêtement bitumineux, d'une couche de base améliorée au ciment et d'une couche de fondation en matériaux granulaires traités ou non. La structure type se présente comme suit:



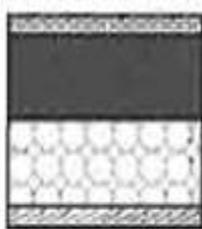
1. Couche de surface en matériaux bitumineux (6 à 14 cm)
2. Couche de base traitée au liant hydraulique
3. Couche de fondation traitée ou non
4. Plate-forme support

Fig.I.03 : les chaussées semi-rigides. SaliouLü&Massamba NDIAYE. 2009

I.1.2.1.3. Les chaussées rigides

Ces structures comportent une couche de béton de ciment de 15 à 40 cm d'épaisseur qui sert de couche de roulement, éventuellement recouverte d'une couche mince en matériaux bitumineux. La couche de béton repose soit sur une couche de fondation (en matériaux traités aux liants hydrauliques ou en béton maigre), soit sur une couche drainante en grave non traitée, soit sur une couche d'enrobé reposant elle-même sur une couche de forme traitée aux liants hydrauliques. La dalle de béton peut être continue avec un renforcement longitudinal (béton armé continu), ou discontinue avec ou sans éléments de liaison aux joints. Ces chaussées sont par conséquent peu déformables et elles absorbent la charge afin d'éviter une déformation, sur la fondation ou l'infrastructure, susceptible de causer la rupture. Pour des trafics élevés, ces types de chaussée ont des performances mécaniques très intéressantes, comparées aux autres types de structure et leur durée de vie est beaucoup plus élevée.

La structure type se présente comme suit :



1. Revêtement bitumineux mince (éventuel)
2. Couche de base en béton de ciment
3. Fondation de béton maigre
4. Plate-forme support

Fig.I.04 : les chaussées rigides. SaliouLü&Massamba NDIAYE. 2009

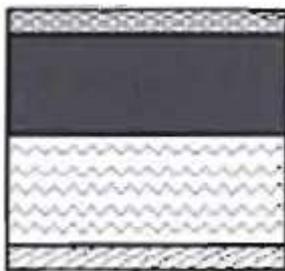
I.1.2.1.4. Les chaussées mixtes

Ces structures comportent une couche de roulement et une couche de base en matériaux bitumineux (épaisseur de la base : 10 à 20 cm) sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 40 cm). Les structures qualifiées de mixte sont telles que le rapport de l'épaisseur de matériaux bitumineux à l'épaisseur totale de chaussée soit de l'ordre de 1/2. Chaque couche assure une fonction bien déterminée:

- La couche de fondation traitée aux liants hydrauliques diffuse et atténue les efforts transmis au sol support.
- Les couches bitumineuses ralentissent la remontée des fissures transversales de la couche sous-jacente et réduisent les contraintes de flexion à la base de la structure tout en assurant les qualités d'uni et de continuité.

L'adhérence entre les couches bitumineuses et les couches traitées aux liants hydrauliques est le point faible de la structure. Elle peut être rompue par suite de dilatation différentielle entre les deux couches et de l'action du trafic, entraînant alors une forte augmentation des contraintes de traction à la base de la couche bitumineuse, qui peut ainsi périr par fatigue.

La structure type se présente comme suit:

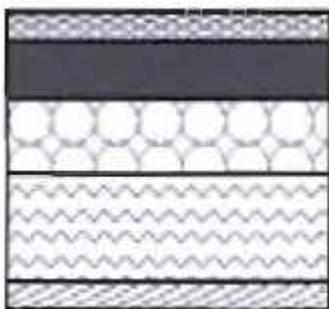


1. Couche de surface en matériaux bitumineux
2. Couche de base en matériaux bitumineux (10 à 20 cm)
3. Couche de fondation traitée aux liants hydrauliques (20 à 40 cm)
4. Plate-forme support

Fig.I.05 : les chaussées mixtes. SaliouLü&Massamba NDIAYE. 2009

I.1.2.1.5. Les chaussées inverses

Ces structures sont formées de couches bitumineuses, d'une quinzaine de centimètres d'épaisseur totale, sur une couche en grave non traitée (d'environ 12 cm) reposant elle-même sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques. L'épaisseur totale atteint 60 à 80 cm. La structure type se présente comme suit :

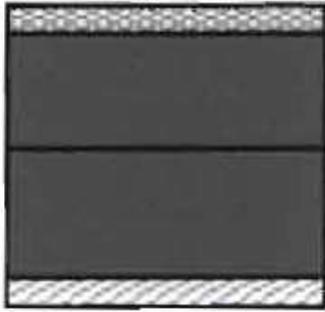


1. Couche de surface en matériaux bitumineux
2. Couche de base en matériaux bitumineux (10 à 20 cm)
3. Matériaux granulaires non traités (~ 12 cm)
4. Couche de fondation traitée aux liants hydrauliques (20 à 40 cm)
5. Plate-forme support

Fig.I.06 : les chaussées inverses. SaliouLü&Massamba NDIAYE. 2009

I.1.2.1.6. Les chaussées bitumineuses épaisses

Ces structures sont composées d'une couche de roulement bitumineuse sur un corps de chaussée en matériaux traités aux liants hydrocarbonés, fait d'une ou deux couches (base et fondation). L'épaisseur des couches d'assise est le plus souvent comprise entre 15 et 40 cm. Le fonctionnement des chaussées épaisses est d'autant plus différent de celui des chaussées souples que l'assise est épaisse. La rigidité et la résistance en traction des couches d'assise en matériaux bitumineux permettent de diffuser en les atténuant fortement les contraintes verticales transmises au sol. La structure type se présente comme suit:



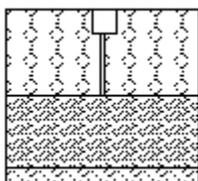
1. Couche de surface en matériaux bitumineux
2. Couche de base traitée aux liants hydrocarbonés
3. Couche de fondation traitée aux liants hydrocarbonés
4. Plate-forme support

Fig.I.07 : les chaussées bitumineuses épaisses. SaliouLü&Massamba NDIAYE. 2009

On peut encore distinguer :

I.1.2.1.7. Les chaussées composites

Afin d'offrir une solution concurrente aux chaussées classiques, deux nouvelles structures se développent depuis les années 1990 aux États Unis [Cole et al, 1998] et sont employées depuis moins d'une dizaine d'années en France [CIMbéton, 2000]. Ces structures combinent une couche de béton de ciment (pour leurs propriétés de durabilité et leur haut module) avec des couches en matériaux bitumineux (pour leurs bonnes propriétés d'adaptations). L'intérêt technique et économique de ces structures dépend essentiellement de la qualité et de la pérennité de l'adhérence mécanique du collage avec interface entre ces couches [Pouteau et al, 2004]. Ci-dessous deux types de structures composites sont présentés : le béton de ciment mince collé [Silverbrand, 1998] et le béton armé continu (BAC) sur grave bitume (GB).



Dalles en béton de ciment collé :

1. Béton de ciment (5-10 ou 10-15 cm)
2. Matériaux bitumineux
3. Plate-forme support

Fig.I.08 : Béton de ciment mince collé (BCMC). Quang Dat TRAN. 2004

La structure du béton de ciment mince collé (BCMC) est connue en France depuis 1996 [CIMbéton, 2000]. Elle consiste à réaliser des dalles minces (de 10 à 15 cm d'épaisseur) ou très minces (de 5 à 10 cm d'épaisseur) en béton sur un matériau bitumineux.



Béton armé continu :

1. BBTM + ES
2. Béton armé continu
3. Grave bitume
4. Plate-forme support

Fig.I.09 : Béton armé continu sur Grave bitume (BAC/GB). Quang Dat TRAN. 2004

La structure BAC sur GB est une structure composite qui se compose des couches suivantes : BBTM (Béton Bitumineux Très Mince)/ ES (Enduit Superficiel)/ BAC/ GB [Guidoux, 2000].

I.1.2.2. Les chaussées non revêtues

Il n'existe pas de classification universellement reconnue pour les chaussées non revêtues. Cependant, en fonction du degré d'aménagement, trois catégories sont à distinguer:

La piste saisonnière, la piste améliorée et la route en terre.

I.1.2.2.1. La piste saisonnière

C'est une voie suffisamment large pour laisser passer les véhicules à moteur. Son tracé est étroitement lié à la topographie du terrain dont elle épouse les caprices. L'assainissement est très sommaire voire inexistant. Cette piste peut ne pas être praticable en saison des pluies et la vitesse moyenne est de l'ordre de 25 à 50 Km/h.

I.1.2.2.2. La piste améliorée

Elle est par définition utilisable en toutes saisons. Cela suppose par rapport au niveau précédent, certaines rectifications du tracé, la construction de remblais destinés à mettre la chaussée hors d'eau dans les zones basses, la construction d'ouvrages d'art capables de résister aux crues, et enfin la mise en place d'une couche de roulement qui renforce la chaussée aux points faibles. La vitesse moyenne du trafic est de l'ordre de 50 à 60 Km/h.

I.1.2.2.3. La route en terre

C'est une route présentant les caractéristiques de tracés, de profils en long et en travers plus élaborées. On porte une attention plus grande aux problèmes de pentes et de rampes.

On circule encore sur le terrain naturel si celui-ci s'y prête, mais on n'hésite pas à le renforcer par une couche d'amélioration en matériaux sélectionnés partout où des faiblesses se manifestent ou risquent de se manifester. La chaussée peut aussi être considérée comme une chaussée structurée, pouvant être revêtue plus-tard. Elle est capable de supporter un trafic relativement important avec des vitesses moyennes de 80 à 100 Km/h.

I.2. Mode de fonctionnement et d'endommagement de quelques types de chaussées

I.2.1. Mode de fonctionnement et d'endommagement des chaussées souples[LCPC-SETRA 1994]

Assise de chaussée constituée de matériaux non traités, recouverte par une épaisseur bitumineuse relativement faible (inférieure ou égale à 12 cm).

I.2.1.1. Mode de fonctionnement

L'assise en matériaux non traités présente une faible rigidité qui est en relation avec l'épaisseur de la couche granulaire et la rigidité du sol ; cela a pour effet de rendre ces chaussées particulièrement sensibles aux variations d'état hydrique des matériaux non traités et des sols supports. La couverture bitumineuse relativement mince (≤ 12 cm) assure peu la diffusion des contraintes verticales dues au trafic et subit à sa base des efforts répétés de traction-flexion.

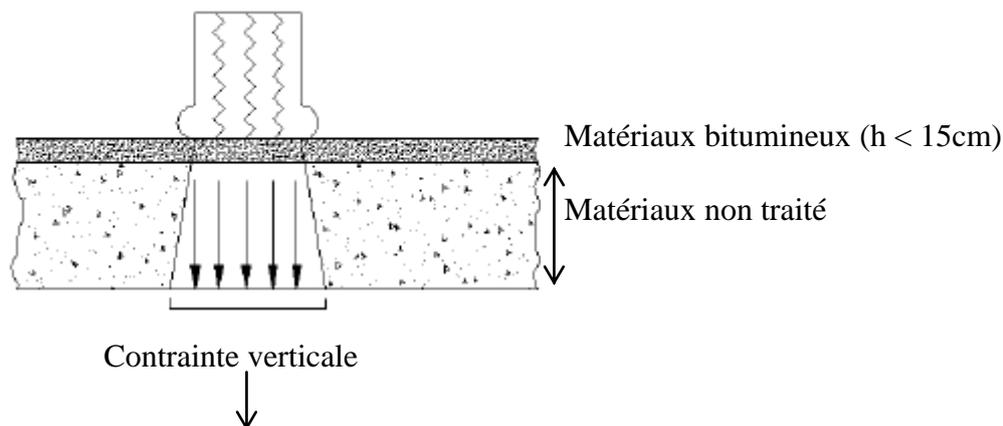


Fig.I.10 : Mode de fonctionnement d'une chaussée souple. SETRA-LCPC 1994

I.2.1.2. Mode d'endommagement

Les efforts verticaux transmis aux matériaux non traités et au sol support sont relativement élevés, ce qui a pour effet d'entraîner l'apparition de déformations permanentes en surface (ornièrage à grand rayon, flaches et affaissements) ; ces déformations croissent avec le cumul du trafic. Les efforts répétés de traction - flexion à la base de la couverture bitumineuse entraînent une fatigue de celle-ci, qui se traduit en surface par l'apparition de fissuration longitudinale évoluant rapidement vers un faïençage à mailles fines.

La possibilité pour les eaux superficielles de s'infiltrer dans l'assise provoque une accélération des dégradations : épaufures aux lèvres des fissures avec départ de matériaux, augmentation de l'amplitude des déformations, puis apparition de nids de poule.

I.2.2. Mode de fonctionnement et d'endommagement des chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques (semi-rigides)[LCPC-SETRA 1994]

Assise constituée de matériaux traités avec un liant hydraulique.

I.2.2.1. Mode de fonctionnement

- La grande rigidité des matériaux traités aux liants hydrauliques permet d'atténuer fortement les contraintes verticales transmises au support de chaussée.
- L'assise traitée subit des contraintes de traction-flexion qui s'avèrent déterminantes pour le dimensionnement de ce type de chaussée.
- Tant que l'interface entre la couche de base et la couche de fondation est collée, la contrainte maximale de traction est observée à la base de la couche de fondation. Si cette interface est décollée ou glissante, les couches travaillent toutes deux en traction à leur base. La qualité des interfaces a donc une grande incidence sur le comportement de ces chaussées.
- Les assises traitées aux liants hydrauliques sont sujettes aux retraits de prise et thermique qui provoquent une fissuration transversale remontant rapidement au travers de la couche de roulement (de l'ordre du centimètre par an), selon un espacement assez régulier (entre 5 et 15 m).
- Suivant les variations thermiques, l'ouverture de la fissuration évolue de quelques dixièmes de mm à quelques mm entraînant des conditions d'engrènement variables.

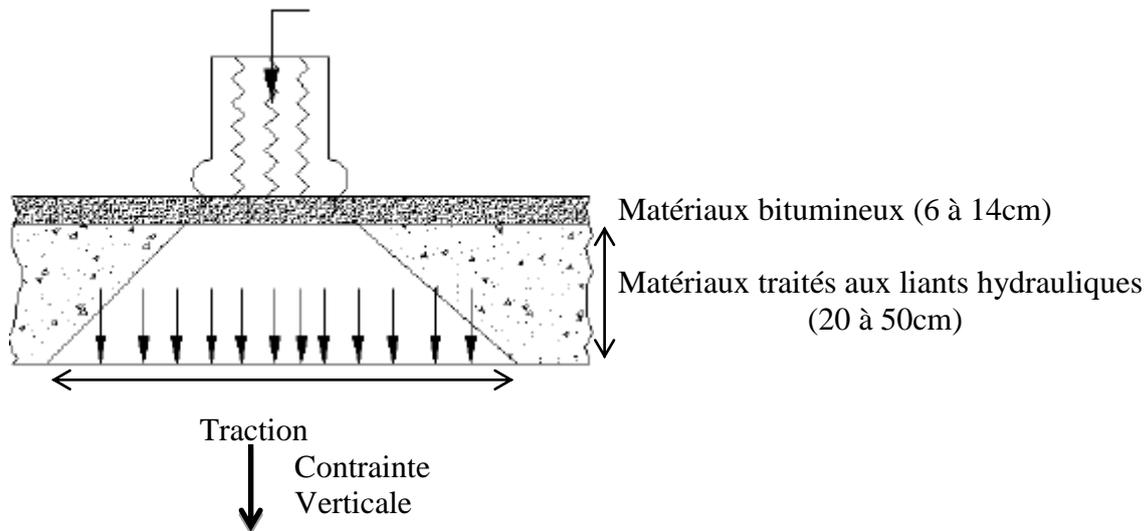


Fig.I.11 : Mode de fonctionnement d'une chaussée semi-rigides. SETRA-LCPC 1994

I.2.2.2. Mode d'endommagement

Au droit des fissures transversales de retrait :

- souvent franche lors de son apparition, la fissuration transversale tend à se dédoubler et à se ramifier sous l'effet du trafic. L'étanchéité de surface n'étant plus assurée, la pénétration des eaux superficielles lors de précipitations entraîne une dégradation de la structure. Sous l'effet du trafic lourd, l'eau présente dans la fissure transversale fait l'objet d'un pompage (surpression – dépression) ayant pour conséquences :
 - une diminution de la qualité du collage des interfaces et une désagrégation de la partie supérieure de l'assise et des parois de la fissure ;
 - une augmentation de l'allongement à la base de la couverture bitumineuse ;
 - un accroissement des contraintes de traction à la base des couches traitées et indirectement de la contrainte verticale sur le support de chaussée.
- En l'absence d'entretien (scellement des fissures de retrait), la dégradation de la fissuration transversale peut se traduire par l'apparition de remontées de boues en surface en période humide, la formation de flaches associées à du faïençage et des départs de matériaux (nids de poule).

Sur l'ensemble de la chaussée :

- par suite de coefficients de dilatation thermique différents entre les matériaux bitumineux et hydrauliques et des contraintes tangentielles induites par l'action du trafic, l'interface entre matériaux bitumineux et matériaux hydrauliques peut être amenée à se décoller. Les quelques centimètres supérieurs de l'assise traitée étant souvent de plus faible résistance, un glissement partiel peut rapidement apparaître, ce qui a alors pour conséquence une dégradation rapide de la couche bitumineuse, par fatigue structurelle.
- les efforts répétés de traction à la base de l'assise hydraulique entraînent sa dégradation par fatigue, traduite par une fissuration longitudinale qui se développe dans les bandes de roulement, et conduit à terme à la ruine de la structure en se maillant avec les fissures de retrait.

I.2.3. Mode de fonctionnement et d'endommagement des chaussées à structures mixtes [LCPC-SETRA 1994]

Assise constituée de 2 couches de matériaux différents : fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques et base en matériaux bitumineux ; le rapport entre les épaisseurs bitumineuses totales et la couche de fondation doit être voisin de 1.

I.2.3.1. Mode de fonctionnement

- Les matériaux hydrauliques de la couche de fondation diffusent et atténuent, du fait de leur rigidité élevée, les efforts transmis au sol support.
- Grâce à son épaisseur, la couche de base en matériaux bitumineux permet de ralentir la remontée des fissures transversales de la couche de fondation et d'atténuer les gradients thermiques journaliers ; en plus, ses performances mécaniques lui permettent de réduire les contraintes de flexion à la base de la couche de fondation.
- Par suite de coefficients de dilatation thermique différents entre les matériaux bitumineux et hydrauliques et de l'action du trafic, les couches de base et de fondation peuvent finir par se décoller et se rompre dans certaines zones, ce qui conduit à considérer un mode de fonctionnement mécanique de la structure en deux temps :
 - 1^{er} temps : l'interface entre les couches de fondation et de base est considérée collée : la base de la couche traitée aux liants hydrauliques est sollicitée en fatigue par traction.
 - 2nd temps : l'interface entre les couches de fondation et de base est localement décollée : dès lors, les 2 couches sont fortement sollicitées en traction à leur base.

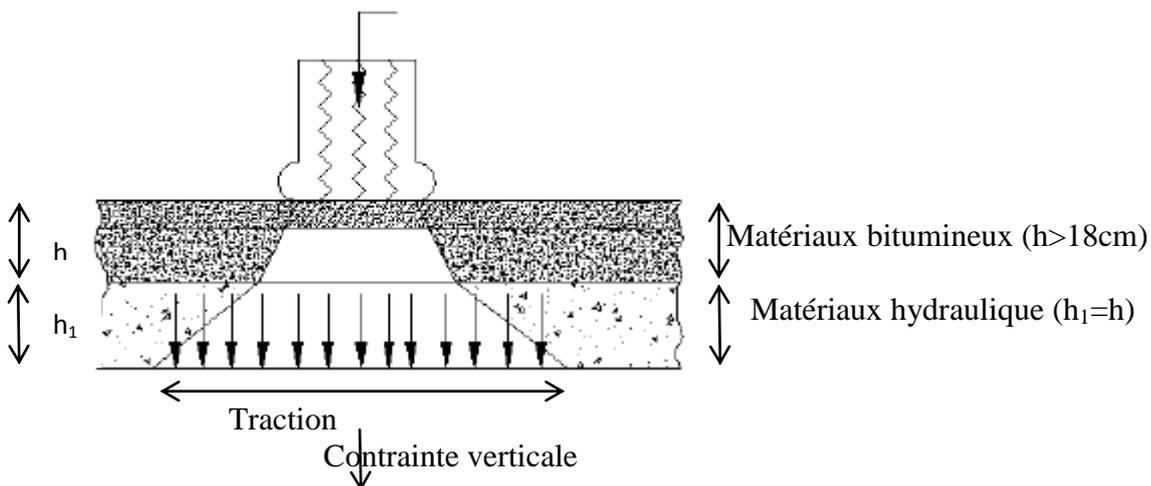


Fig.I.12 : Mode de fonctionnement d'une chaussée à structure mixte. SETRA-LCPC 1994

I.2.3.2. Mode d'endommagement

- La fissuration transversale de retrait de la couche de fondation affecte au fil du temps les couches bitumineuses. Ces fissures par l'effet du trafic et des pénétrations d'eau évoluent en se dédoublant, entraînant une dégradation des matériaux bitumineux.
- Les efforts répétés de traction à la base de l'assise hydraulique entraînent sa dégradation par fatigue traduite par l'apparition d'une fissuration longitudinale remontant peu à peu dans la structure. Lorsque la grave hydraulique est dégradée et/ou que l'interface entre les matériaux hydrauliques et bitumineux présente des signes de faiblesse, la couche de base est sollicitée à son tour par fatigue, ce qui se traduit alors par l'apparition d'une fissuration longitudinale.

I.2.4. Mode de fonctionnement et d'endommagement des chaussées à structures inverses [LCPC-SETRA 1994]

Assise de chaussée constituée de matériaux traités aux liants hydrauliques, recouverte par une couche intermédiaire en grave non traitée de faible épaisseur (~ 12 cm), et une couche de base en matériau bitumineux (grave-bitume).

I.2.4.1. Mode de fonctionnement

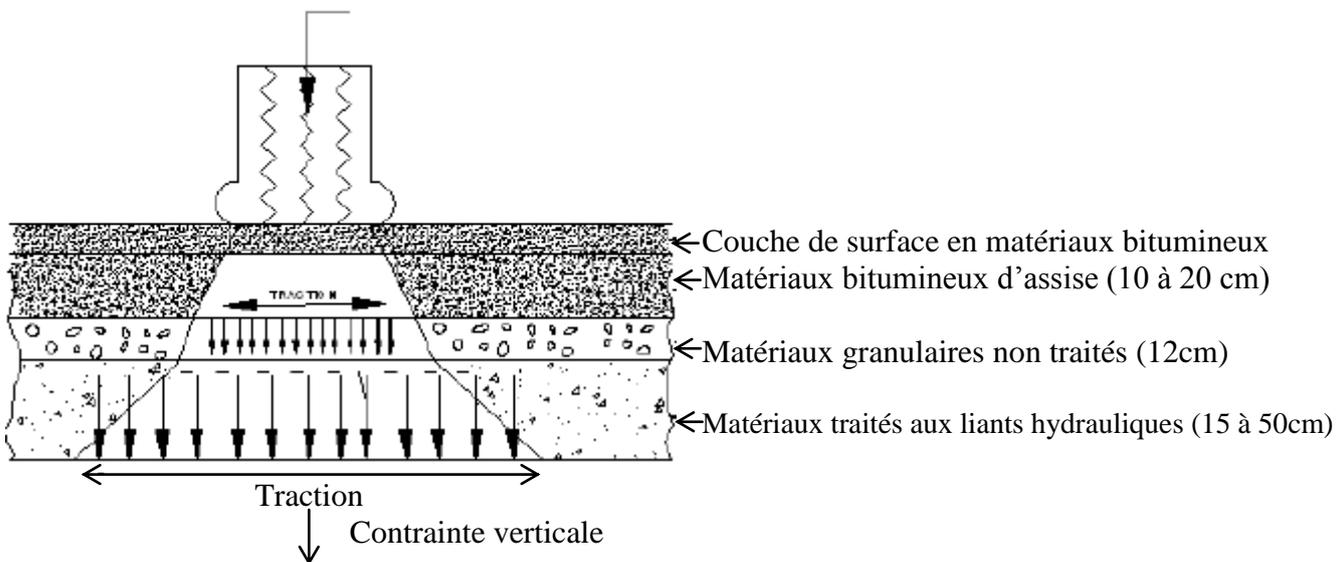


Fig.I.13 : Mode de fonctionnement d'une chaussée à structure inverse. SETRA-LCPC 1994

La grande rigidité des matériaux traités aux liants hydrauliques permet d'atténuer fortement les contraintes verticales transmises au support de chaussée.

La rigidité des couches bitumineuses permet de diffuser, en les atténuant, les contraintes verticales transmises à la couche de grave non traitée. Les efforts induits par les charges roulantes sont repris en traction-flexion dans les couches bitumineuses.

Le rôle de la couche de Grave Non Traitée (GNT) est de ralentir la remontée des fissures de retrait thermique de la grave hydraulique.

Tant que les interfaces entre les couches bitumineuses restent collées, les efforts de traction maximaux se produisent à la base de la couche bitumineuse inférieure.

I.2.4.2. Mode d'endommagement

Deux modes d'endommagement concourent à la ruine de la chaussée :

- fissuration longitudinale de fatigue des couches bitumineuses qui favorise les entrées d'eau dans la Grave Non Traitée (GNT), altère sa rigidité et la rend plus sensible aux déformations permanentes. Ce phénomène amplifie la fatigue des couches bitumineuses avec évolution rapide vers du faïençage.
- fissuration transversale de retrait thermique de la Grave Traitée Aux Liants Hydrauliques (GTLH) qui apparaît en surface sous forme de fissures irrégulières, dédoublées donc difficile à étancher.

I.2.5. Mode de fonctionnement et d'endommagement des chaussées bitumineuses épaisses [LCPC-SETRA 1994]

Assise constituée en matériaux bitumineux d'épaisseur supérieure à 12 cm.

I.2.5.1. Mode de fonctionnement

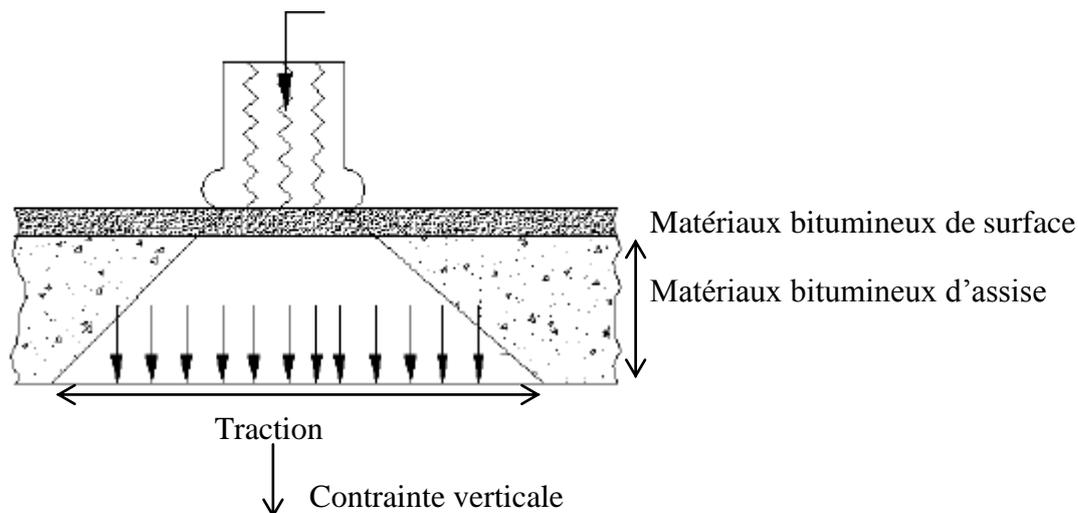


Fig.I.14 : Mode de fonctionnement d'une chaussée bitumineuse épaisse. SETRA-LCPC 1994

La rigidité des couches en matériaux bitumineux permet de diffuser, en les atténuant fortement, les contraintes verticales transmises au support. Les efforts induits par les charges roulantes sont repris en traction-flexion dans les couches bitumineuses.

Tant que les interfaces entre les différentes couches restent collées, les efforts de traction maximaux se produisent à la base de la couche la plus profonde.

Si les couches sont décollées, chacune d'elles se trouve sollicitée en traction et peut se rompre par fatigue. La qualité des interfaces a donc une grande incidence sur le comportement de ces chaussées.

I.2.5.2. Mode d'endommagement

Dans le cas d'une chaussée correctement dimensionnée vis-à-vis du trafic et de la plate-forme support, les premières dégradations affectent généralement les couches de surface :

- Orniérage par fluage de la couche de surface, favorisé par des températures élevées, un trafic lourd lent ou des choix inadaptés de matériaux et de formulation.
- Arrachement de gravillons sous l'effet des efforts tangentiels engendrés par le trafic.
- Apparition d'une fissuration anarchique traduisant un durcissement par vieillissement du bitume de la couche de roulement (oxydation, gradients thermiques, lessivage des eaux superficielles).
- Les efforts verticaux transmis au support sont généralement suffisamment faibles pour ne pas entraîner de sollicitations excessives du sol à l'origine de déformations permanentes avant l'endommagement par fatigue des couches bitumineuses liées (sauf cas exceptionnels tels qu'une circulation intense après un hiver très rigoureux ou un défaut d'exécution par exemple).
- A plus long terme, les efforts répétés de traction-flexion à la base de l'assise bitumineuse entraînent une dégradation par fatigue de celle-ci, se traduisant par l'apparition d'une fissuration remontant peu à peu du fond de la structure jusqu'à affecter la couche de roulement. La fissuration longitudinale observée dès lors en surface évolue vers du faïençage dont la dimension des mailles se réduit peu à peu, cette transformation s'amorçant dans les zones plus faibles (qualité de portance du support, caractéristiques du matériau lié, zone de décollement entre couches.).
- Des fissurations longitudinales dans les bandes de roulement peuvent aussi apparaître en progressant du haut vers le bas des couches bitumineuses.

Conclusion

Pour revenir au contexte Algérien, il incombe de préciser d'avance que dans cette partie nous avons décrit les différents types de chaussées précitées mais pour la suite du travail, nous nous limiterons aux chaussées revêtues bitumineuses souples et semi-rigides qui sont les plus utilisées, puisque on note 77% du réseau routier national qui est revêtu, contre 23% du réseau non revêtu et en totalité, nos chaussées sont à revêtement bitumineux et pas en béton.



CHAPITRE II : POLITIQUE D'ENTRETIEN DES CHAUSSEES EN ALGERIE.

Introduction :

Tenter de donner une définition de l'entretien routier risque de cantonner cette action dans des explications purement techniques relevant de la seule compétence des techniciens de la route. L'origine de l'entretien (obligation de préserver un investissement de la collectivité) et sa finalité (nécessaire continuité d'un service public), en font en premier lieu un acte de gestion politique au sens très large du terme regroupant les aspects social, économique, administratif et juridique. L'acte technique en lui-même n'est que la traduction sur le terrain des décisions prises par l'institution ayant la charge de la gestion de la route.

L'entretien présente des caractéristiques communes à toutes les stratégies :

- L'entretien routier est composé d'actions menées dans le but de préserver à la route le même niveau de service pour lequel elle a été construite.
- Les actions de l'entretien ne peuvent pas augmenter le niveau de service de la route.
- Le manque d'entretien aboutit inévitablement à la ruine de la route.
- La connaissance et la surveillance du réseau sont des préalables à toute action d'entretien.

On tire de ces affirmations les corollaires suivants :

- On ne peut entretenir efficacement une route présentant des défauts de conception ou de réalisation.
- Une variation contraignante de conditions (essentiellement : un accroissement imprévu et important du trafic lourd) rend l'entretien inopérant.
- L'entretien est une action qui ne s'arrête jamais.
- Il faut organiser les services de l'entretien.

Définir une politique d'entretien, c'est viser des niveaux de qualité en cohérence avec les contraintes budgétaires et les attentes des usagers, c'est donc définir des stratégies d'entretien par catégorie de route qui vont ensuite être traduites en termes techniques.

L'entretien est un ensemble des actions entreprises pour maintenir la qualité de la route et de ses équipements afin d'assurer à l'utilisateur des conditions de sécurité et de confort définies.

* **Organisation de la gestion de l'entretien routier en Algérie :**

La Direction de l'Exploitation et de l'Entretien Routiers (DEER), créée en octobre 1990 , a pour missions d'une part, d'offrir aux usagers du réseau routier national un niveau de service satisfaisant de confort et de sécurité grâce à un entretien des chaussées, des dépendances et des équipement de signalisation et de sécurité et d'autre part d'assurer la préservation du patrimoine routier (chaussées, ponts, tunnels).

a. Niveau central

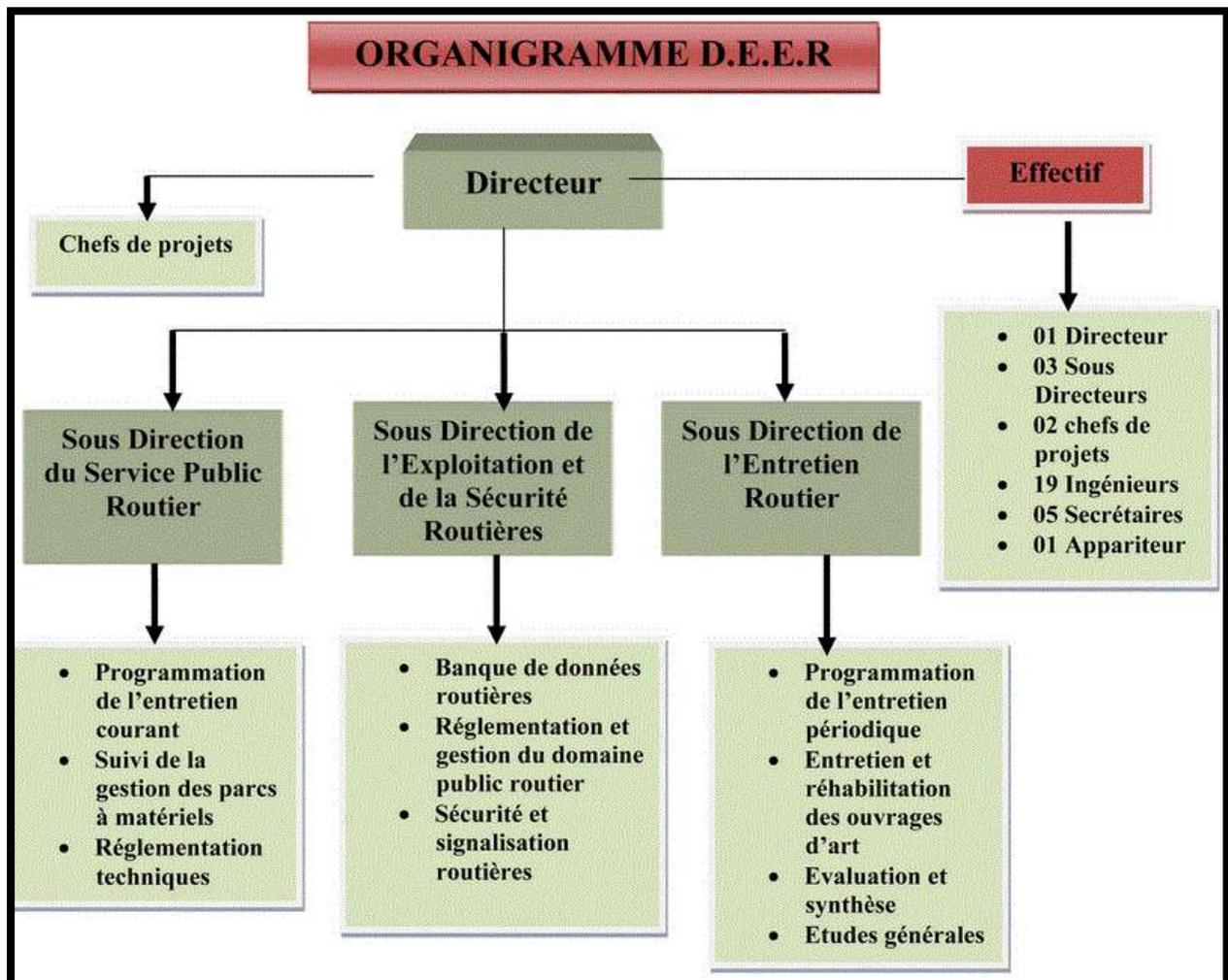


Fig. II.1 : Organigramme DEER. Source : www.mtp.com

b. Niveau local

L'intervention sur le terrain se fait par l'intermédiaire des 48 DTP (Direction des Travaux Public) et 257 subdivisions territoriales et des 500 maisons cantonnières. Sur les routes nationales, les travaux d'entretien périodique se font sur appel à la concurrence pour chaque service. Les travaux d'entretien courant des RN (Route Nationale) et CW (Chemin de Wilaya) se font à partir des 500 maisons cantonnières.

Les unités sont équipées et dimensionnées en conséquence par du matériel et des ouvriers. Ce matériel est géré par une subdivision fonctionnelle « parc à matériels » avec un compte spéciale n°301-005.15 parcs régionaux sont chargés d'intervenir face aux intempéries et aux accidents de la circulation.

II.1. Politique de l'entretien routier en Algérie

Selon le Ministère des Travaux Publics (MTP), la politique du secteur mise en place pour atteindre les objectifs fixés à savoir la préservation du patrimoine routier et l'amélioration du niveau de service s'étale sur 2 grandes phases prévisionnelles :

A court et moyen terme 2010-2014

A long terme 2015-2025

La stratégie adoptée par la DEER pour la concrétisation de ses objectifs s'articule autour des actions suivantes :

- A court et moyen terme 2010-2014 :
 - La préservation du niveau de service et l'amélioration de la qualité ;
 - Préservation du niveau de service du réseau routier national;
 - Amélioration de la qualité des revêtements ;
 - Amélioration de la qualité de signalisation ;
 - Occupation et mise en fonctionnalité des maisons cantonnières ;
 - Amélioration de la gestion de la viabilité des infrastructures routières, face aux intempéries (mise en fonctionnalité des parcs régionaux) ;
 - Préservation du patrimoine des ouvrages d'art ;
 - Mise en place d'un système intégré de gestion de l'entretien des routes et des Ouvrages d'Art ; Mise en place d'un schéma directeur de l'entretien routier;
 - Mise en place d'un schéma directeur de la signalisation routière ;
 - Mise en place d'un plan de formation du personnel pour une meilleure gestion de l'entretien ;
 - Promotion des nouvelles techniques dans le domaine d'entretien routier

- A long terme 2015-2025 :
 - La modernisation de la gestion de l'entretien ;
 - Mise en place des réformes pour l'exécution de l'entretien courant ;
 - La modernisation de la gestion de l'entretien routier

Deux actions distinctes mais indissociables sont à la charge de la DEER, l'entretien périodique et l'entretien courant.

La question est : quand dois-je entretenir ?

II.1.1. Définition de l'entretien courant

L'entretien courant est un ensemble de petits travaux réalisés tout au long de l'année. Il concerne l'ensemble des tâches élémentaires entreprises régulièrement sur toutes les parties de la route (chaussées, dépendances, équipements, ouvrage d'art). Il s'agit des travaux partiels de remise en état de sections de routes présentant, d'une année à autre, des dégradations pouvant être dues à des accidents ou à des faiblesses localisées de la structure ne mettant pas en péril l'ouvrage global. Il doit être réalisé régulièrement tous les ans.

L'entretien courant se caractérise par :

- **La régularité**

Chaque année et en fonction des particularités saisonnières et des spécificités de chaque région, les actions de l'entretien courant sont entreprises et se répartissent généralement selon les principes suivants :

- Durant les saisons sèches : Réalisation des travaux
- Durant les saisons pluvieuses : Surveillance et interventions ponctuelles d'urgence

Les conditions étant différentes dans les zones semi-arides et arides, les travaux y sont programmés de manière à éviter aux hommes les saisons de forte chaleur. Lors des rares mais violents orages, la surveillance doit redoubler d'intensité.

- **La pérennité**

L'entretien courant est une action qui ne s'arrête jamais sauf lors de l'exécution de travaux de renforcement, de réhabilitation ou de reconstruction au cours desquels ils doivent être pris en charge, pour la route ou une section de route concernée, par l'entreprise réalisatrice.

La régularité et la pérennité de l'entretien courant imposent au gestionnaire de réserver régulièrement et continuellement un budget pour son application.

L'entretien courant de type curatif coûtera quelques dizaines de milliers de DA/km en fonction de l'état de la route.

Le **tableau 01** donne une liste non exhaustive des tâches d'entretien courant et d'urgence en indiquant celles qui intéressent les routes revêtues et celles relatives aux chaussées non revêtues.

Tableau 01 : les tâches de l'entretien courant.

ROUTES REVETUES	ROUTES NON REVETUES
<ul style="list-style-type: none"> • Emplois partiels (suppression de nids de poule, pelades, flaches, etc....) ; • Reprofilage et déflachage des affaissements ; • Arasement de bourrelets ; • Dégagement des fossés de tout dépôt ; • Evacuation des obstacles déposés sur la chaussée ; • Amélioration du drainage et réfection de partie d'ouvrage ; • Intervention ponctuelle suite à l'effacement du marquage ; • Renouvellement de panneau, balise, borne accidentellement détruits ; • Ouverture de saignée ; • Réparation accessoires de sécurité ; • Nettoyage panneau de signalisation ; • Désensablement de chaussées ; • Déneigement ; • Désherbage des abords ; • Pontage des fissures ; 	<ul style="list-style-type: none"> • Bouchage des nids de poule ; • Reprofilage, reprise des affaissements ; • Dégagement des fossés de tout dépôt ; • Evacuation des obstacles déposés sur la piste ; • Amélioration du drainage et réfection de partie d'ouvrage ; • Renouvellement de panneau, balise, borne ; • Ouverture de saignée ; • Réparation accessoires de sécurité ; • Nettoyage panneau de signalisation ; • Désensablement ;

Source : CTTTP Algérie. 1995.

II.1.2 Définition de l'entretien périodique et réhabilitation

On parle d'entretien périodique ou programmable lorsque le gestionnaire cherche à trouver à l'avance un remède à tout ce qui peut nuire à la sécurité et au confort de l'utilisateur et cherche à assurer la préservation du patrimoine.

La notion d'entretien périodique est tout à fait différente car elle implique, avec le vieillissement des routes, des dégradations suffisamment fréquentes et répétées qui pourront entraîner la destruction de l'ouvrage si elles ne sont pas prises d'une façon globale.

L'entretien périodique consiste à réaliser des travaux bien définis (localisation, nature, quantité, délai, coût prévisionnel) en les programmant longtemps à l'avance. Ce temps ou

période est déduit de l'expérience acquise dans l'observation et l'analyse du comportement des parties de la route concernées par ce type d'entretien.

L'exemple le mieux connu d'entretien périodique est le revêtement en enduit superficiel réalisé toutes les dizaines d'années environ sur les routes à moyen et faible trafic. Le rechargement des chaussées et le remplacement des appareils d'appui d'un pont sont également des actions d'entretien périodique.

Les actions entreprises dans le cadre de l'entretien périodique exigent une période de préparation qui doit être mise à profit par le gestionnaire pour bien mûrir le projet et lever toutes les contraintes (budgétaires, études, travaux préparatoires éventuels,...) avant le lancement des travaux qui coûteront quelques centaines de milliers à quelques millions de DA /km en fonction de la nature et de l'ampleur des travaux.

Les travaux d'entretien périodique sont réalisés avec une périodicité d'au moins une année, et peuvent avoir lieu tous les 10 ans. Le **tableau 02** donne une liste de tâches d'entretien programmables intéressant les chaussées.

Tableau 02 : tâches d'entretien programmées sur chaussées.

Routes revêtues	Routes non revêtues
<ul style="list-style-type: none"> • Renouvellement des couches de surface ; • Sablage de ressuage ; • Réhabilitation ; • Renforcement ; 	<ul style="list-style-type: none"> • Reprofilage de la plate-forme ; • Rechargement ; • Purge ; • Suppression de tôle ondulée ;

Source : CTTTP Algérie. 1995.

En ce qui concerne la réhabilitation, elle consiste en la remise à niveau d'une route extrêmement dégradée. La réhabilitation est nécessaire lorsque l'entretien courant et périodique n'a pas été fait à temps. Comme c'est souvent le cas, les communes font face à un réseau grand demandeur d'actions de réhabilitation mais ne disposent pas de moyens pour les satisfaire en même temps. La réhabilitation complète d'un réseau va demander plusieurs années, d'où l'obligation de concevoir des programmes pluriannuels.

II.2. La question est : Comment dois-je entretenir ?

II.2.1. L'entretien curatif

Ce type d'entretien consiste à intervenir pour éliminer les dégradations avant qu'elles n'atteignent un seuil intolérable pour la sécurité de la circulation. Il faut éviter par exemple qu'un nid de poule atteigne les dimensions d'une crevasse sur la chaussée ou qu'une gêne à l'écoulement des eaux dans un ouvrage n'aboutisse à une obstruction totale.

II.2.2. L'entretien préventif

L'objectif de l'entretien préventif est d'éviter l'apparition de dégradations, l'intervention est commandée par l'apparition de symptômes annonciateurs. Grâce à ce type d'entretien, la route peut théoriquement demeurer constamment exempte de défauts.

Le choix d'une stratégie de prévision nécessite des moyens (financier, humain, matériel), une organisation (surveillance, auscultation et traitement des données) et une technique (possibilité de mise en œuvre des techniques diversifiées) de niveau supérieur. C'est pour cela que ce type d'entretien est généralement réservé aux routes ou plutôt aux réseaux dits stratégiques pour des raisons essentiellement économiques.

II.3. La question est : combien cela va-t-il nous coûter ?

Le coût de l'entretien dépend du type d'entretien et de l'état de la route. A titre indicatif pour l'année 1998, les fourchettes suivantes peuvent servir de référence pour les chemins communaux (par le guide de gestion de l'entretien des chemins communaux du CTTTP) :

Entretien courant

Etat bon  30.000 DA/Km (il y'a toujours quelques choses à faire sur une route même en bon état : surveillance, nettoyage, inspection...)

Etat moyen  50.000 DA/Km

Etat mauvais  70.000 DA/Km

Réhabilitation

Etat bon  de 0 DA à quelques centaines de milliers de DA/Km

Etat moyen  de quelques centaines de milliers à 1 million de DA/Km

Etat mauvais  quelques millions de DA/Km.

Conclusion :

Comme on peut le voir, l'entretien ne mérite pas d'être considéré comme une tâche peu gratifiante et du ressort de subalternes. C'est au contraire une action complexe, certainement plus complexe qu'une opération de travaux neufs, exigeant non seulement le savoir technique mais aussi une connaissance profonde de son patrimoine, une vision à long terme et la maîtrise de l'animation des relations entre tous les acteurs (service technique et financier, bureaux d'études et entreprises, élus et citoyens, élus et tutelles administratives, équipes de surveillance...).

La rentabilité de l'entretien ne se mesure pas immédiatement (c'est probablement cette singularité qui l'éloigne un peu des préoccupations de beaucoup de décideurs) mais de petites actions régulières et pertinentes assurent à la route une très longue durée de vie.

II.4. Stratégies d'entretien et de réhabilitation routiers mises en place dans la sous-région

II.4.1. Au Bénin, la stratégie de programmation de l'entretien routier concerne la totalité des routes classées et des inspections et analyses visuelles sont organisées sur l'ensemble du réseau routier.

Des campagnes de comptage et de vérification des dégradations se font continuellement sur le réseau routier classé. En général, au Bénin, la stratégie de programmation de l'entretien routier est basée sur le trafic et les dégradations sans distinction de catégories de route.

Le tableau suivant donne les tâches d'entretien à effectuées et leurs périodicités :

Tableau 03 : Tâches et fréquence des entretiens.

Tâche	Définition	Périodicité
Rechargement partiel	Apport de matériaux pour reconstituer la chaussée au niveau des zones localisées. Elle intervient si ces zones représentent moins de 50% de l'itinéraire.	Dépend de la sollicitation du trafic.
Reprofilage léger	Il est exécuté systématiquement sur tous les tronçons sous circulation avec des fréquences d'intervention variant de 2 à 6 suivant le trafic et la qualité des matériaux de chaussées ; il vise à supprimer la tôle ondulée.	Sa fréquence annuelle est de 2 à 6 selon le trafic et les matériaux de chaussées.
Reprofilage lourd	Cette tâche s'exécute dans les sections d'épaisseur résiduelle de la couche de roulement comprise entre 8 et 5 cm et où les fossés se trouvent dans un mauvais état.	Sa fréquence d'exécution varie de 1 à 2 pour les routes fortement circulées.

Curage mécanique des fossés en terre.	L'opération consiste à nettoyer les fossés et leurs abords puis à évacuer les débris de façon à faciliter une bonne circulation des eaux de ruissellement.	Sa fréquence est de 1 à 2 fois par an dans les régions du nord et du sud.
Point à temps en terre	Il consiste à boucher des trous apparus par des matériaux de bonne qualité.	Sa fréquence est principalement fonction du trafic et des matériaux de chaussée.
Point à temps bitume	Il consiste à supprimer les trous apparus sur les tronçons de route bitumée.	Sa fréquence est principalement fonction du trafic et du drainage de la chaussée.
Rechargement d'accotement sur routes bitumées	elle consiste à recharger les accotements avec des matériaux de chaussée.	Sa fréquence est principalement fonction du drainage de la chaussée.
Réhabilitation d'ouvrage	Reprise ou réhabilitation d'ouvrage.	Pas de fréquence prédéfinie.
Mise en forme de piste	Elle consiste à rétablir la circulation sur une piste par l'exécution d'un certain nombre de tâches précédemment notamment : la construction d'ouvrage, le reprofilage lourd, le rechargement partiel, le curage mécanique des fossés.	Pas de fréquence prédéfinie.

Can tonnage annuel	Il englobe les travaux de désherbage manuel, de curage manuel des fossés, des ouvrages d'assainissement et des caniveaux, des bassins de rétention et des divergents.	04 passes par an suivant les régions.
Signalisation verticale	Reprise des balises et panneaux.	Pas de fréquence prédéfinie.
Barrières de pluies	Il s'agit de barrières de pluies installées sur des tronçons de routes en terre. Leur fermeture pendant et après les pluies permet d'éviter les défoncements de la route sous l'effet du trafic et de sauvegarder ces tronçons de route en terre. Leur garde est assurée par des agents de la localité avec qui des contrats individuels ont signés en fonction de la durée des pluies dans la zone considérée.	Durant la saison des pluies.

Source :A.A.T.R 2006

II.4.2. En Guinée Bissau

La stratégie d'entretien est composée de cycles annuels et se base sur un inventaire et une inspection du réseau routier classé dans le but de mettre à jour une base de données. Les activités de l'entretien sont classifiées en fonction de leur fréquence et pour chaque activité, on décrit la liste des tâches à exécuter et les listes des ressources humaines et matérielles.

On distingue donc :

- L'entretien courant : il est prévu chaque année et comprend tous les travaux habituels de débroussaillage, nettoyage, enlèvement des obstacles etc.
- L'entretien récurrent : ce sont les activités fréquentes de l'entretien, dont l'exécution se fait chaque année mais dont la fréquence dépend du trafic. Il comprend toutes les tâches qui éliminent les dégradations dues, soit à l'intensité du trafic, soit aux diverses sollicitations de structure.
- L'entretien périodique : il concerne des activités d'une fréquence plus élevée et qui dépend des sollicitations du trafic et de l'environnement. Cet entretien vise à ramener

la route à son niveau de construction par un aménagement assez lourd qui peut être la reprise de la couche de roulement ou le rechargement de la couche de chaussée.

- L'entretien d'urgence : ce sont des travaux d'entretien inattendu, qui concerne la réparation des dommages provoqués par des intempéries, des désastres, des actions militaires ou des conflits.

Les trois premiers types d'entretien sont prévisibles et programmables, alors que l'intervention d'urgence est imprévue et présente un caractère d'urgence.

II.4.3. Au Ghana

La stratégie d'entretien routier au Ghana est basée sur le niveau des dégradations et les trafics sur le réseau.

La stratégie est basée donc sur une note de qualité de la route qui varie de 0 à 100 en fonction des différentes dégradations de la route.

Le tableau suivant donne l'état de la route en fonction du coefficient CS qui est la note de dégradation qu'il faut déduire de la valeur 100 pour avoir la note de qualité :

Tableau 04 : Dégradations des routes, A.A.T.R 2006, MameMariteuw et Chimère Diop. 2008.

Route en terre	
Condition état de la dégradation	Marges de valeur
Bon	$65 < CS = 100$
Moyen	$40 = CS = 65$
Mauvais	$00 = CS < 40$
Route en Béton Bitumineux	
Condition état de la dégradation	Marges de valeur
Bon	$70 < CS = 100$
Moyen	$40 = CS = 70$
Mauvais	$00 = CS < 40$
////////////////////////////////////	
Route en Enduit Superficiel	
Condition état de la dégradation	Marges de valeur
Bon	$65 < CS = 100$
Moyen	$35 = CS = 65$
Mauvais	$00 = CS < 35$

II.5. Stratégie d'entretien et de réhabilitation routiers mise en place au Sénégal

II.5.1. Programmation de l'entretien routier

Dans le but d'une gestion optimale du réseau et pour assurer sa pérennité, la programmation d'un système d'entretien routier s'avère indispensable. C'est dans ce sens que l'agence autonome des travaux routiers au Sénégal, l'AATR, depuis 2001, met en place des programmes Triennaux Glissants d'entretien courant, d'entretien périodique, de réhabilitation et de renforcement du réseau routier sénégalais.

II.5.2. Programme Triennal Glissant (PTG)

Le Programme Triennal Glissant est un programme d'entretien et de réhabilitation ou renforcement routier défini sur trois (3) ans conçu à l'aide du logiciel HDM III (HighwayDesign Maintenance). Ce programme découle d'une inspection sommaire des routes en terre et revêtues du réseau Sénégalais.

Il s'agit d'introduire un ordre prioritaire sur des axes routiers à réhabiliter ou à entretenir afin, de pouvoir assurer une meilleure utilisation des ressources.

Les critères de choix de l'ordre de priorité seront appelés à répondre à un certain nombre d'objectifs, en particulier de rentabilité économique et de stratégies d'aménagement du territoire, telle que l'option en faveur d'un équilibre entre les régions.

Les critères retenus dans cette étude sont d'ordre technique, économique, social et d'aménagement du territoire.

Pour les considérations économiques, il est retenu les critères suivants :

- Taux de Rentabilité Interne (TRI) ;
- coût de l'aménagement ;
- flux de trafic (exprimé en véhicule/km) ;
- L'indice de Rentabilité de l'Investissement. Un axe dont l'IRI est correct devra passer en premier, tout étant égal par ailleurs. Ce critère prend en considération la pérennité de l'investissement.

Pour les considérations sociales, il est retenu les critères suivants :

- Population de la zone d'influence ;
- Coût d'interruption de la circulation.

Pour les considérations d'aménagement du territoire, il est retenu les deux critères suivants :

- Linéaire en pourcentage du réseau classé par région ;
- Importance de l'axe, exprimé par son linéaire en km.

II.5.2.1. Normes d'entretien des routes revêtues au Sénégal

Des inspections visuelles ont été réalisées sur l'essentiel du réseau revêtu et par des bureaux locaux. Les résultats permettent d'obtenir l'information sur :

- Les niveaux des fissures, des nids de poule, des arrachements, des ornières, desépaufrures et des CBR pour les routes revêtues.

Les normes d'entretien des routes revêtues sont celles retenues lors du PTG 2003 - 2005. Elles sont bâties en fonction des programmes de travail établis lors des inspections visuelles et des classes de trafics. Elles sont reproduites dans le tableau ci-après:

Tableau 05 : Matrice des travaux sur axes routiers revêtus, par classe de trafic.

Classe de trafic	0/250	250/500	500/1000	1000/3000	>3000	VU
Entretien courant	PAT + EC1	PAT + EC1	PAT + EC2	PAT + EC3	PAT + EC3	PAT + EC4
Entretien périodique 1	PAT + Mono	PAT + Mono	PAT + Mono	PAT + Bi	BB3	PAT + EC4
Entretien périodique 2	PAT + Mono	PAT + Mono	PAT + Bi	BB3	BB5	PAT + EC4
Entretien périodique 3	PAT + Mono	PAT + Bi	PAT + Bi	BB5	BB5	PAT + EC4
Réhabilitation V1/2	Epauf3	Epauf3	Epauf3			
Réhabilitation V3/4	Epauf3	Epauf3	Epauf3			
Renforcement	Renfor5	Renfor4	Renfor3	Renfor2	Renfor1	Renfor VU
Réhabilitation	Renfor4	Réhab4	Réhab3	Réhab2	Réhab1	Renfor VU

Source :A.A.T.R 2006.

Avec :

- PAT : Point à temps, bouchage des nids de poule, variable selon importance et étendue
- ECI à EC4 : entretien courant variable selon la catégorie de trafic (EC 1 trafic <500, EC2 trafic compris entre 500 et 1000, EC3 trafic >1000, EC4 trafic en zone urbaine)
- Mono et Bi : enduits superficiels mono et bicouche
- BB3 et BB5 : béton bitumineux d'épaisseur 3 ou 5 cm
- Epauf3: traitement des épaufrures de niveau 3
- Renfor1 à 5 & VU : renforcement variable selon la catégorie du trafic
- Réhab1à 5 & VU: réhabilitation variable selon la catégorie du trafic

II.5. 3.Le Programme d'Entretien Routier Annuel (PERA)

Le PERA est un programme d'entretien routier annuel élaboré à partir du PTG pour répondre à un impératif et pour mieux optimiser les ressources budgétaires de l'Etat du Sénégal.

Durant l'année 2001-2002, l'élaboration du PERA a été faite dans un souci de continuité pour assurer une cohérence dans les divers travaux de récupération et de consolidation du réseau routier classé.

En 2003, année de mise en œuvre du PTG2003-2005, le PERA avait pour but d'optimiser les concepts et critères de mise en œuvre de l'entretien du réseau routier classé.

Le PERA 2005, qui constitue le dernier, a été élaboré en tenant compte de l'ensemble des tâches prévues par le PTG 2003-2005.

II.5.4. Avantages et inconvénients du système d'entretien et de réhabilitation routiers au Sénégal

▪ Avantages et atouts du système

L'Agence Autonome des Travaux Routiers constitue le principal atout de la stratégie d'entretien et de réhabilitation du réseau routier sénégalais. En effet, l'agence assure une gestion continue du réseau routier classé ainsi que la maîtrise d'ouvrage déléguée des travaux sur ledit réseau conformément à la lettre de mission et aux lettres d'objectifs annuels qui lui sont assignés. L'utilisation du logiciel HDM (Highway Design Maintenance) est un avantage considérable vu ces performances.

▪ Manquements et insuffisances du système

Le financement routier constitue un frein à la stratégie d'entretien. En effet, au Sénégal, il n'existe pas de Fonds Routier spécifique; le financement de l'entretien routier se fait à travers une dotation budgétaire globale allouée par l'Etat.

Il faut signaler un conflit de compétence entre L'Agence Autonome des Travaux Routiers (AATR) et la Direction des Travaux Publics (DTP).

II.6. Avantages et inconvénients du système d'entretien et de réhabilitation routiers au Bénin

II.6.1. Avantages et atouts du système

Le système d'entretien et de réhabilitation du Bénin présente les avantages et atouts suivants:

- utilisation du logiciel HDM4 ;
- politique continu d'entretien;
- existence d'un Fonds Routier autonome;
- classification annuelle du réseau sous forme de niveaux de service ;
- contrôle et audit de l'entretien routier.

II.6.2. Manquements et insuffisances du système

Le système d'entretien et de réhabilitation du Bénin présente les manquements et insuffisances suivantes:

- la responsabilité de programmation de la Direction Générale des Travaux Publics qui constitue un lourd fardeau pour cette direction;
- les travaux urgents faits en régie;
- le manque de logiciel spécifique signalé pour la gestion des données routières.

II.7. Avantages et inconvénients du système d'entretien et de réhabilitation routiers en Guinée Bissau

II.7.1. Avantages et atouts du système

Le système d'entretien et de réhabilitation de la Guinée Bissau présente les avantages et atouts suivants :

- une bonne programmation de l'entretien routier avec une exécution mixte des travaux (régie-entreprise) ;
- existence d'un fonds routier depuis 1984.

II.7.2. Manquements et insuffisances du système

Le système d'entretien et de réhabilitation de la Guinée Bissau présente les manquements et insuffisances suivantes:

- la classification routière ne distingue pas les routes inter Etats pour une exploitation sous régionale;
- le manque d'expérience des entreprises d'exécution;
- les travaux d'urgence ne sont pas pris en compte dans la stratégie d'entretien.

II.8. Avantages et inconvénients du système d'entretien et de réhabilitation routiers au Ghana

II.8.1. Avantages et atouts du système

Le système d'entretien et de réhabilitation du Ghana présente les avantages et atouts suivants:

- l'Autorité Routière du Ghana qui assure une bonne gestion du réseau classé;
- l'utilisation du logiciel HDM4 ;
- une bonne maîtrise des travaux routiers par les entreprises.

II.8.2. Manquements et insuffisances du système

Le système d'entretien et de réhabilitation du Ghana présente les manquements et insuffisances suivantes :

- les limites dans le financement des routes par le Fonds d'Entretien routier ;
- une mauvaise gestion des ressources du fonds.

II.9. Politique routière de maintenance par niveau de service de Septembre 2012 en France

II.9.1. L'entretien des chaussées

La qualité des revêtements des chaussées est importante et ressentie différemment suivant les acteurs.

Pour les usagers : elle garantit la sécurité routière et favorise les déplacements et elle améliore le confort de conduite.

Pour les riverains : elle limite les nuisances sonores.

Pour le maître d'ouvrage : elle préserve le patrimoine et elle respecte le meilleur compromis entre qualité et coût.

II.9.1.1. L'entretien courant

Il comprend le bouchage des nids de poule, le balayage et les emplois partiels pour protéger le corps de chaussée des infiltrations d'eau. Il s'agit de réparations ponctuelles.

II.9.1.1.1. Définition des désordres

Les désordres sont définis suivant quatre catégories dans les tableaux 06, 07, 08 et 09.

a) les déformations

Les définitions des déformations et les actions de l'entretien courant sur celles-ci sont présentées sur le tableau 06.

Tableau 06 : Actions sur les déformations,

Type	Evolution	Action curative
Affaissement des rives	Faïençage et bourrelet	Reprofilage avec des matériaux bitumineux
Flache	Faïençage et formation de nids de poule	Purge superficielle
Orniérage	Faïençage et bourrelet	Reprofilage avec des matériaux bitumineux

Source : (<http://www.orne.fr/>)

b) les fissures

Les définitions des fissures et les actions de l'entretien courant sur celles-ci sont présentées sur le tableau 07.

Tableau 07 : Actions sur les fissures.

type	Evolution	Action curative
Fissures longitudinales	Faïençage et départ des matériaux	Pontage à chaud, imperméabilisation de la surface
Fissures transversales	Faïençage, flache et départ de matériaux	Pontage à chaud
Faïençage	Ouverture des fissures, arrachement des matériaux et déformation	Imperméabilisation de la surface

Source : (<http://www.orne.fr/>)

c) les arrachements

Les définitions des arrachements et les actions de l'entretien courant sur ces arrachements sont présentées sur le tableau 08.

Tableau 08 : Actions sur les arrachements.

Type	Evolution	Action curative
Nids de poule	Augmentation des trous	Purge superficielle aux enrobés à froid
Pelade	Arrachement de la couche de surface	Enduits superficiels
Plumage	Arrachement de l'enduit	Enduits superficiels

Source : (<http://www.orne.fr/>)

d) les remontées

Les définitions des remontées et les actions de l'entretien courant sur celles-ci sont présentées sur le tableau 09.

Tableau 09 : Actions sur les remontées.

Type	Evolution	Action curative
Ressuage	Arrachement de la couche de roulement	Cloutage, enduits superficiels

Source : (<http://www.orne.fr/>)

II.9.1.2. L'entretien programmé

Il correspond au renouvellement des couches de surface et la mise à niveau des accotements. Cet entretien programmé comprend les enduits superficiels et les renforcements des structures de chaussée (grave-bitume, enduits ou enrobés).

Tableau 10 : L'entretien programmé.

	Largeur de roulement	Couche de base	Couche de roulement	Accotements	Périodicité du renouvellement
R1r	7,50m avec ou sans bandes multifonctions	Grave-bitume après rabotage éventuel	Enrobé Renouvellement en enrobé	Identiques à l'existant	12 ans
R1d	6,00m à 6,50m avec ou sans bandes multifonctions	Grave-bitume après rabotage éventuel	Enrobé Renouvellement en enduit superficiel	Grave	14 ans
R2	5,50m à 6,00m	Grave-bitume après reprofilage éventuel ou réparations ponctuelles	Enduit superficiel	Grave	15 ans
R3	Variable (idem largeur existante)	Réparations ponctuelles	Enduit superficiel	Grave ponctuellement	20 ans

Source : (<http://www.orne.fr/>)

R1r : réseau de première catégorie d'intérêt régional : les routes assurant des liaisons à caractère régional, desservant des pôles économiques importants ou supportant un trafic supérieur à 3 500 véhicules par jour.

Nouveau linéaire : 369 km

R1d : réseau de première catégorie d'intérêt départemental : les routes assurant des liaisons à caractère départemental, desservant des pôles économiques importants ou supportant un trafic supérieur à 2 000 véhicules par jour.

Nouveau linéaire : 798 km

R2 : réseau de deuxième catégorie d'intérêt cantonal : les routes assurant des liaisons intercantionales, desservant des pôles économiques d'importance moyenne ou supportant un trafic compris entre 700 et 1 000 véhicules par jour.

Linéaire actuel : 1 028 km

R3 : réseau de troisième catégorie d'intérêt local : les routes assurant des liaisons de dessertes locales et supportant un trafic inférieur à 700 véhicules par jour.
Linéaire actuel : 3 252 km

II.9.2. L'entretien des dépendances

Il correspond au curage des fossés, à l'arasement et au fauchage des accotements, à l'épavage des talus, à l'élagage des haies ainsi qu'à l'entretien des espaces verts.

II.9.3. Les ouvrages d'art

Les interventions comportent le petit entretien ou les grosses réparations ainsi que l'entretien des bassins de traitement des eaux de plateforme de chaussées.

II.9.4. Les équipements de la route

Les équipements de la route contribuent lors des déplacements des usagers à plusieurs objectifs : sécurité, organisation et confort. Les 3 grands types d'équipements sont : la signalisation verticale, la signalisation horizontale et les dispositifs de retenue. D'autres dispositifs, à la marge, font également partie des équipements de la route : clôtures, poubelles, postes d'appel d'urgence...

II.9.5. L'exploitation de la route

L'exploitation de la route couvre trois objectifs : maintenir la viabilité de la route, gérer le trafic, informer les usagers.

II.9.5.1. Maintien de la viabilité

Il s'agit de réaliser les interventions destinées à conserver les conditions d'usage de la route à un niveau normal ou à les rétablir au plus vite si des perturbations viennent à les dégrader.

II.9.5.2. Gestion du trafic

La gestion du trafic consiste à optimiser l'utilisation des routes en répartissant et en contrôlant les flux de véhicules pour faire face à des perturbations (travaux, accidents, bouchons).

II.9.5.3. Information des usagers

Elle permet d'améliorer la sécurité et le confort des déplacements des usagers en les informant des événements routiers prévisibles et des conditions de circulation en temps réel.

Conclusion :

L'entretien routier reste un aspect important pour un pays aussi grand que l'Algérie. C'est dans ce sens qu'on a pu remarquer que beaucoup d'efforts ont été réalisés. Cependant des efforts restent à faire, mais avec la mise en place d'une stratégie d'entretien optimale, on peut s'attendre à une nette amélioration de l'état des routes de notre réseau routier national, que ce soit route national, chemin wilaya ou chemin communal.

Les effets de l'entretien dépendent également du moment de son démarrage. Ceci est lié au fait que l'entretien de la route ne fait que la maintenir en l'état ; ainsi, plus l'entretien est entrepris tôt dans la vie de la route plus son état est bon et sa durée de vie est prolongée. L'entretien entrepris en catastrophe alors que la route est en mauvais état ne donne jamais de résultats et la ruine, de la chaussée, est inévitable.

Ce constat implique des travaux de construction de qualité. Les défauts de la route imputables à la réalisation ou à la conception ne sont pas rattrapables par les actions d'entretien classique ultérieures. Leur élimination nécessitera des travaux spécifiques généralement coûteux.

Sans entretien, la durée de vie de la route est très faible et sa ruine inéluctable. Plus l'entretien est de qualité plus la durée de vie augmente. Avec un entretien approprié la ruine de l'ouvrage est évitée. Même avec un excellent entretien, l'état de la route (bon, moyen, mauvais) ne se redresse jamais, au mieux il est constant.



CHAPITRE III : ETAT DU RESEAU ROUTIER ALGERIEN

Vu la superficie du pays, le transport en Algérie est diversifié. Même si quelques régions algériennes demeurent encore isolées en raison de l'absence d'infrastructure routière, le réseau routier algérien demeure l'un des plus denses du continent africain.

III.a. Le réseau routier algérien

Le réseau routier qui irrigue notre pays comporte aujourd'hui, 112.696 km de routes dont 85 360 km sont revêtues soit 77 % du réseau et 4910 ouvrages d'art, ce réseau est formé de :

- Routes nationales : 29 280km dont 26 087km revêtus;
- Chemins de wilayas : 23 771km dont 22 027km revêtus;
- Chemins communaux : 59 645km dont 37 246km revêtus;

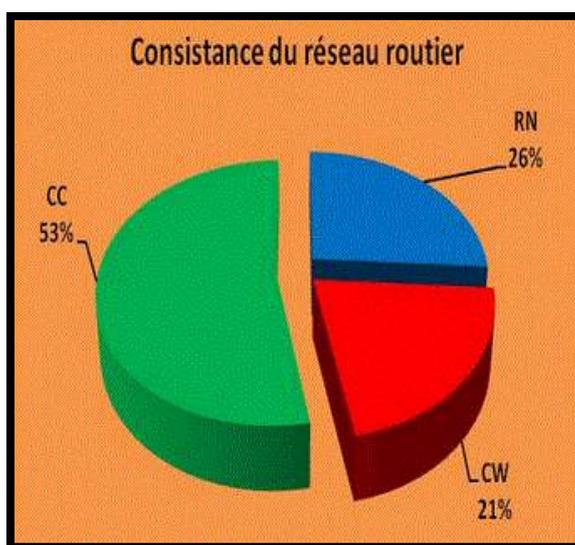


Fig. III.1 : Consistance du réseau routier (<http://www.mtp.gov.dz/fr/>)

- 2642 ouvrages d'art sur les routes nationales;
- 1302 ouvrages d'art sur chemins de wilayas;
- 966 ouvrages d'art sur les chemins communaux;

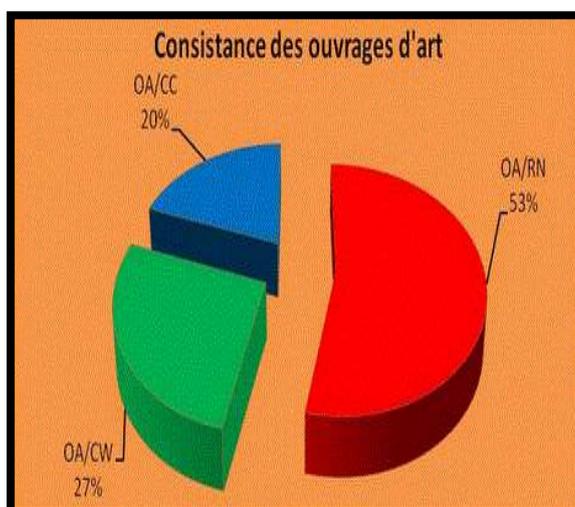


Fig. III.2 : Consistance des ouvrages d'arts. (<http://www.mtp.gov.dz/fr/>)

On note cependant 77% du réseau routier national qui est revêtu, contre 23% du réseau non revêtu :

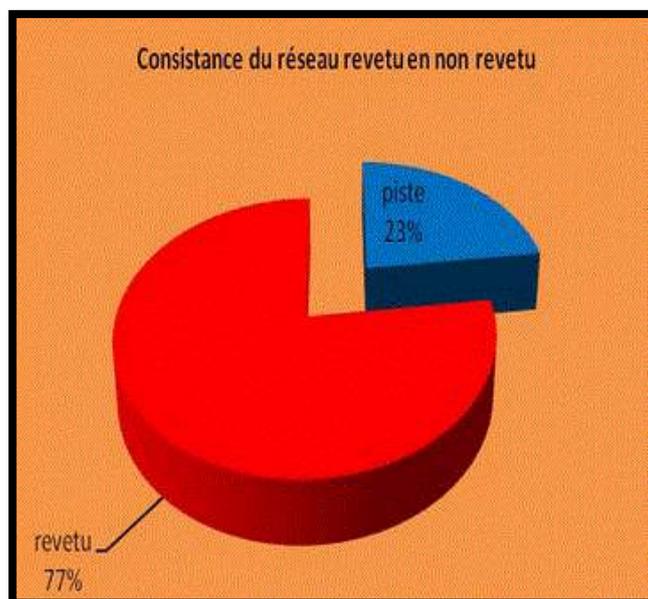


Fig. III.3 : Consistance du réseau routier revêtu ou non revêtu (<http://www.mtp.gov.dz/fr/>)

Le tableau ci-après donne un aperçu sur l'évolution de la consistance du réseau routier 2005-2009 :

Tableau 11 : Evolution de la consistance du réseau routier 2005-2009

Année	RN	CW	CC	TOTAL
2005	28156	23806	56340	108302
2006	28275	23926	57251	109452
2007	28655	23879	57591	110125
2008	29146	23634	58481	111261
2009	29 280	23 771	59 645	112.696

Source : (<http://www.mtp.gov.dz/fr/>)



Fig. III.4 : Evolution de la consistance globale du réseau (<http://www.mtp.gov.dz/fr/>)

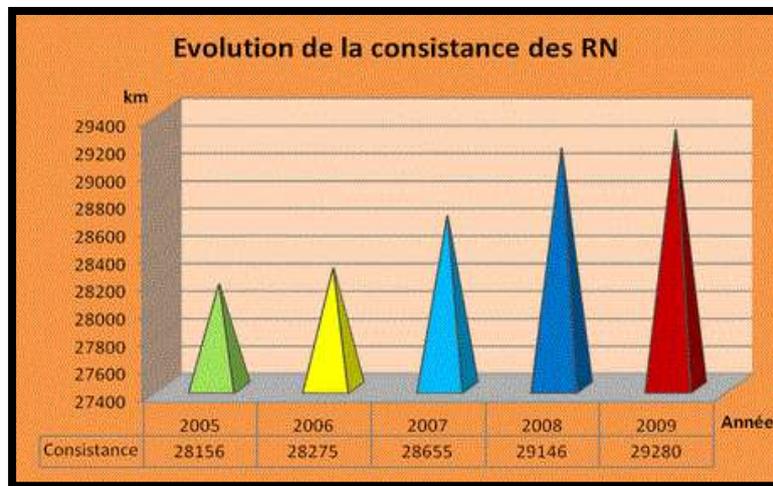


Fig. III.5 : Evolution de la consistance des RN (<http://www.mtp.gov.dz/fr/>)

La route reste l'infrastructure de transport utilisée par excellence (90% des échanges commerciaux et de voyageurs). Cette sollicitation intensive induit, toutefois, des conséquences plus ou moins lourdes sur l'état de la chaussée et accélère le processus de dégradation. Cependant, l'état des routes nationales revêtues est résumé sur la figure **Fig. III.6**.

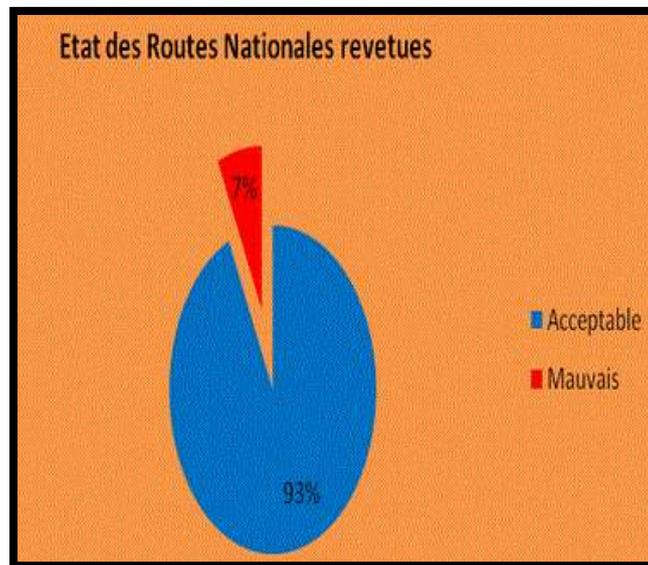


Fig. III.6: Etat des routes nationales revêtues (<http://www.mtp.gov.dz/fr/>)

Souvent les chaussées sont soumises à deux modes de sollicitations différentes : celles du trafic et celles du climat (voir le **Fig. III.7**)

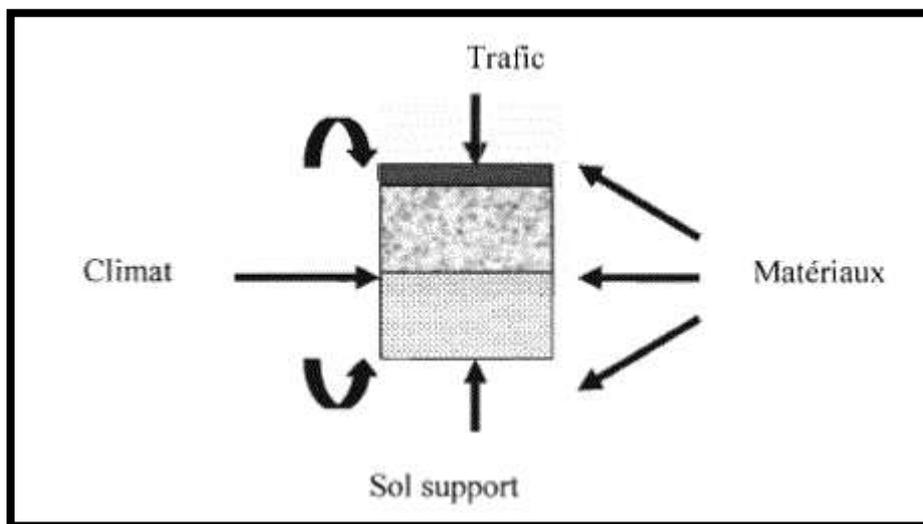


Fig. III.7 : Facteurs sollicitant la chaussée. NdéyeBiguéDieng MBOUP. Juillet 2004)

La résistance des chaussées est affectée par ces facteurs et diminue considérablement au fil des années. Ainsi les chaussées atteignent un seuil de fatigue qui se traduit par des dégradations.

Conclusion :

La route est une entité vivante qui naît, se développe, subit des dégradations et qui peut périr s'il n'y a pas d'action d'entretien qui est régulièrement programmée.

Le renforcement est un entretien lourd qui nécessite une étude qui passe nécessairement par l'établissement d'un diagnostic qui repose sur un historique de la chaussée et de ses dépendances, la mesure de déflexion et d'uni qui doivent être complétés le plus souvent par un relevé visuel de l'état de surface de la chaussée et de son système de drainage.

La réalisation de quelques sondages sous chaussée judicieusement implantés en fonction de l'état de surface et des mesures de déflexion, permet d'établir un bon diagnostic dont dépend grandement la réussite des travaux et surtout le respect de la durée de vie du renforcement qui sera réalisé. La réussite d'un renforcement dépend essentiellement, du diagnostic établi par l'ingénieur routier auquel a été confiée l'étude.

INTRODUCTION

Selon le manuel d'identification des dégradations des chaussées souples du gouvernement du Québec publié par le ministère du transport Canadien, les dégradations de chaussées peuvent être divisées en quatre grandes familles :

1. Fissuration ;
2. Déformation de la surface ;
3. Défaut de l'enrobé et perte du revêtement ;
4. Dégradation et défaut en milieu urbain.

Les deux premières catégories concernent la détérioration mécanique de la structure et la troisième reflète la qualité de la couche de surface.

III.1. Les différents types de dégradation des chaussées dans le monde

III.1.1. Fissuration

Les fissures sont considérées comme un des plus grands modes de dégradation des chaussées. En effet, leur présence associée ou non à l'eau met en péril la durabilité à terme de la structure sous le passage répété des véhicules lourds. Donc sur la structure de chaussée, pour un calcul de durée de vie, il est primordial de prévoir l'évolution de ces fissures.

Dans cette partie, nous allons présenter quelques types de fissures principales.

III. 1.1.1. Les fissures transversales

Ces fissures sont quasi-perpendiculaires à l'axe de roulement des charges sur la chaussée. Elles peuvent être isolées ou périodiques et d'espacement variable. Elles peuvent aussi toucher toute la largeur de la chaussée ou une partie de la largeur de la chaussée.



Fig. III.08 : fissures transversales. Ministère du transport Canadien. 2002

Ces fissures transversales concernent les types de structures suivantes : chaussées bitumineuses épaisses, chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques, chaussées mixtes et chaussées inverses.

III.1.1.2. Les fissures longitudinales

Deux types de fissures longitudinales sont possibles :

✓ Les fissures en piste de roues

Ce sont des fissures ou rupture du revêtement quasi-parallèle à l'axe de la chaussée, apparaissant exclusivement dans l'empreinte des roues de la charge, appelée bande de roulement.



Fig.III.09 : fissures longitudinales en piste de roues.Ministère du transport Canadien. 2002

Ces fissures concernent les chaussées bitumineuses épaisses, chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques, chaussées mixtes, chaussées inverses et les chaussées souples traditionnelles.

✓ **Les fissures longitudinales (hors-piste de roues)**

Ce sont des fissures par rupture du revêtement relativement parallèles à la direction de la route, en dehors des pistes de roues et excluant les fissures du gel.



Fig.III.10 : fissures longitudinales hors-piste de roues.Ministère du transport Canadien. 2002

III.1.1.3. Les fissures de rives

Ce sont des fissures qui apparaissent le long de l'accotement ou de la bordure du revêtement sous forme de lignes droites ou en arc de cercle ou décollement de revêtement le long de la bordure.



Fig.III.11 : fissures de rives.Ministère du transport Canadien. 2002

III.1.1.4. Les fissures de gel

Fissures actives sous l'effet du gel, elles peuvent être :

- rectilignes et localisées au centre de la chaussée,
- d'apparence lézardée sans localisation précise sur la chaussée.



Fig.III.12 : fissures de gel.Ministère du transport Canadien. 2002

III.1.1.5. Le faïençage :

Trois types de faïençage existent :

- **faïençage dans les bandes de roulement**

C'est un ensemble de fissures maillées formant une série de polygones (mailles fines inférieures à 30 cm). Ces types de fissures concernent pratiquement toutes les structures de chaussées.



Fig.III.13 :faïençage dans les bandes de roulement.Ministère du transport Canadien. 2002

- **Faiénçage non spécifique aux bandes de roulement**

C'est un ensemble de fissures entrelacées soit avec des mailles fines (< 30 cm), soit avec des mailles larges (> 30 cm). Le tout forme une série de polygones non limités aux bandes de roulement. Ces types de fissures concernent les chaussées dont les couches de roulement sont en béton.



Fig.III.14 : faïençage non spécifique aux bandes de roulement.Ministère du transport Canadien. 2002

- **Faiénçage circulaire**

C'est un ensemble de fissures maillées, formant une série de polygones apparaissant ponctuellement et affectant une zone de forme sensiblement circulaire dont le diamètre est généralement inférieur à 1m.

Ces types de fissures concernent les chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques,



Fig.III.15 : faïençage circulaire. LCPC 1998

III.1.2. Déformation de surface

Les dégradations de déformation sont en général celles qui donnent des déformations visibles en surface, comme les phénomènes irréversibles suivants : l'ornièrisme, l'affaissement, le gonflement, le bourrelet, le décalage de joint de dalle ou de bord de fissure, le flambement, les déformations de forme de tôle ondulée.

III.1.2.1. L'affaissement

C'est un abaissement localisé du niveau du profil de la chaussée. On le rencontre généralement sur les voiries secondaires dont la chaussée est souple au voisinage des conduites souterraines.



Fig.III.16 : L'affaissement.Ministère du transport Canadien. 2002

III.1.2.1. L'ornièrage

L'ornièrage est une déformation longitudinale permanente qui apparaît et croît sous le passage répété des véhicules sur les bandes de roulement, ou, c'est une dépression longitudinale simple située dans les pistes de roues. La forme transversale de la dépression correspond à celle d'une courbe parabolique très évasée.



Fig.III.17 : L'ornièrage.Ministère du transport Canadien. 2002

III.1.2.3. Lebourrelet (gonflement)

Renflement plus ou moins accentué apparaissant à la surface de la chaussée.



Fig. III.18 :Le bourrelet.CHEBREK Dehbia. 2010

III.1.2.4. La flache

C'est la déformation de la surface de la chaussée qui donne une dépression arrondie (ou elliptique) peu sensible.



Fig.III.19 :La flache. CHEBREK Dehbia. 2010

III.1.2.5. La tôle ondulée

Ondulation de faible longueur d'ondes, sensiblement perpendiculaire à l'axe de la chaussée.



Fig.III.20 :La tôle ondulée. CHEBREK Dehbia. 2010

III.1.3. Défaut de l'enrobé et perte du revêtement

III.1.3.1. Dés-enrobage et arrachement

Érosion du mastic et perte des gros granulats en surface produisant une détérioration Progressive du revêtement.



Fig.III.21 :Dés enrobage.Ministère du transport Canadien. 2002

III.1.3.2. Le ressuage

Remontée de bitume et le liant à la surface du revêtement, accentuée dans les pistes de roues.



Fig.III.22 :Ressuage.Ministère du transport Canadien. 2002

III.1.3.3. Pelade

Arrachement par plaques de l'enrobé de la couche de surface.



Fig.III.23 :Pelade.Ministère du transport Canadien. 2002

III.1.3.4. Nid de poule :

Désagrégation localisée du revêtement sur toute son épaisseur formant des trous de forme généralement arrondie, au contour bien défini, de taille et de profondeur variables. Les trous peuvent être comblés par du rapiéçage temporaire.



Fig. III.24 :Nid de poule.Ministère du transport Canadien. 2002

III.1.3.5. Plumage

Arrachement d'une partie des gravillons du revêtement, ce phénomène est appelé aussi peignage lorsqu'il se produit parallèlement à l'axe de la route.

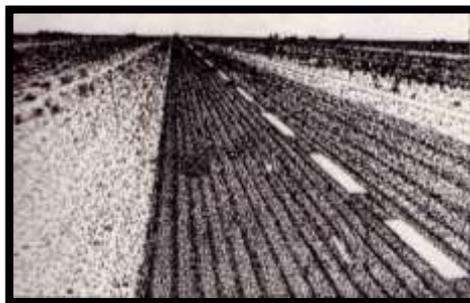


Fig.III.25 :Plumage. CHEBREK Dehbia. 2010

III.1.3.6. Tête de chat

Pierres ou cailloux durs, de dimensions supérieures au granulat en place, apparaissant à la couche de surface formant saillie. Cette dégradation provient suite à l'usure de la couche de roulement.

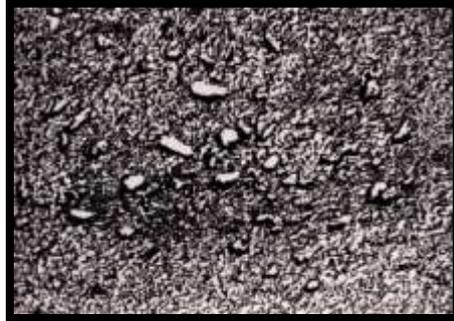


Fig.III.26 :Tête de chat. CHEBREK Dehbia. 2010

III.1.4. Dégradation et défaut en milieu urbain.

Dans cette catégorie nous avons :

a) Fissuration autour des regards et des puisards

Rupture du revêtement suivant un tracé circulaire et/ou radial.



Fig.III.27 :Fissuration autour des regards et des puisards. Ministère du transport Canadien.
2002

b) Coupe et tranchée

Fissuration ou affaissement dans la tranchée ou dans son voisinage.



Fig.III.28 : Coupe et tranchée. Ministère du transport Canadien. 2002

c) Dénivellation des regards et des puisards :

Inégalité entre la surface du revêtement et le dessus d'un puisard ou d'un regard.



Fig.III.29 :Dénivellation des regards et des puisards. Ministère du transport Canadien.
2002

* **Autres dégradations**

Empreinte/poinçonnement : enfoncement localisé du revêtement, ce défaut s'observe généralement sur les aires de stationnement.

Remontée d'eau : zone humide d'eau claire provenant du corps de chaussée et remontant à travers les points faible de la couche de roulement (fissures, enrobé poreux).

Remontée de fine : zone humide d'eau chargée (enfine, laitance, boue....) provenant de corps de chaussée et remontant à travers les points faibles de la couche de roulement (fissures, enrobée poreux.....).

Réparation ponctuelle dégradée : réparation ponctuelle, quelque soit son origine, à l'exception des scellements de fissures, concernant une ou plusieurs couches de chaussée et présentant des dégradations plus ou moins importantes sur sa surface ou sur son contour.

Introduction

Les dégradations en Algérie peuvent se présenter sous diverses formes et peuvent concerner, soit la couche de surface seule, soit les couches inférieures. Dans le premier cas, on les qualifie de « dégradations de surface » et dans le deuxième cas, de « dégradations structurelles ».

Dans ce qui suit, nous examinerons l'ensemble de ces dégradations avec leur définition, leur mode de caractérisation et leur évolution dans le temps. Notons que sur les définitions des dégradations en Algérie, le « catalogue de dégradations types de chaussées » établi en 1976 par le Ministère des Travaux Publics a été utilisé.

III.2. Les principales dégradations de chaussées bitumineuses souples en Algérie

Les principales dégradations sont classées, en général, en quatre familles :

- Les déformations ;
- Les fissures ;
- Les arrachements ;
- Les remontées et mouvements de matériaux.

Généralement les deux premières familles de dégradations affectent les couches inférieures pour atteindre la couche de roulement, tandis que les deux dernières prennent naissance et évoluent dans la couche de roulement.

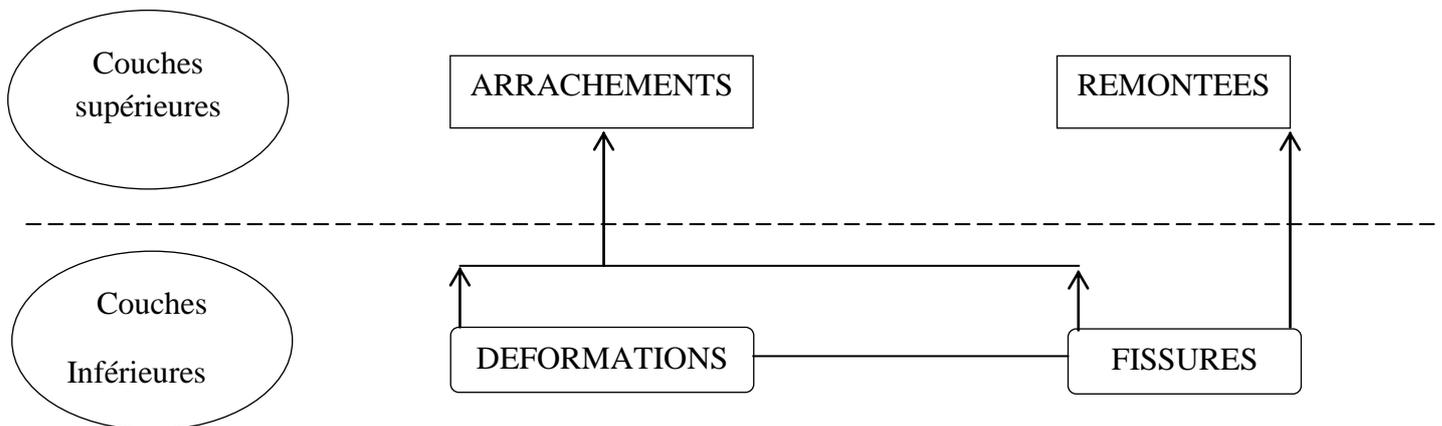


Fig. III.30 : Evolution d'une dégradation dans le temps. : Le Ministère des Travaux Publics. 1976

- Interprétation de la figure III.31 :

Affaissement → fissures → faïençage → nid de poule.

A l'intérieur de chaque famille se constituent des groupes déterminés par la forme ou la localisation des dégradations dans le tableau 12 de classification des dégradations suivantes :

Tableau 12 : Classification des dégradations

DEFORMATIONS	FISSURES
<p style="text-align: center;">Affaissement</p> <ul style="list-style-type: none"> i. Longitudinal suivant l'axe ii. Longitudinale suivant la rive transversale <ul style="list-style-type: none"> ❖ Bourrelet : <ul style="list-style-type: none"> i. Longitudinal ii. Transversal ❖ Empreinte : <ul style="list-style-type: none"> i. Flache ii. Orniérage à grand rayon <ul style="list-style-type: none"> • Suivant l'axe • Suivant la rive iii. Soulèvement de dalle iv. Tôle ondulée 	<ul style="list-style-type: none"> - Cassure - Epaufrure - Faiençage à mailles fines ou « peau de crocodile » (10 à 40 cm de côté) - Faiençage à mailles larges (40 cm et au-delà) - Fissures en dents de scie - Fissures paraboliques - Fissures rectilignes : <ul style="list-style-type: none"> i. Longitudinale suivant l'axe ii. Longitudinale suivant la rive iii. transversale
ARRACHEMENTS	REMONTEES
<ul style="list-style-type: none"> - Dés enrobage - Ecaillage - Ejection et (ou) arrachement de joint - Glaçage - Pelade - Nid de poule - Plumage - Têtes de chat - L'usure causée par les pneus à clous (dés enrobage et plumage) 	<ul style="list-style-type: none"> - Pompage - Remontées de boue verte - Remontées d'eau - Remontées de laitance - Remontées du liant (Ressuage) - Remontées de mortier

Source : Le Ministère des Travaux Publics. 1976

* La différence entre l'ornière à grand rayon et à petit rayon provient du fait que la première déformation atteint les couches inférieures tandis que la seconde n'affecte pratiquement que la couche de roulement.

II.2.1. Les fissures

Les fissures résultent de la rupture d'une ou plusieurs couches de chaussées lorsque les contraintes admissibles sont dépassées. Les fissures qui apparaissent dans une couche, continuent à s'ouvrir et se transmettent ainsi à d'autres couches. Elles sont généralement :

1. Longitudinales parallèles à l'axe de la chaussée ;
2. Transversales perpendiculaires à l'axe de la chaussée ;
3. Regroupées en mailles (les faïençages).



Fig. III.31: Fissures longitudinales parallèles à l'axe de chaussée. RN 71 (IRSANE)



Fig. III.32: Fissures longitudinales parallèles à l'axe de chaussée.

UMMTO. HASNAOUA. (TIZI OUZOU)



Fig.III.33: Fissures transversales perpendiculaires à l'axe de chaussée. RN 71 (IRSANE)



Fig. III.34: Fissures transversales. RN 71 (ASSIF USSERDOUNE)



Fig. III.35: Le faïençage. RN 71 (IRSANE)



Fig. III.36: les épaufures. (Village Ait BOUADDA- AZAZGA- TIZI OUZOU)

III.2.2. Les déformations

Les déformations ont généralement pour origine le corps de la chaussée ou le sol support. Elles résultent de tassements et/ou de soulèvement de la chaussée en surface. On distingue fréquemment les déformations suivantes :

III.2.2.1. Les ornières

Ce sont des déformations longitudinales naissant le long de la trace de passage des roues de véhicules lourds, ces déformations s'accompagnent souvent de bourrelets latéraux.



Fig. III.37 : Ornière à grand rayon RN 71 (IRSANE)



Fig. III.38 : Ornière à faible rayon RN 71 (CHEURFA)

III.2.2.2. Les tôles ondulées

Elles constituent la composante transversale des déformations.



Fig.III.39 :Les tôles ondulées. TIZI OUZOU

III.2.2.3. Les flaches

Elles sont des affaissements de faible profondeur, ou dépressions arrondies et ponctuelles.



Fig. III.40: Les flaches.Boulevard AMIOUD (TIZI OUZOU)

III.2.2.4. Les affaissements

Ce sont des tassements provoquant la dénivellation d'une partie de la surface de la chaussée, ils peuvent affecter toute la largeur de la chaussée (affaissements dits « transversaux ») ou, seulement une partie latérale de la chaussée (affaissements dits « longitudinaux »).



Fig. II.41:Les affaissements. RN 71 (RABTA)

III.2.3. Pertes de matériaux ou arrachements

Ces dégradations sont causées essentiellement par le trafic et n'affectent que la couche de roulement. L'usure de celle-ci provoque des pertes de matériaux sous forme de poussière et réduit ainsi la rugosité de la surface. Cette perte de rugosité est d'autant plus forte que le trafic est fort et que les granulats utilisés sont polissables (cas des calcaires utilisés en Algérie, notamment). On parle dans ce cas de « glaçage ». Parfois, le trafic provoque aussi l'arrachement de granulats, on parle alors de « dés enrobage ». Ce phénomène apparaît particulièrement dans le cas d'un défaut d'adhésivité passive liant-granat en présence d'eau ou, dans le cas d'un vieillissement prématuré d'un enrobé. Dans le cas particulier des enduits superficiels, on parle de :

III.2.3.1. Plumage

Arrachement de gravillons suivant des bandes longitudinales.



Fig.III.42: plumage. RN 71 (IFIGHA)

III.2.3.2. Pelade

Décollement de la couche de roulement par plaques de dimensions variables. Lorsque les arrachements s'agrandissent et s'approfondissent, il se forme des « nids de poule ».

Les nids de poule constituent l'aboutissement de la plupart des dégradations de chaussée lorsque les travaux d'entretien adéquats n'ont pas été réalisés à temps.



Fig.III.43: Les pelades. RN 71 (IRSANE)



Fig.III.44: Nid de poule. Boulevard AMIOUD (TIZI OUZOU)

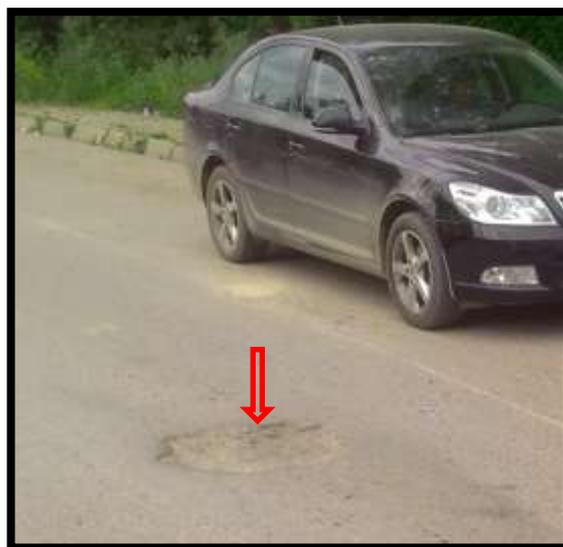


Fig.III.45: Nid de poule. RN 12 (AZAZGA)

III.2.3.3. Ressuage (remontée de liant)



Fig.III.46: Ressuage. RN 71 (CHEURFA)

III.2.3.4. Têtes de chat



Fig.III.47:Têtes de chat. RN 71 (IFIGHA)

Conclusion

Après ce bref survol des différentes dégradations, dans le monde et en Algérie, des corps de chaussées et de leur couche de roulement, on peut apprécier l'importance de l'entretien routier pour une durée de vie prolongée de la route.

De plus en plus les populations sont conscientes de cet état de fait et mesurent à sa juste valeur l'importance de routes stables et durables au sein de toute communauté. En alliant la maîtrise de la programmation en matière d'entretien routier ainsi qu'un flux important de capitaux, il est sûr que le réseau routier s'en trouverait rajeuni et renforcé.



CHAPITRE IV : LES DIFFERENTES CAUSES DES DEGRADATIONS.

Introduction

Les infrastructures routières de bonne qualité sont un facteur clé de succès pour le développement économique et social d'un pays. En effet, sous l'effet du parc automobile et du climat, les chaussées se dégradent. Ce processus de dégradation des chaussées est un phénomène bien connu mais difficile à décrire ou à maîtriser car, les chaussées sont soumises à diverses sollicitations dont les effets directs ne sont pas toujours connus. Et plus, d'autres facteurs tels que les familles de chaussées concernées (revêtue/non revêtue) ainsi que le comportement des différents types de structures sous sollicitations viennent favoriser ou réduire les risques de dégradation des chaussées. Cela contribue à avoir pour chaque type de chaussée son propre processus de dégradation.

IV. 1.Processus de dégradation

Le climat, le type et l'intensité de trafic, la qualité des sols et les matériaux utilisés ainsi que le système de drainage sont les facteurs essentiels déterminant l'évolution de l'état de la route. Les routes et les chaussées évoluent et se dégradent essentiellement sous l'effet du trafic lourd et des conditions climatiques.

La rapidité de cette évolution et les désordres qui apparaissent sont également liés à la nature et à l'épaisseur des matériaux utilisés et à leurs conditions de fabrication et de mise en œuvre. Certains désordres consécutifs à l'instabilité du support de la chaussée (remblais ou terrain naturel) peuvent apparaître indépendamment du trafic et du climat.

IV.1.1. Le parc automobile (le trafic)

Le parc automobile qui circule sur le réseau routier est l'un des facteurs principaux qui provoque la dégradation des chaussées par sa nature et son volume. L'usure de la couche de roulement est la conséquence directe des efforts de cisaillement qui se manifestent au contact des pneumatiques. Elle entraîne essentiellement des pertes de matériaux, le polissage des granulats, la diminution de la rugosité. Elle dépend du trafic, elle est également fonction de la croissance des véhicules et se trouve aggravée par la présence des poids lourds.

La fatigue des couches inférieures au contraire résulte des efforts verticaux de transmission des charges à la couche de fondation. La répétition des contacts inter granulaires entraîne des effets d'attrition, la production de fines et l'augmentation de la plasticité. La couche de roulement devenant moins rigide, les déformations sous charges augmentent, deviennent irréversibles, et il en résulte sa destruction plus ou moins rapide. Ces phénomènes de fatigue sont fonction non seulement du nombre de répétitions des charges mais aussi et surtout des charges sur essieux. Le respect de la limitation des charges à l'essieu relève donc d'une importance capitale pour une bonne exploitation de la route en adéquation avec les hypothèses de dimensionnement.

IV.1.2. Les conditions climatiques

Le paramètre le plus nuisible sur le corps de la route et de chaussée est la présence de l'eau. L'eau pénètre dans le corps de chaussée:

- Par infiltration;
- Par percolation;
- Par remontées capillaires.

Si la teneur en eau d'un sol est trop élevée, elle peut provoquer des désordres importants en modifiant la portance ou en favorisant l'attrition de certains granulats comme les latérites. Les matériaux traités aux liants hydrauliques sont particulièrement sensibles au phénomène de dés-enrobage. En effet, l'eau peut s'interposer entre les granulats et les liants lorsque la qualité du collage entre ces corps n'est pas suffisante.

Aussi, quand les accotements ne sont pas protégés, des ravinements sont très probables par l'effet du ruissèlement. Il se manifeste sur les bords de la chaussée, perpendiculairement à son axe, lorsque la pente transversale est trop forte. En outre, les revêtements bitumineux sont très sensibles aux variations de températures. Ainsi, l'exposition à des températures élevées, non prises en compte dans le choix d'un bitume, pourra entraîner un vieillissement rapide de ce dernier.

IV.1.2.1. Action de l'eau

Tout sol non imbibé a en général une bonne portance et sa plasticité même élevée n'est pas une gêne pour la circulation. Par contre, certains matériaux très plastiques tels que l'argile portée à imbibition deviennent glissantes et s'effondrent par manque de portance. On peut remarquer deux phénomènes:

- a) Les eaux stagnantes
- b) Les eaux de ruissèlements.

a. Les eaux stagnantes

Elles pénètrent dans la masse des remblais soit par la partie supérieure (eau de pluie) soit par la partie inférieure (remontées capillaires). Elles modifient ainsi les caractéristiques mécaniques des sols, altèrent leur résistance, provoquent des désordres internes tels que les tassements, les glissements et voire l'effondrement de remblais considérés comme stables.

b. Les eaux de ruissèlement

Elles sont généralement animées de grandes vitesses et érodent la surface de la chaussée par ravinement, ainsi les terrains manquent de cohésion. En saison de pluies, les routes sont soumises à l'action des eaux qui favorisent et accélèrent les dégradations. Ces dernières sont d'autant plus importantes que les terrains sont à prédominance argileuse (exemple des matériaux latéritiques). Par contre, les terrains maigres à prédominance sableuse se comportent très bien pendant la saison des pluies. Les dégradations dues à cette action combinée se manifestent en surface et en profondeur.

En surface : L'eau détrempe les matériaux argileux et les rend savonneux et glissants.

En profondeur: Les eaux pénétrant dans la masse des remblais altèrent la résistance mécanique de ces derniers.

IV.1.3. La qualité des matériaux

Elle est d'une importance capitale car il est difficile de faire une route de qualité à partir de matériaux aux caractéristiques médiocres. Les dégradations liées à la mauvaise qualité des matériaux peuvent être causées par:

- ❖ Une granulométrie incorrecte;
- ❖ Un pourcentage élevé d'éléments roulés;
- ❖ Une dureté des granulats insuffisante;
- ❖ Des granulats sales (matières végétales) ;
- ❖ Un polissage rapide des granulats de fabrication défectueuse (spécialement pour les enrobés)
- ❖ Un pourcentage de liants ou de fines incorrect ;
- ❖ Un malaxage insuffisant.

IV.1.4. La mise en œuvre

Même si la qualité du liant et des granulats est excellente et le dimensionnement est bien fait, une mauvaise réalisation au cours de la mise en œuvre, de la manutention ou lors du compactage pourra se traduire par un ouvrage fini d'une qualité médiocre. Ainsi, divers défauts de mise en œuvre peuvent conduire à des dégradations aux conséquences variées:

- ❖ Défauts de compacité aux accotements : Il y'a affaissement sous la charge des poids lourds
- ❖ Poches de points faibles en couche de base : Il en résulte une cassure du revêtement
- ❖ Défaut de compacité sur l'assise et sur la plateforme
- ❖ Mauvais accrochage du revêtement sur la couche de base
- ❖ Compactage excessif des couches de chaussées: Il peut donner des ornières.

En général, on classe les facteurs influant sur les dégradations comme suit :

- Extérieurs à la chaussée
- Liés à la structure
- Liés aux matériaux

Tableau 13 : Facteurs influant sur les dégradations

➤ Extérieurs à la chaussée	➤ Liés à la structure	➤ Liés aux matériaux
<ul style="list-style-type: none"> ❖ <i>Trafic</i> : • Pneumatiques <ul style="list-style-type: none"> - Efforts verticaux - Efforts tangentiels • Charges des véhicules • Suspension des poids lourds • Uni des chaussées ❖ <i>conditions climatiques</i> • La pluviométrie • Températures élevées • Températures hivernales • Variations journalières • Gel et dégel 	<ul style="list-style-type: none"> • Géométrie des couches • Variations d'épaisseur • Décalage de couches • Liaison entre couches • Elargissement dans la bande de roulement 	<p>Taux de compactage</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ <i>Matériaux non traités</i> • Teneur en eau • Teneur en fines • Propreté ❖ <i>Matériaux bitumineux</i> • Teneur en liant <ul style="list-style-type: none"> ✓ Sous dosage : <ul style="list-style-type: none"> - Moindre performance en fatigue - Difficulté de compactage ✓ Sur dosage : - Sensibilité à l'orniérage et à l'évolution de la macro-texture • Nature du bitume <ul style="list-style-type: none"> ✓ Liants durs : sensibilité aux basses températures et aux écarts thermiques - Fissures transversales - Fissuration de vieillissement ❖ <i>Matériaux traités aux liants hydrauliques</i> • Délai de maniabilité • Conditions de mise en œuvre <ul style="list-style-type: none"> ✓ Dessiccation de la partie supérieure ✓ Feuilletage de la partie supérieure

IV.2. Les causes des dégradations en Algérie

Une dégradation de chaussée peut avoir plusieurs causes dues à une combinaison de facteurs provoquant son déclenchement et son évolution dans le temps. Ci-après, le tableau 14, regroupe les principales dégradations et de leurs causes probables tel qu'il est présenté par le **catalogue Algérien des dégradations de chaussées de 1976** et qui a été repris par le **guide de l'entretien routier de 1995**.

Le tableau 14 indique en abscisse les groupes de causes, en ordonnée les dégradations rencontrées sur chaussées souples.

Les relations sont marquées par une ou plusieurs croix dans les cases correspondantes.

Interprétation du Tableau 14 :

Après avoir analysé ce tableau récapitulatif des principales dégradations et de leurs causes probables en Algérie, nous en tirons les remarques suivantes :

- La faute de fabrication et mise en œuvre vient en première position causant probablement 09 types de dégradation qui sont : les affaissements, bourrelet, la flache, le ressuage, les pelades, le plumage, les nids de poules, tête de chat et le glaçage.
- Le défaut de portance sur le sol-support vient en 2^{ème} position du classement des causes probables avec 05 dégradations à son actif, à savoir : les fissures, le faïençage, l'affaissement, la flache et l'orniérage.
- Les conditions de trafic particulières, les conditions de drainage et essais, le sous dimensionnement des couches inférieures et la qualité des matériaux, viennent en 3^{ème} position du classement causant pour chacune 04 dégradations.
- L'âge élevé du revêtement vient en 4^{ème} position. Il est à l'origine de 03 dégradations de surface : nid de poule, tête de chat et glaçage.
- Le sous dimensionnement de la couche de roulement arrive à l'avant dernière place de ce classement devant l'action chimique (sels, eau, laitance) causant respectivement : les pelades et tête de chat, le plumage.

IV.3. Les causes dominantes en Algérie

IV.3.1. Au nord :

Selon le guide de l'entretien routier (1995) de l'organisme national Algérien du contrôle technique des travaux publics **CTTP** ; le trafic routier, les conditions climatiques (précipitations, température) ainsi que les malfaçons commises lors de la construction ou de l'entretien des routes, sont les principales causes dominantes de la dégradation lente ou rapide des chaussées en Algérie.

IV.3.1.1. Influence des conditions climatiques

Les agents atmosphériques qui provoquent ou qui aggravent la dégradation des chaussées sont essentiellement l'eau des pluies et la température.

*** Effet de la température**

Les variations de la température à la surface d'une chaussée provoquent des phénomènes de traction et de contraction qui entraînent les fissures.

La chaleur qui ramollit les couches de surface, accélère le vieillissement des produits hydrocarbonés. Le froid amène à un gonflement des revêtements.

Le cycle chaleur-froid altère la stabilité des matériaux et rend les surfaces bitumineuses cassantes, et donc, sujettes à la fissuration et à l'effritement.

IV.3.1.2. Défaut de compactage

Lors du compactage, et pendant la réalisation des travaux routiers (de couche de forme, d'assise de chaussée ou de couche de roulement), trois principaux objectifs sont poursuivis et attendus par les ingénieurs :

- Supprimer les déformations ultérieures de chaussée et l'orniérage de la couche de surface.
- Augmenter les caractéristiques mécaniques ; c'est augmenter la portance des couches de forme ou de remblai, augmenter le module des assises non traitées, augmenter la résistance des assises traitées et des couches de roulement et permettre aux matériaux de résister au trafic routier.
- Assurer l'imperméabilité et la protection contre l'agression de l'eau. Objectif important pour la couche de roulement, évitant les désordres sur les couches inférieures.

Si l'un des objectifs précités n'est pas atteint, la chaussée se dégraderait dès sa mise en service car, l'action du compactage escomptée qui est le rapprochement des grains du sol entre eux et l'expulsion d'air compris entre ces grains, ne sera pas assurée.

L'action du compactage est illustrée sur la figure IV.1 suivante :

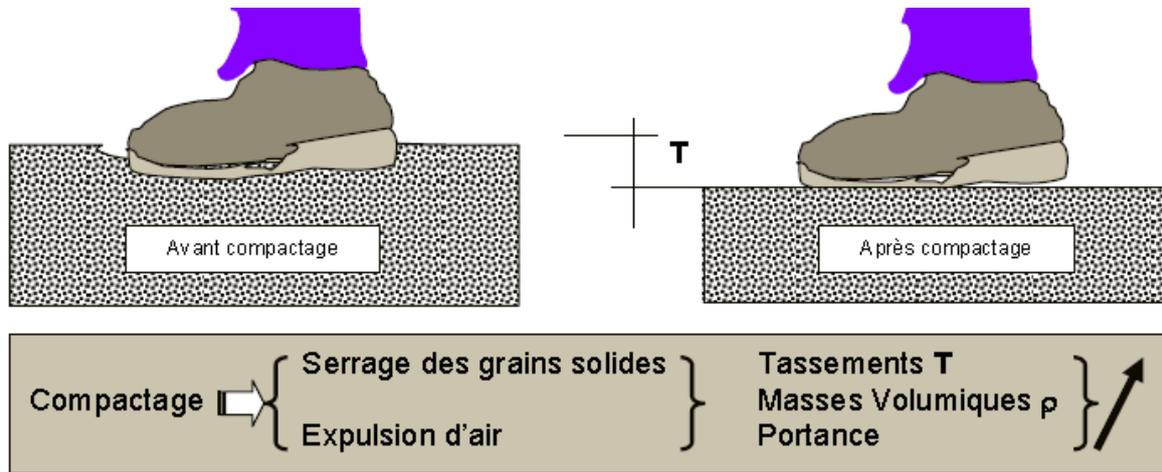


Fig. IV.1 : Action du compactage sur la chaussée. <http://www.cours-genie-civil.com>

Plusieurs passes de compacteur sur le matériau à compacter sont réalisées pour transmettre l'action du compactage. Au fur et à mesure que le nombre de passes augmente, la masse volumique du matériau augmente linéairement suivant une loi logarithmique de forme :

$$\rho = a \log n + b$$

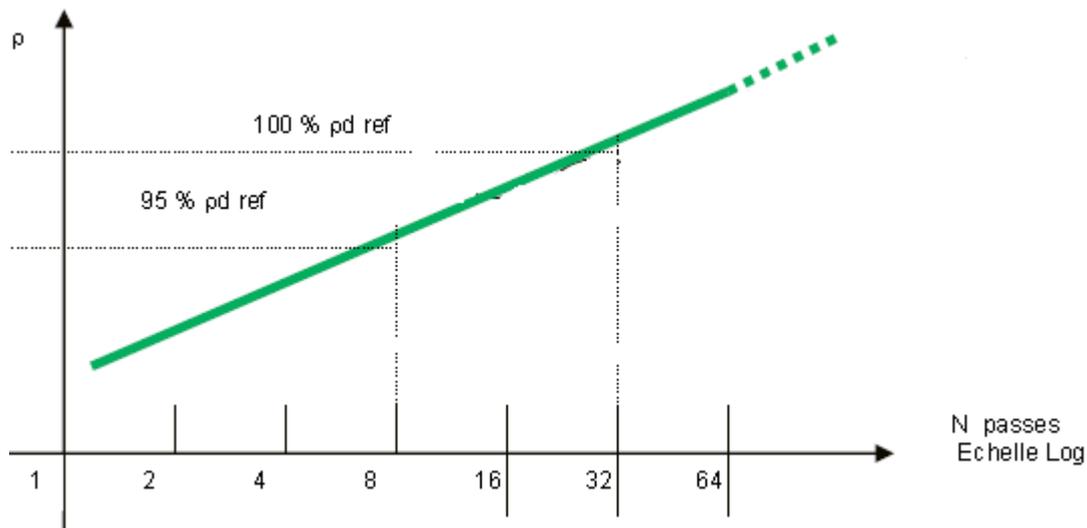


Fig. IV.2 : Loi du Logarithme. <http://www.cours-genie-civil.com>

a : pente de la droite

ρ : Masse volumique

b : ordonnée à l'origine

n : nombre de passes

Souvent en Algérie, la masse volumique n'avoisine malheureusement pas son optimum souhaité. Car le nombre de passes n'est pas toujours respecté, les conditions environnementales des travaux de compactage qui sont réalisés en saison sèche, compte tenu de la température élevée, accentuant l'évaporation et atténuant ainsi la teneur en eau.

Le compactage n'est pas toujours uniforme sur toute l'épaisseur de la couche compactée, la figure IV.3 montre que la masse volumique du matériau varie avec la profondeur suivant la courbe:

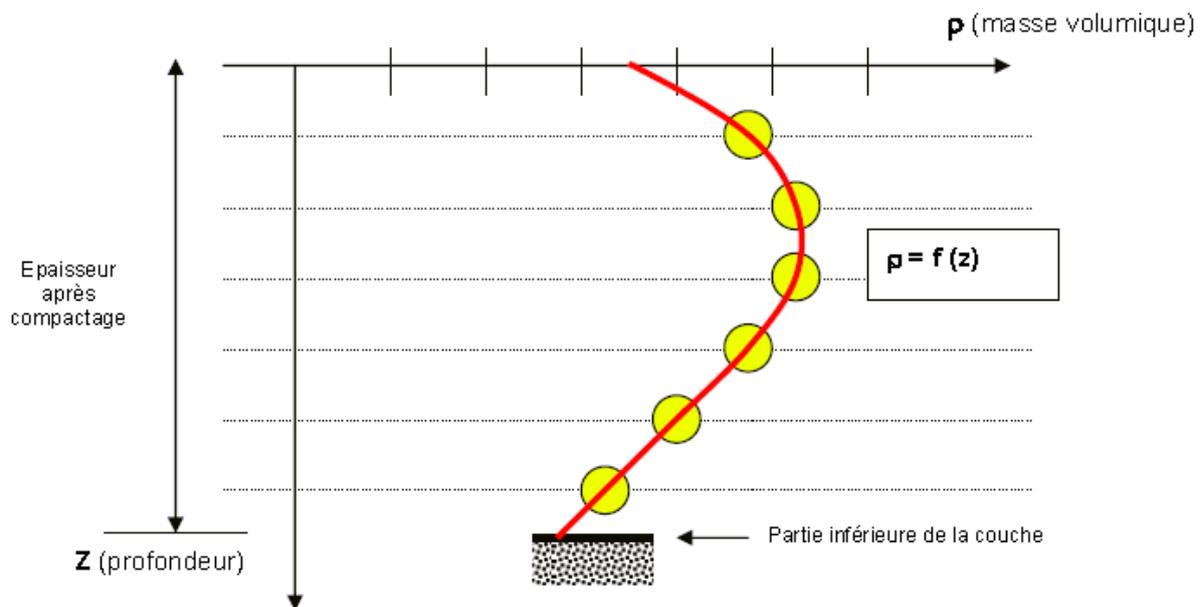
$$\rho = f(z).$$


Fig. IV.3 : Loi du gradient. <http://www.cours-genie-civil.com>

On peut constater que les minimums de densification se situent, en surface et à la partie inférieure de la couche.

IV.3.1.3. Les remontées de fines

Dans les zones où la cote de l'arase est proche du niveau de la nappe phréatique ou d'une zone humide, des remontées capillaires peuvent se produire, accompagnées des fines qui accentuent les désordres de surface et sont les causes d'arrachement et de formation de nids de poule.

IV.3.1.3.1. Remontée de laitance

Attrition par effort de traction à l'interface couche de surface/couche de base traitée aux liants hydrauliques en présence d'eau provenant le plus souvent de la surface par perméabilité, parfois de la couche de base par capillarité.

Ce phénomène est le plus souvent causé par :

- Mauvais accrochage couche de base/couche de surface
- Sous dimensionnement de la couche de surface
- Qualité insuffisante de la couche de base (dessiccation de surface, ségrégation, absence de prise)
- Feuilletage à la mise en œuvre

IV.3.1.3.2. Remontée d'eau

Apparition de zone humide à la surface de la chaussée. C'est un cheminement d'eau entre l'interface couche de surface/couche de base avec sortie d'eau aux points de trop faible compacité.

Ce phénomène est causé par ;

- Source sous le corps de chaussée
- Drainage insuffisant
- Evaporation intense

IV.3.1.4. le respect des épaisseurs des couches

Comme on a pu le voir dans le **Tableau 14** récapitulatif des principales dégradations et de leurs causes probables en Algérie, le sous dimensionnement des couches inférieures est à l'origine de quatre dégradations :

Les fissures, le faïençage, l'affaissement et l'orniérage.

Et le sous dimensionnement de la couche de roulement est à l'origine des deux dégradations suivantes :

Les pelades et les têtes de chat.

Malheureusement, dans notre pays c'est toujours le cas, le non-respect des épaisseurs des couches par les entreprises de réalisation, est une question préoccupante au sein du ministère des travaux publics MTP.

IV.3.1.5. le nombre de couches

A titre indicatif, sur quelques routes nationales Algériennes, généralement, après terrassement, on réalise directement sur le sol-support une couche de base surmontée d'une couche de liaison sur laquelle une couche de roulement de 5 à 7cm est jointe.

La couche de forme et la couche de fondation sont ainsi négligées, faute de quoi, la route se déformera dès sa mise service. (Fig.IV.4)

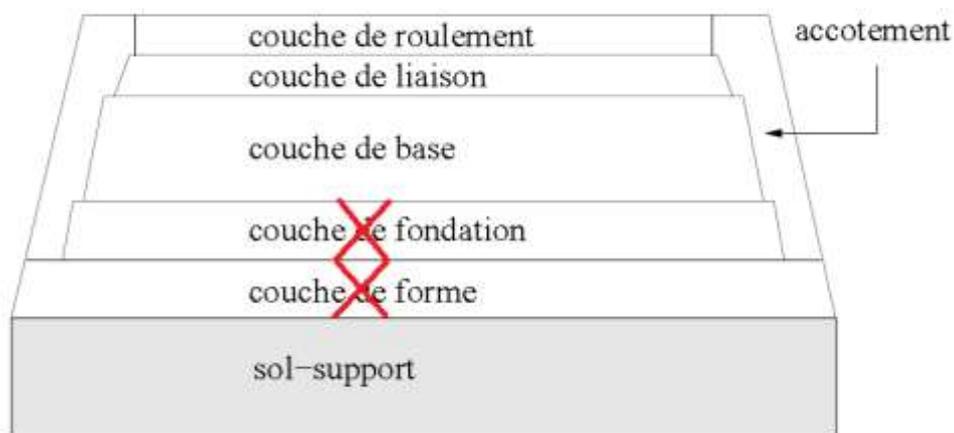


Fig.IV.4. Constitution d'une structure de chaussée incomplète. LCPC, 1994.

IV.3.2. Au sud Algérien :

Selon une étude sur la conception et réalisation des chaussées en milieu désertique réalisée par MORSLI Mérièm, AMERAOUI Zoubida, BALI Abdelrahim et FLEUREAU Jean-Marie en 2002, les causes dominantes au sud Algérien sont :

1. Le climat saharien :

Le Sud algérien est caractérisé par des étés très chauds (50° à l'ombre) et des hivers rudes avec d'importants écarts de température (-5° le soir et 30° le jour).

Les pluies sont rares et tombent généralement sous forme d'averses (précipitations annuelles moyennes inférieures à 100 mm qui peuvent tomber en une ou deux averses). Les vents de sable y sont fréquents.

Les quelques pluies tombent presque toujours en précipitations relativement importantes pendant un temps très court. L'imbibition n'est pas à craindre à la seule condition que la forme de la surface permette l'écoulement des eaux.

2. Le trafic saharien :

Le trafic saharien est essentiellement composé de camions gros porteurs souvent en surcharge, donc on se dirigera vers une chaussée qui accepte sans désordres immédiats des déformations élastiques même relativement importantes, car les répétitions de charges étant faibles, les phénomènes de fatigue doivent apparaître lentement.

3. La qualité des matériaux :

- Les chaussées en tufs calcaires (Horta, 1979).

Les chaussées construites en tufs calcaires sont généralement bonnes, lorsque les critères d'utilisation de ces matériaux et le drainage sont respectés.

Un bon drainage évite l'apparition des dégradations : fissurations dues au retrait, vieillissement du tuf, dissolution des fines calcaires.

En effet, durant la période humide, la teneur en eau d'équilibre sous chaussée en tuf calcaire n'est pas suffisamment faible (elle est proche de l'optimum Proctor modifié, soit de l'ordre de 10%), les dissolutions peuvent devenir notables lorsqu'il existe des points préférentiels d'infiltration des eaux de pluie dans la chaussée.

Ce cas a été observé sur deux routes : la RN6 au sud de Saïda et la RN1 au sud de Laghouat. Il s'agissait dans les deux cas d'une couche de base en tuf. En hiver sont apparues des zones poinçonnées par le trafic sur des sections soumises à des infiltrations.

- Les chaussées en sable gypseux.

Les chaussées construites en sables gypseux sont moins bonnes que celles construites en tufs calcaires ; Elles présentent certaines dégradations (fissuration, gonflement, boursouffures) qui ne remettent cependant pas en cause leur utilisation. Il est à souligner que les sables gypseux sont l'unique matériau disponible sur de très vastes régions du Sahara.

Il se forme, dans les chaussées en sable gypseux, deux familles de fissures : l'une transversale et l'autre longitudinale, qui apparaissent indépendamment du trafic. Cette fissuration se développe à partir des accotements et provoque un craquèlement du revêtement selon des mailles de différentes dimensions. Ces fissures, qui ne concernent que les chaussées en sable gypseux, ont été attribuées, par Horta(1979), à la déshydratation du gypse durant la période

sèche qui s'accompagne d'une forte réduction de volume et provoque des tractions puis des fissures dans la couche de base, qui se transmettent à la couche de roulement. Certaines chaussées en sable gypseux ont présenté des gonflements au niveau de leur surface. Ce phénomène a été attribué généralement à une trop grande finesse du gypse ou à la présence d'une fraction d'argile active.

Un autre type de dégradation des chaussées, typique des climats arides, est les boursouflures salines ou encore les cloques. Il s'agit de soulèvement de la couche de roulement suite à des pressions exercées vers le haut par les cristaux en forme de cheveux d'halite (chlorure de sodium NaCl). De très faibles quantités de chlorures dans les matériaux suffisent pour déclencher le phénomène.

Conclusion

Un grand nombre de facteurs affecte le comportement et la durée de vie d'une route ou d'une chaussée.

En effet, un mauvais comportement provient de la faiblesse du revêtement, des couches de fondation ou de la plate-forme.

Certaines causes naturelles directes ou indirectes détériorent les routes au fil du temps. Le climat est l'une des causes, et en général toute variation subite climatique d'une saison à l'autre ou d'une année à l'autre, affecte, à divers degrés, une route bien calculée et bien faite, et contribue à son vieillissement.



CHAPITRE V : AUSCULTATION DES CHAUSSEES.

Introduction

L'auscultation est un ensemble d'examens et de mesures spécifiques faisant le plus souvent appel à des techniques élaborées, destiné à approfondir la connaissance réelle d'un ouvrage, à partir des résultats d'une inspection détaillée. Elle nécessite l'intervention d'une équipe compétente et, le plus souvent, l'utilisation de moyens spécialisés ou de techniques de laboratoires. Elle est effectuée le plus couramment lorsque l'état de l'ouvrage est douteux ou défectueux, elle peut aussi être appliquée dans le cas d'un ouvrage en état normal ou quasi-normal, lorsqu'il est envisagé d'apporter à celui-ci une modification touchant à la structure.

V.1. Principes de l'auscultation des chaussées [LCPC-SETRA2007]

L'auscultation doit permettre de déterminer des propriétés des couches de chaussée à partir de mesures. Elle a pour objectif d'apporter des éléments d'information nécessaires aux décisions à prendre en matière d'entretien.

L'auscultation se décompose en 3 étapes :

(figure V.1)

- **Etape 1**, on recueille des informations globales ou à caractère continu sur l'itinéraire ;
- **Etape 2**, on découpe l'itinéraire étudié en zones homogènes ;
- **Etape 3**, on cherche à préciser le comportement des zones homogènes par des analyses plus fines sur des sections témoins extraites des zones homogènes (selon leur longueur). On applique à ces sections témoins un programme d'investigations détaillées, afin de connaître les propriétés et les défauts des couches de la chaussée. Dans un second temps, on vérifie que le résultat de la section témoin est bien transposable à l'ensemble de la section homogène.

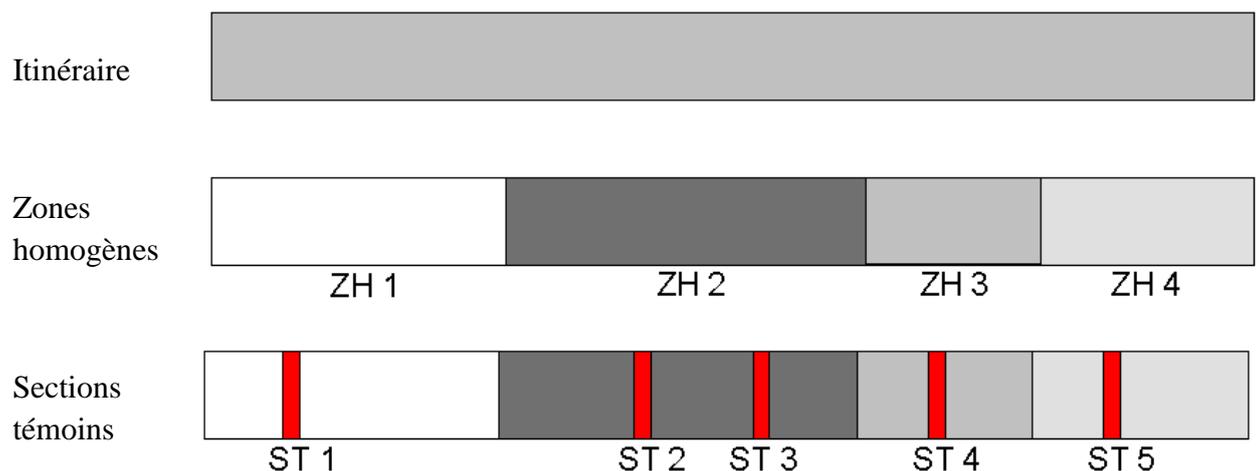


Fig. V.1 :les trois étapes de l'auscultation[LCPC-SETRA 2007]

V.2. Etape 1 ; recueil des informations globales ou à caractère continu

Dans l'état actuel des procédés d'investigation sur chaussée, on appréhende de manière continue ou quasi continue les types d'informations suivantes :

- Données générales,
- L'historique de la chaussée,
- Le trafic,
- L'environnement,
- Le climat,
- L'état visuel de surface,
- La déformabilité de la chaussée sous charge (déflexion, éventuellement rayon de courbure),
- Les épaisseurs des couches.

V.2.1. Données générales

V.2.1.1. Nature de liaison

Le réseau routier est un ensemble de liaisons qu'il faut identifier de manière conventionnelle. L'itinéraire est une liaison routière ou autoroutière identifiée par le numéro de la route selon les cas :

- ✓ N° de l'autoroute,
- ✓ N° de la route nationale, RN,
- ✓ N° du chemin de wilaya, CW.

Le tronçon est une partie de l'itinéraire reconnu par :

- ✓ Le numéro de la route nationale, de l'autoroute ou du chemin de wilaya,
- ✓ Le nom de la wilaya,
- ✓ Les noms des localités qui limitent le tronçon,
- ✓ Les points kilométriques origine et extrémité.

La section est la partie du tronçon, limitée par les points kilométriques (PK origine et PK extrémité).

La voie se définit par les éléments d'identification de la section du côté et du rang de la voie dans le sens croissant des PK.

V.2.1.2. Les localités traversées

Il conviendra d'identifier les traversées de localités (wilaya, daïra, commune, lieudit, etc.) et d'indiquer d'une manière claire, l'entrée et la sortie de la localité par les points kilométriques (PK) correspondants.

V.2.2. L'historique de la chaussée

Les éléments historiques de la chaussée, qui concernent la structure et sa réalisation ;âge, trafic cumulé, constitution, qualité de la plate-forme, épaisseur théorique et de chantier de l'assise, qualité de fabrication et de mise en œuvre des matériaux, entretiens réalisés, comportement aux hivers rigoureux, zones à problèmes (inondations, points noirs, ensablement, enneigement, tassement, etc.), revêtent un intérêt tout particulier pour l'analyse de l'état résiduel des chaussées étudiées.

Ces renseignements sont normalement disponibles auprès des gestionnaires du réseau.

V.2.3. Le trafic

La connaissance du trafic poids lourds est indispensable pour :

- établir le diagnostic :
 - expliquer et comprendre l'évolution et la dégradation de la structure de chaussée,
 - évaluer le dommage structurel théorique en fonction du nombre de charges de référence ayant circulé sur la structure,
- proposer des solutions de conception :
 - calculer le nombre de charges de référence pour la durée de service retenue,
 - déterminer le type et l'épaisseur de la couche de surface qui est fortement fonction du trafic poids lourds journalier moyen(MJA).

Deux notions sont retenues pour évaluer le trafic supporté par une route :

- Le trafic journalier déterminé à partir de la MJA de la voie la plus chargée exprimé en classe de trafic T_i ;

Tableau 15 : Définition des classes de trafic

Classe	T5		T4		T3		T2		T1		T0		TS		TEX
	0	25	50	85	150	200	300	500	750	1200	2000	3000	5000		
MJA	0	25	50	85	150	200	300	500	750	1200	2000	3000	5000		

Source : [LCPC-SETRA 2007]

- Le trafic cumulé correspondant au nombre de poids lourds par sens sur la voie la plus chargée pendant la durée de dimensionnement de la chaussée.

Lors des campagnes de comptage une moyenne journalière est déterminée pour toutes les catégories de véhicules soit par comptage automatique, soit par comptage manuel.

Le trafic journalier moyen annuel est évalué suite à l'application à la moyenne journalière des coefficients correcteurs pour le type de la liaison (saisonnière/ non saisonnière) et de conversion (essieux/véhicule)

Les poids lourds, conformément à la norme NF P 98-082 de janvier 1994, sont les véhicules de plus de 35 KN de poids total autorisé en charge.

Le taux annuel d'accroissement du trafic est estimé à partir de l'ensemble des postes de comptages permanents distribué sur le réseau. Le taux annuel d'accroissement est généralement pris égal à 5%.

Dans le dimensionnement, on prend en considération le trafic circulant sur la voie la plus chargée. Afin de répartir ce trafic par voie de circulation dans le cas d'absence des informations précises, on applique les hypothèses suivantes :

○ **Cas d'une route unidirectionnelle :**

Le trafic est égal à 100% du trafic journalier moyen annuel par voie de circulation dans le cas des routes à une seule voie.

Par contre, il est pris égal à 50% du TJMA dans le cas des routes à deux voies.

Pour les routes à trois voies, on répartit le trafic en considérant 80% du TJMA par voie de circulation.

○ **Cas d'une route bidirectionnelle :**

- A deux voies : le trafic est réparti équitablement sur les deux voies (TJMA/2),
- A trois voies : le trafic est égal à 50% du TJMA,
- A 2x2 voies : le comptage se fait sur chaque sens, le trafic est pris égal à 100% du TJMA sur chaque voie de même sens,
- A 2x3 voies, le comptage se fait sur chaque sens. le trafic est considéré à 80% du TJMA pour chaque voie de même sens.

Le trafic cumulé des poids lourds, TC_{PL} , est calculé :

- Soit à partir d'une progression arithmétique r :

$$TC_{PL\ arith} = 365 * TMJA * d * \left(1 + \frac{(d - 1) * \tau}{2} \right)$$

- Soit à partir d'une progression géométrique q :

$$TC_{PL\ géom} = 365 * TMJA * d * \left(\frac{(1 + q)^d - 1}{q} \right)$$

Avec :

TMJA : Trafic Moyen Journalier Annuel, représentant le nombre moyen de PL par jour, par sens, lors de la mise en service, éventuellement pondéré par la largeur de la chaussée et le nombre de voies de circulation par sens ;

d : nombre d'années de durée de service ou d'ouverture à la circulation ;

τ : taux de croissance linéaire annuelle du trafic à la mise en service ;

q : taux de croissance géométrique annuelle du trafic à la mise en service.

V.2.4. Données géotechniques

L'objectif de la reconnaissance géotechnique est l'identification de la nature et de l'épaisseur des différentes couches constituant le corps de la chaussée ainsi que la nature du sol support.

V.2.4.1. Nature de la plate-forme

La reconnaissance géotechnique est basée sur la détermination :

- la nature de la formation,
- la nature des terrassements de l'assiette
- l'appréciation de la stabilité des versants rencontrés,
- localisation des formations impliquant des difficultés géotechniques : marécages, sol compressible, nappes.
- La hauteur des remblais.

V.2.4.2. Sondages sous-chaussées et sous accotements

L'objectif de ces sondages est de :

- Connaître les épaisseurs des couches constituant la chaussée,
- Déterminer la nature et l'état des matériaux constituant ces couches,
- Identifier les caractéristiques géotechniques du sol support.

Généralement, l'emplacement d'un sondage tous les un à trois kilomètres s'avère suffisant sauf dans le cas où le sol présente une forte hétérogénéité. Les sondages doivent être placés à « cheval » entre l'accotement et la chaussée.

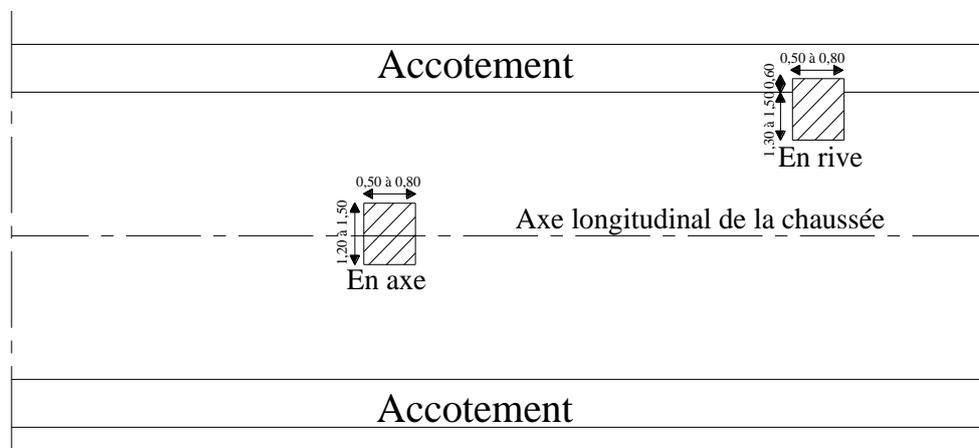


Fig.V.2 : Vu en plan de l'emplacement des sondages [LCPC-SETRA 2007]

La coupe de sondage doit comporter des informations telles que mentionnées sur la figure V.3 ci-après :

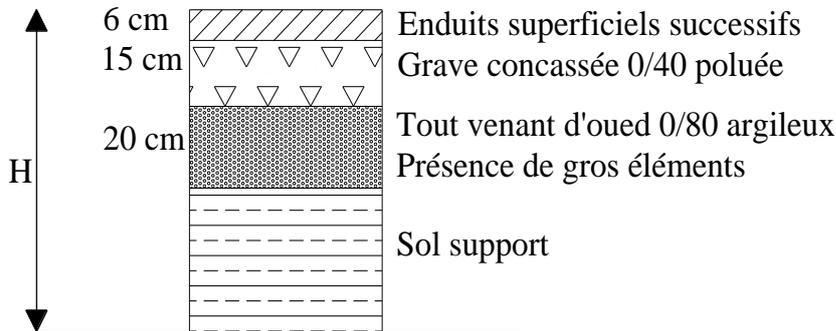


Fig.V.3 : coupe d'un sondage[LCPC-SETRA 2007]

V.2.5. Données géométriques

Le repérage doit se faire systématiquement entre deux bornes kilométriques consécutives pour limiter le risque d'erreur.

Les longueurs se mesurent à l'aide d'un compteur métrique adapté au véhicule ou par le chaînage. L'ingénieur doit mesurer :

- La longueur inter-borne kilométrique,
- Les distances d'ouvrages de drainage, d'intersections ...etc. par rapport à la borne prise comme étant origine,
- Les longueurs des ouvrages d'art,

La mesure des largeurs de chaussée et des accotements se font au niveau :

- De chaque rétrécissement,
- D'un dédoublement de voies,
- Des murs de soutènement, des tunnels, des ouvrages d'art, des ouvrages de drainage,
- Des carrefours.

V.2.6. Drainage et assainissement

Comme le rappelle la figure (V.4), le drainage a pour objectif de collecter et d'évacuer les eaux internes de la chaussée. Les matériaux de chaussées nettement plus perméables que certains sols support ou accotements, peuvent devenir des pièges à eau qui vont mettre en péril la structure de chaussée.

On s'attachera à noter la présence ou non de dispositif de drainage :

- Les fossés : état, géométrie, exutoires, drains longitudinaux...etc.
- Au niveau des accotements : pente transversales, saignées...etc.
- Points hauts et points bas du profil en long : fossés de pied de talus ou de crête, drains...etc.

Les carottages et les sondages peuvent renseigner sur l'efficacité du drainage.

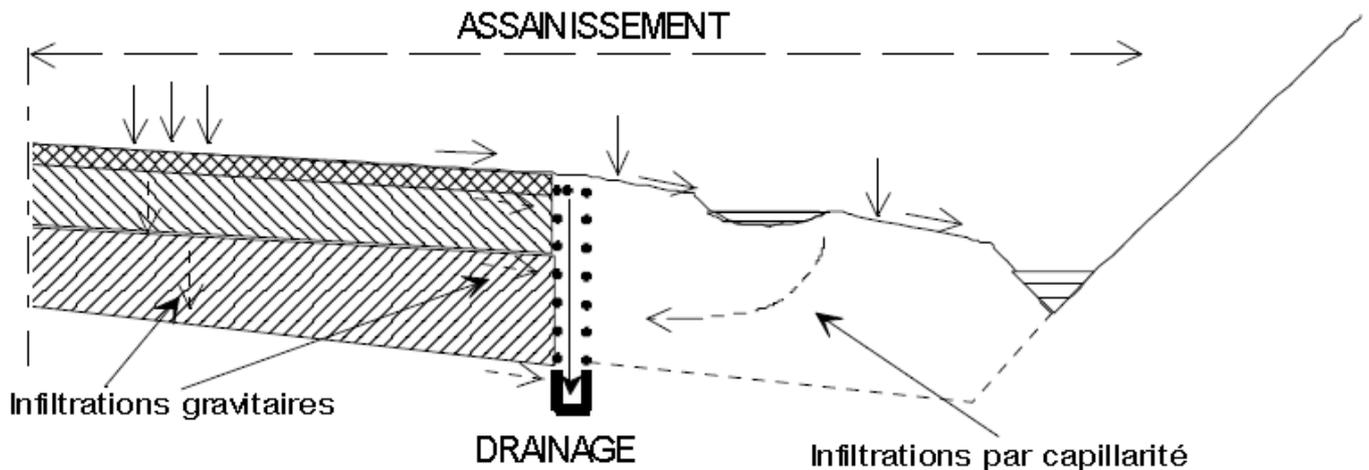


Fig. V.4 : distinction entre les fonctions de drainage et d'assainissement routier

[LCPC-SETRA 2007]

V.2.7. Climat

Les données ou informations recueillies sont les suivantes :

- pluviométrie au cours des derniers mois (et moyennes mensuelles pluriannuelles) ;
- températures estivales (si problème d'orniérage et/ou de ressuage) : historique sur les derniers mois (voire plusieurs années), valeurs des températures maximales ;
- températures hivernales (si problèmes de fissuration thermique, de risques de gonflement en période de gel, de fissuration et d'arrachement au dégel) : historique sur les derniers mois (voire plusieurs années), valeurs des températures minimales, intensité des derniers gels et périodicité (apparition de dégradations consécutives).

V.2.8. Etat visuelle (selon les normes : méthode d'essai N 38-2 et N 52 du LCPC)

Le relevé de dégradations de surface est un des indicateurs de base de l'appréciation de l'état des chaussées. Les réparations sont également relevées car elles sont le signe de l'existence de dégradations antérieures.

Le relevé visuel s'effectue soit par identification directe où l'ingénieur doit parcourir l'itinéraire pour reporter les informations sur les fiches descriptives, soit par identification photographique automatique à l'aide d'appareils à grand rendement.

V.2.8.1. Pour les chaussées souples traditionnelles et bitumineuses épaisses

Le type de relevé est M1 pour les trafics \geq T2 et M1 ou M2 si le trafic est $<$ T2.

Les dégradations les plus usuelles sont :

- les dégradations traduisant une fatigue du corps de chaussée.
 - orniérage à grand rayon
 - fissure longitudinale dans la bande de roulement
 - faïençage, dans la bande de roulement
- Nota : Le faïençage sera détaillé en 2 gravités :
- faïençage significatif sans épaufrures ni remontées de fines, (niveau G1)
 - faïençage avec départs de matériaux ou remontées de fines, (niveau G2 ou G3)
- affaissement de rive
 - les dégradations par fluage des couches bitumineuses
 - les dégradations de surface de la couche de roulement
 - arrachements, nid de poule
 - fissures longitudinales ou faïençage non spécifique aux bandes de roulements
 - remontées d'eau

V.2.8.2. Pour les chaussées semi-rigides et mixtes

Le type de relevé est M1 quelque soit le niveau de trafic.

Les dégradations les plus usuelles sur ce type de chaussée sont :

- les fissures transversales détaillées en 4 niveaux de gravités
 - les fissures franches, colmatées ou non,
 - les fissures dédoublées,
 - les fissures dégradées (début de faïençage),
 - les fissures dégradées et affaissées

- les fissures longitudinales en axe de voie, hors ou dans la bande de roulement
- les faïençages dans les bandes de roulement, et leurs évolutions en dallots
- les remontées de laitance et d'eau
- l'orniérage par fluage
- les dégradations de surface des couches de roulement.

V.2.8.3. Pour les structures inverses

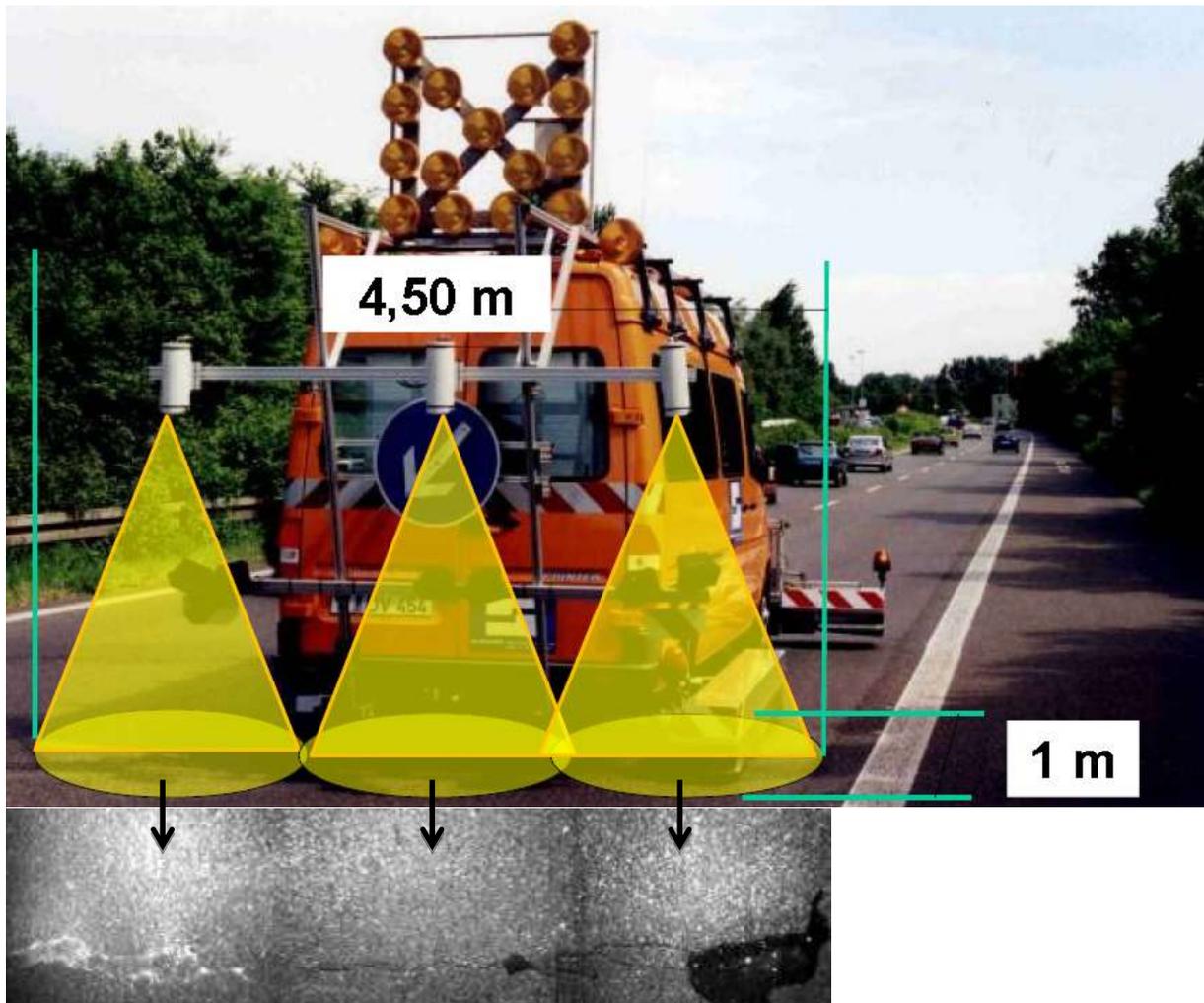
Le type de relevé est M1 quelque soit le niveau de trafic. Les dégradations sont les mêmes que celles rencontrées sur les autres structures.

V.2.8.4. Toutes structures

Outre ces dégradations, les réparations seront également relevées.

Des remontées d'eau peuvent se rencontrer en surface de toutes les structures. Elles se caractérisent par l'apparition d'une zone humide à la surface de la chaussée, même plusieurs jours après les précipitations. Elles proviennent d'un cheminement d'eau à l'interface entre deux couches avec sortie d'eau aux points de faible compacité. Les causes probables sont :

- une source d'eau sous le corps de chaussée ;
- un drainage insuffisant ;
- une évaporation intense.



**Fig. V.5 : Système de la macro-camera pour détecter la fissuration de largeur $>0,6\text{mm}$
[COTITA- Nantes 2012]**

V.2.8.5.Évaluation de l'orniérage

Le système d'évaluation « bidimensionnel » est le système le plus employé dans les relevés de dégradations. Il consiste, suite à l'inspection visuelle détaillée, à évaluer selon une échelle de valeur l'état d'une chaussée à partir des deux paramètres « étendue » et « gravité » de la dégradation.

L'étendue est la longueur endommagée par rapport à la longueur totale de la sous-section pour les dégradations linéaires telles que les ornières.

La gravité est la profondeur de l'ornière en (mm).

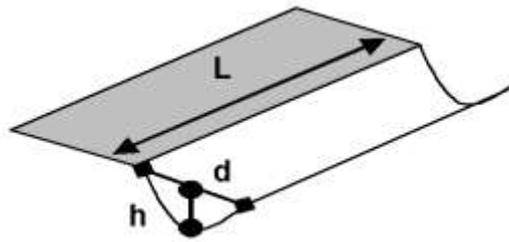


Fig. V. 6 : étendue et gravité dans une ornière

La combinaison de ces deux paramètres permet d’apprécier l’importance de cette dégradation en cinq niveaux au moyen de la matrice de conversion suivante :

Tableau 16 : Importance de l’orniérage en fonction de l’étendue et la gravité

E \ G	< 20 mm	20 à 40 mm	> 40 mm
< 10%	1	3	5
10 à 50%	2	4	5
> 50%	3	5	5

V.2.9. Auscultation automatique

V.2.9.1. Mesure de l’uni longitudinal et transversal

La surface des chaussées peut présenter des irrégularités géométriques, principalement dues à des défauts de construction ou à des dégradations qui apparaissent en cours de vie de la chaussée sous l’effet du trafic PL.

L’ensemble de ces irrégularités constitue l’uni longitudinal et/ou l’uni transversal des chaussées. C’est un indicateur de la qualité d’usage.

L’uni peut être mesuré par plusieurs types d’appareils existants à travers le monde donnant un indice de rugosité international “ International Roughness Index” (I.R.I).

En Algérie, deux types d’appareils sont employés en l’occurrence le BUMP INTEGRATOR (BI) et l’Analyseur de Profil en Long (A.P.L .25).

V.2.9.1.1. Uni longitudinal

Il est mesuré par différents appareils de mesures tels que l’analyseur de profil en long (APL). L’APL est un appareil destiné à la mesure du profil en long des chaussées en service ou en cours de construction, selon la norme NF P 98-218-3 et la méthode LPC n° 46. Il permet de localiser et de quantifier les défauts d’uni provenant de dégradations sous l’action du trafic, ou survenant lors de la réalisation des couches successives constituant la chaussée.



Fig. V.7 : Analyseur de Profil en Long (APL),[LCPC-SETRA 2007]

L'analyse de chaque profil relevé passe par le calcul d'indices d'uni qui se rapporte à trois gammes d'ondes : petites (PO), moyennes (MO), grandes (GO).

- Des vibrations dans l'habitacle d'un véhicule (phénomène de « tôle ondulée »), parfois quelques secousses d'amplitude supérieure dues à des joints de reprise, des nids de poules, des affaissements de rives, des fissures transversales affaissées..., sont classées dans la gamme des petites ondes PO. Ce sont des défauts de longueur inférieure à 3 m et d'amplitude de quelques mm.
- Les tassements de remblai comme au niveau des ouvrages d'art occasionnant un flottement de la suspension du véhicule sont classés dans la gamme des moyennes ondes MO. Ce sont des défauts de longueur comprise entre 3 et 10m et d'amplitude de plusieurs mm, voire de l'ordre du cm.
- Ces flottements peuvent être classés dans la gamme des grandes ondes GO lorsque la longueur du défaut est comprise entre 10 et 45 m.

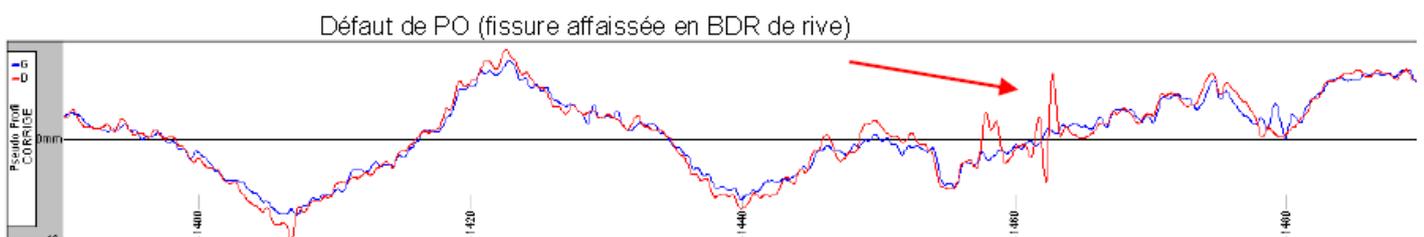


Fig. V.8 : Exemple de signal APL avec PO

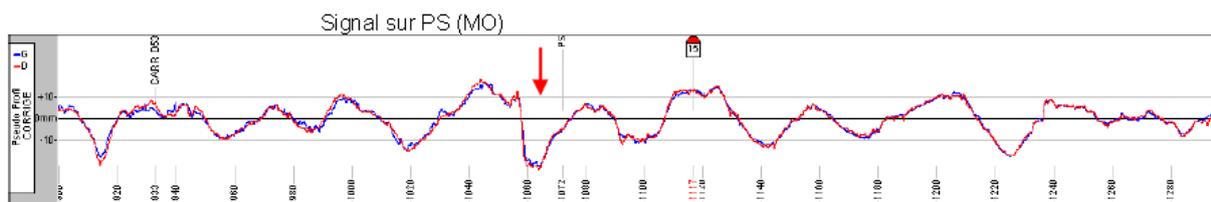


Fig. V.9 : Exemple de signal APL avec MO

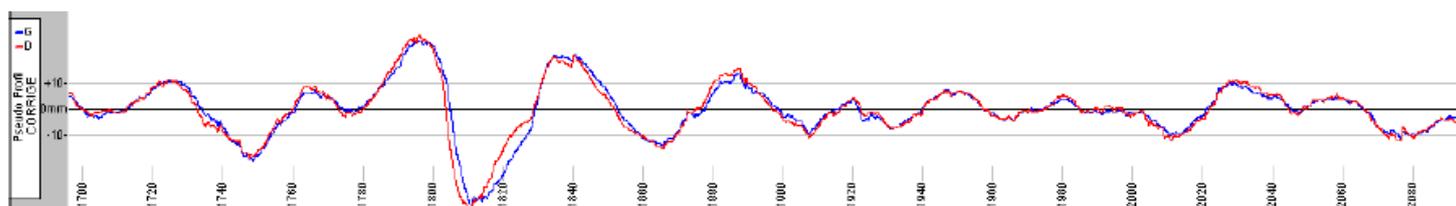


Fig. V.10 : Exemple de signal APL avec GO

Le premier résultat de la mesure consiste à fournir les valeurs numériques des élévations des profils relevés. Les données sont analysées en termes d'indicateurs d'uni et/ou de densité spectrale de puissance (DSP). La plupart des indicateurs d'uni calculés dans le monde peuvent être obtenus à partir des mesures APL, dont l'index international IRI.

En France, les indicateurs d'uni les plus fréquemment utilisés sont :

- les notes par bandes d'onde (NBO) qui résultent d'une mesure à 20 m/s puis d'une analyse qui passe par le calcul d'indices d'uni qui se rapportent aux : PO,MO et GO.
- Le coefficient APL25 (CAPL25) qui résulte d'une mesure à 6 m/s puis d'une analyse en moyenne arithmétique par tronçon de route de 25 m des amplitudes des ondes de longueur inférieure à 13 m.

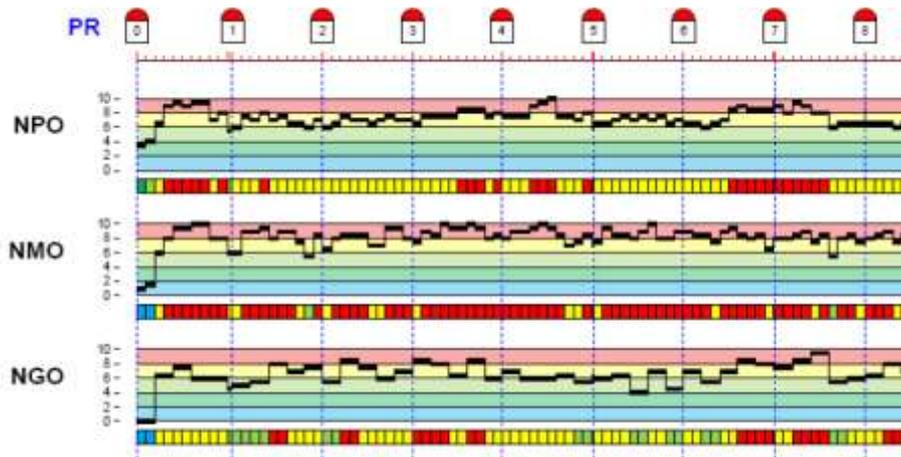


Fig. V.11 : Schémas itinéraire ; uni longitudinal [COTITA- Nantes 2012]

Un uni de mauvaise qualité peut résulter de l'évolution de la chaussée, mais le plus souvent de défauts de mise en œuvre lors de la construction ou de l'entretien. Un phénomène de roulis peut être observé lorsque l'uni est différent entre les bandes de roulements de rive et d'axe (exemple : épandage avec deux finisseurs en parallèle et décalage des signaux APL)

La comparaison des signaux en petites ondes relevés en bande de roulement et en axe de voie permet d'identifier d'éventuels problèmes structurels tels que flaches, fissures affaissées, ...

Les défauts d'uni sont générateurs d'inconfort pour l'utilisateur et peuvent influencer sur la sécurité.

NB : sur les structures traitées aux liants hydrauliques, l'uni sur fissures transversales peut être un indicateur de l'évolution de la structure.

V.2.9.1.2. Uni transversal

Le relevé de l'uni transversal est réalisé par différents appareils d'auscultation à grand rendement tels que TUS (Transverso profilomètre à Ultra-Son) ou PALAS (transverso profilomètre à laser), qui mesurent le profil transversal de la chaussée selon la méthode d'essai LPC n°49.

De façon ponctuelle le profil transversal peut être relevé sous une règle de 3 mètres (norme NF EN 13036-7) ou une règle de 1,5 mètres (norme NF P 98 219-5).

Cette mesure permet de repérer les défauts tels que l'affaissement de rive, l'orniérage par déformations permanentes des couches non liées (grand rayon), ou l'orniérage des couches de surface (petit rayon).



Fig. V.12 : Le TUS [LCPC-SETRA 2007]

* **Principe**

TUS est un appareil destiné à fournir **indicateurs caractérisant** le profil en travers de la chaussée selon un pas donné et permet ainsi le calcul de différents indices et quantificateurs couramment employés pour décrire «l'uni transversal» d'une chaussée.

Le dispositif comporte une règle de 2.50 m d'envergure, positionnée à l'avant de tout type de véhicule supportant 13 capteurs à ultrasons espacés de 20 cm qui mesurent simultanément les distances Règle-Chaussée, d'un boîtier distance et d'un logiciel sous Windows permettant l'acquisition, le traitement et l'édition de résultats.

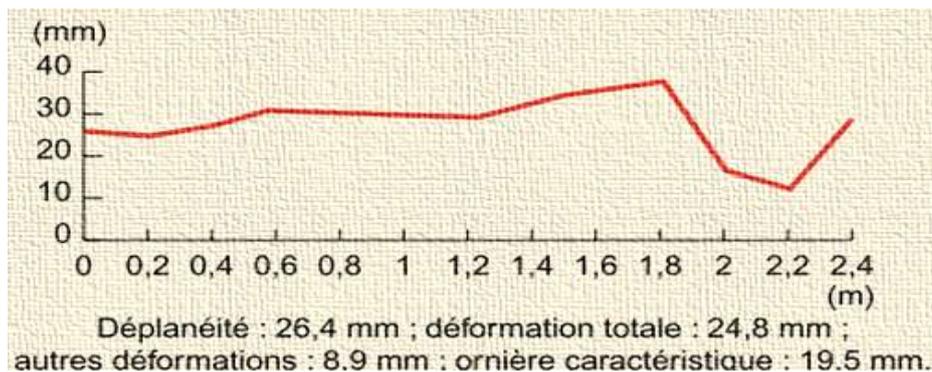


Fig. V.13 : Exemple de profil en travers individuel relevé par TUS[LCPC-SETRA 2007]

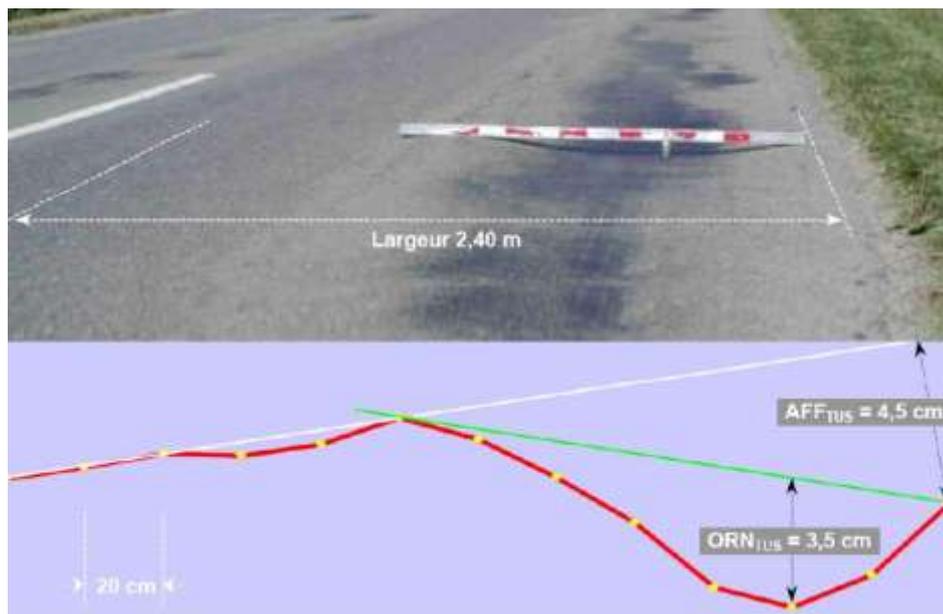


Fig. V.14 : Vue d'une rive de chaussée déformée et profil TUS correspondant
 [LCPC-SETRA 2007]

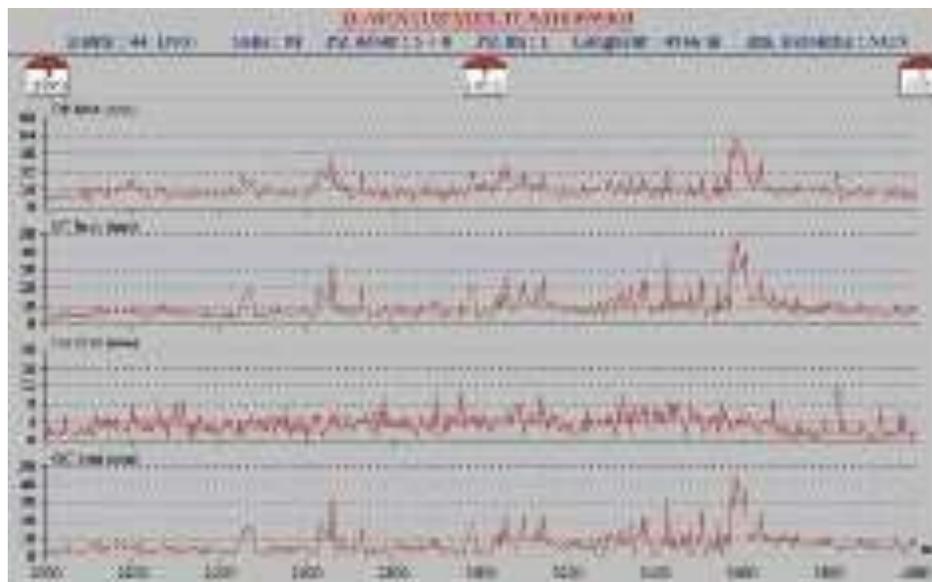


Fig. V.15 : Exemple de schéma itinéraire représentant les indicateurs en fonction de l'abscisse[LCPC-SETRA 2007]

V.2.9.2. mesure du rayon de courbure

Un déplacement vertical en un point d'une chaussée est généré lors du passage d'une charge, la déflexion, qui est fonction de la distance de la charge mobile au point considéré.

Cette déflexion passe par un maximum « d » pour une certaine position de la charge mobile.

La déformée de la chaussée peut être caractérisée au voisinage de ce point de déflexion maximale, par son rayon de courbure « R ».

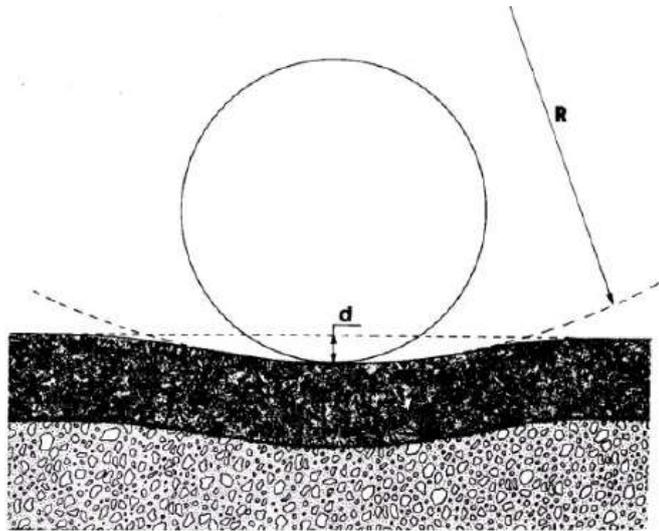


Fig. V.16 : Déflexion et Rayon de courbure de la déformée sous charge mouvante

[LCPC-SETRA 2007]

Le paramètre déflexion est moins sensible que le rayon de courbure aux variations :

- de qualité des couches traitées (MLTH, GB), en particulier pour la partie supérieure des couches de base (MLTH) ;
- d'épaisseurs des assises traitées (MLTH, GB) ;
- des conditions d'interface des couches ;
- de températures des couches bitumineuses.

La déflexion d reflète la rigidité globale de la chaussée. Le produit « $d \times R$ » caractérise la rigidité relative du corps de chaussée par rapport au sol support et de ce fait peut être utilisé dans l'évaluation de la qualité des chaussées à couche de base traitée.

Ce paramètre sera représentatif :

- pour les chaussées bitumineuses épaisses et les structures mixtes de l'évolution par fatigue du module des couches bitumineuses, sous réserve de bien intégrer les conditions de fonctionnement (température, fréquence)
- pour les structures semi-rigides des défauts de qualité en place des matériaux traités ou des défauts d'interface.

Le rayon de courbure nécessite de bien connaître les conditions de mesures (températures dans les couches, vitesse d'application de la charge et comportement des matériaux bitumineux en fonction de ces paramètres).

L'interprétation des mesures de rayon de courbure devient délicate lorsque la température moyenne des matériaux bitumineux est supérieure à 25°C (ou la température de surface supérieure ou égale à 35°C).

V.2.9.3. La déflexion de la chaussée sous charge

La déflexion est la déformation élastique mesurée dans les bandes de roulement de la voie lente. La déflexion dépend principalement de la vitesse d'application du chargement, de la variation de portance du sol support ainsi que la variation des épaisseurs du corps de chaussée.

Il est recommandé de réaliser les mesures en dehors des périodes climatiques de faible pluviométrie.

V.2.9.3.1. Mode d'acquisition du paramètre « Déflexion »

Les mesures peuvent être effectuées soit :

a) De manière ponctuelle

A l'aide :

- de la poutre Benkelman (norme NF P 98-200-2)
- du FWD (déflectomètre à masse tombante), tout type de chaussée.

1. La poutre Benkelman (norme NF P 98-200-2)

La poutre Benkelman permet la mesure statique et ponctuelle de la déformation des chaussées par un essieu de véhicule, ou lors d'un essai à la plaque (**NF P 94-117-1**) sur les types de chaussée suivants : souples ; Bitumineuse épaisses ; Inverses.

La poutre Benkelman est utilisée sur des sections dont le linéaire est compris entre 500 et 3000 mètres. Au-delà de 3000 mètres, elles sont du domaine des mesures à grand rendement.



Fig. V.17 : La poutre Benkelman[LCPC-2007]

La déflexion peut être lue sur un comparateur mécanique. On peut adjoindre à ce comparateur un capteur de déplacement et enregistrer la déflexion :

- Lors de l'essai de plaque, en fonction de l'effort du chargement ;
- Pour obtenir la ligne d'influence, en fonction du mouvement du véhicule.

2. FWD (déflectomètre à masse tombante)

Ce terme commun désigne tous les appareils de mesure de la déformabilité de surface. Le déflectomètre à masse tombante FWD (Falling Weight Deflectometer), est un appareil d'auscultation des chaussées.



Fig. V.18 : le FWD [LCPC-SETRA 2007]

Le déflectomètre est monté sur une remorque et se compose de trois systèmes distincts, soit le système de chargement, le système hydraulique et le système électronique.). Un système d'acquisition de données situé dans le véhicule tracteur permet de contrôler l'exécution des essais et d'enregistrer les données sur fichiers informatiques.



Fig. V.19 : Vue des trois systèmes principaux du déflectomètre[LCPC-2007]

Le principe de l'essai consiste à reproduire la sollicitation due au passage d'un véhicule lourd et à mesurer la réaction de la chaussée en mesurant le bassin de déflexion à l'aide de neuf géophones. Le premier géophone est situé dans une cavité aménagée au centre de la plaque de chargement. Les autres sont placés sous la remorque le long d'une tige mobile de 2,25 m et peuvent être positionnés aux endroits désirés selon les besoins.

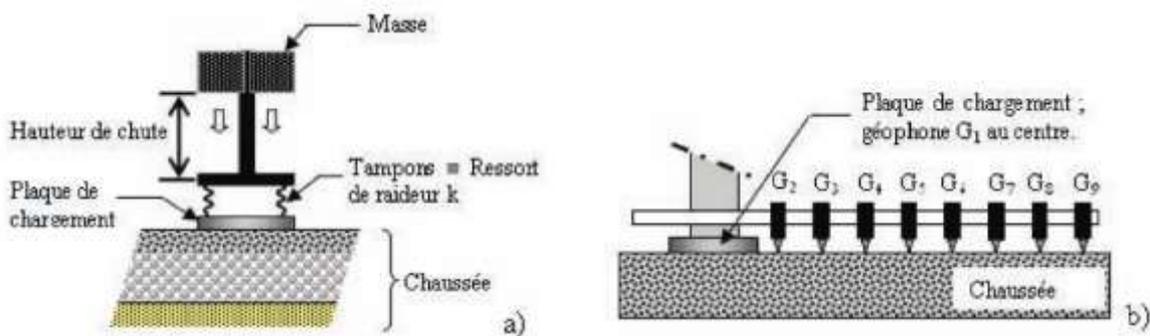


Fig. V.20 : a) Le système de masse tombante, b) Suivi du bassin de déflexion

Les résultats de relevés FWD sont utilisés pour diverses activités d'auscultation et de dimensionnement de chaussées, comme :

- Calcul des modules de déformation ou d'autres paramètres mécaniques de différentes couches composant une chaussée.
- Évaluation du transfert des charges entre des dalles sur chaussées rigides (béton de ciment).
- Modélisation des dommages infligés à la chaussée dans certaines conditions particulières de trafic.
- Prédiction de son espérance de vie, sur le plan de la fatigue structurale et de l'orniérage à grand rayon.
- Estimation des besoins de renforcement d'une chaussée.
- Recherche spécifique dans le domaine de la mécanique des chaussées.

b) De manière continue

Selon le mode opératoire D1(1) de la méthode d'essai LPC 39. Le pas de mesure est fixé par le type d'appareil :

- Défectographe (NF P 98-200-3 à 5): les mesures s'effectuent simultanément sur les deux bandes de roulement de la voie auscultée à une vitesse inférieure à 10 km/h. Le pas de mesure est constant et inférieur à 5 m. Le type de défectographe doit être adapté au type de structure. Si ce n'est pas possible (alternance de structures de types différents), on devra en tenir compte dans l'interprétation du paramètre, en particulier lors de la modélisation.
- Curviamètre (NF P 98-200-7) : la mesure ne s'effectue que sur la bande de roulement côté rive à une vitesse de l'ordre de 18 km/h. Le pas de mesure est de 5 m.

1. Le défectographe

Le défectographe mesure le bassin de déflexion d'une chaussée, sous l'action d'un poids lourd en mouvement à vitesse constante.



Fig. V. 21 : Le défectographe [LCPC-VECTRA-CETE]

Le défectographe est utilisé pour :

- la surveillance d'un réseau routier ;
- la détection des zones défectueuses à renforcer ;
- le contrôle de chantier ;
- la surveillance hivernale (pose ou levée de barrières de dégel)

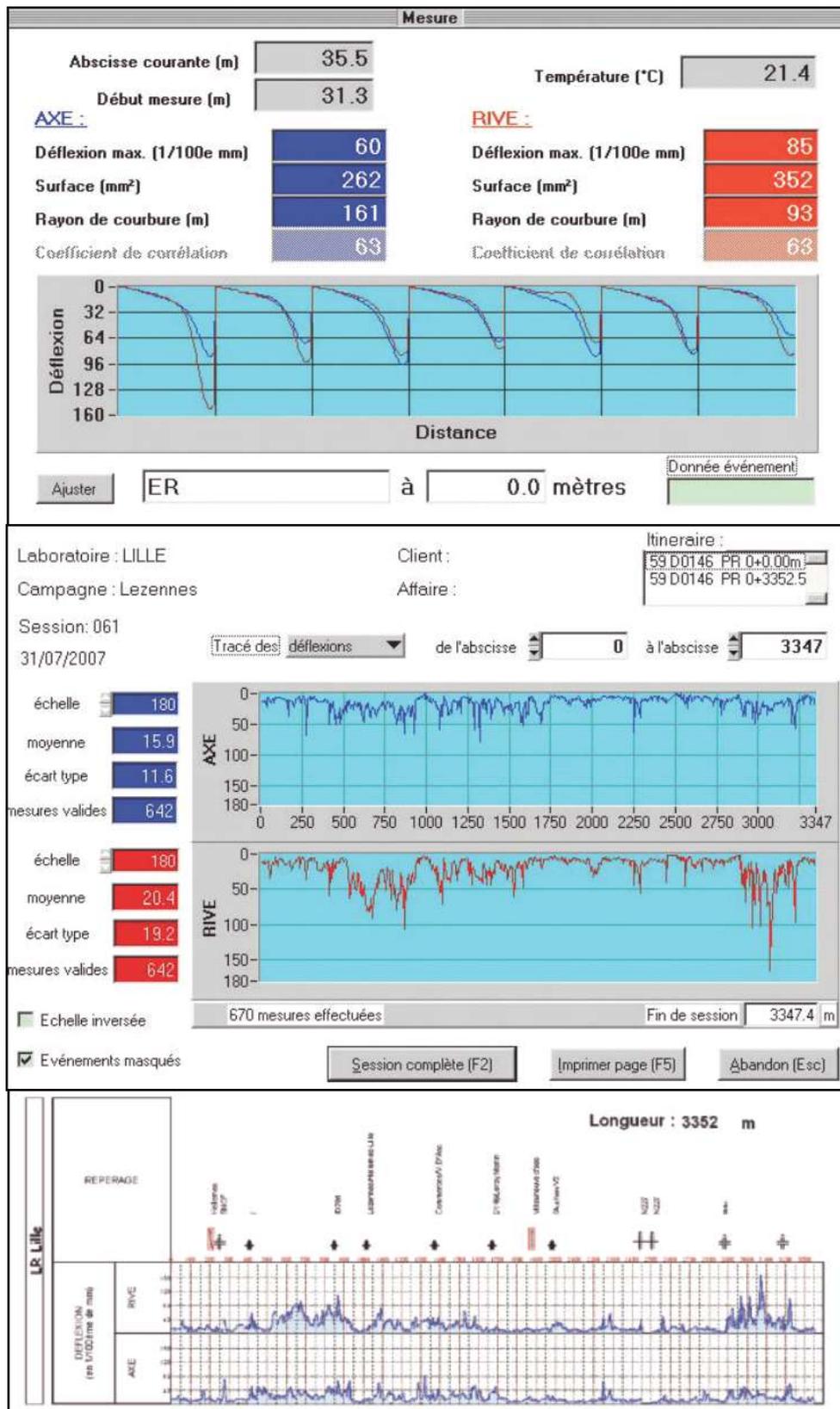


Fig. V. 22 : Exemple des résultats de mesure de déflexion. [LCPC-VECTRA-CETE]

2. Curviamètre(NF P 98-200-7)

Le curviamètre mesure en continu et de manière rapide la déformée (en 100 points) des chaussées le long d'une frayée de mesure par le passage d'un jumelage chargé (80-130 kN). Dans ce cas, la mesure s'effectue uniquement sur la bande de roulement côté rive. Le pas de mesure est égal à 5m.



Fig. V. 23 : Le Curviamètre [LCPC-2007]

Cet appareil est employé pour :

- L'évaluation de la portance de réseaux,
- La localisation des zones de portance déficientes, détermination de sections homogènes,
- La collecte de données de base pour optimiser les solutions d'entretien,
- La réalisation de projets de renforcement,
- L'évaluation des performances de nouvelles structures et de nouvelles méthodes de dimensionnement et de construction

V.2.9.3.2.Valeurs caractéristiques pour le paramètre déflexion

a) la moyenne des déflexions maximales (d_m)

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} d_i \quad \text{Avec } d_i : \text{déflexion au point } i.$$

b) l'écart type des déflexions maximales (σ)

$$\sigma^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^{i=n} (m - d_i)^2$$

c) le seuil caractéristique à 97,5 % des déflexions maximales (d_c)

Pour chacun des tronçons homogènes considérés, on déterminera la déflexion caractéristique. L'ensemble des déflexions correspondant à chacune des rives auscultées ainsi que pour l'axe de la chaussée sont traitées séparément.

$$d_c = m + 2\sigma$$

NB: les mesures de déflexion sont fonction de la température dans les matériaux bitumineux, elles peuvent être corrigées pour être ramenées à la température conventionnelle de 15°C à l'aide de la formule suivante :

$$D_{15^\circ\text{C}} = \frac{D_T}{1 + K(T - 15)/15}$$

Avec :

$D_{15^\circ\text{C}}$: déflexion à 15°C ;

D_T : déflexion mesurée à la température T (Relevée à mi-hauteur des matériaux bitumineux) ;

K : coefficient fonction du type de structure.

Tableau 17 : coefficient K correspondant à chaque type de structure

Type de structure	K
Souple	0,15
Bitumineuse épaisse	0,20
Mixte	0,08
Semi-rigide	0,04

Source : LPC- N°153-1988

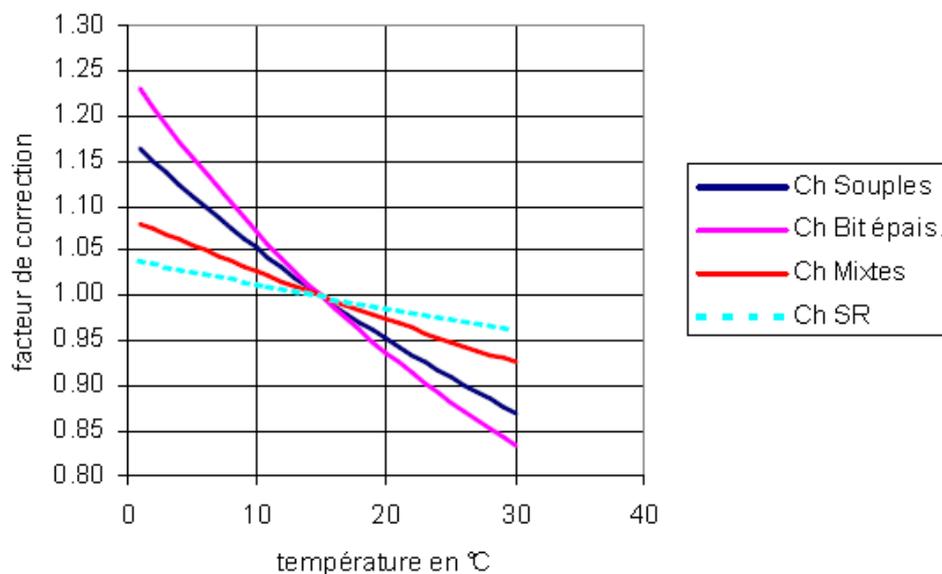


Fig. V.24 : Facteurs de correction des mesures de déflexion en fonction de la température pour les différentes structures [LPC- N°153-1988]

V.2.9.3.3. Classes de déflexion

La valeur caractéristique de la déflexion constitue un indicateur du comportement mécanique de l'ensemble/support de chaussée. Cet indicateur qui dépend du type de la chaussée est lié généralement à une classe de déflexion.

Tableau 18 : Classes de déflexion caractéristique

Classes	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Seuils de déflexion caractéristique en $1/100^{\text{ème}}$ mm	0 à 19	20 à 29	30 à 44	45 à 74	75 à 99	100 à 149	150 à 199	200 à 299	≥ 300

Source : LPC- N°153-1988

V.2.10. Mesures en continu des épaisseurs des couches par RADAR

Il mesure en continu l'épaisseur des couches des chaussées. Une antenne, orientée vers la structure à analyser, émet un pulse d'énergie électromagnétique qui subit, à chaque interface RADAR, une réflexion dont l'amplitude, la largeur et le temps de retour à l'antenne sont caractéristiques de la structure. Sa vitesse peut atteindre 80 km/h, avec un pas de mesure de 0,5 m.



Fig. V.25 : Radar pour mesures longitudinales et transversales [CETE]

Le RADAR permet d'enrichir la connaissance de la structure représentative de la zone : homogénéité longitudinale (si besoin transversale), importance et localisation des hétérogénéités. Ainsi il fournit les épaisseurs des couches de la structure, et la position des défauts les plus importants.

Les mesures RADAR sont toujours recalées par des carottages (ces seuls carottages ne suffisent pas à la caractérisation de la structure.)

Le RADAR détecte avec une bonne fiabilité :

- Les couches de nature différentes (bitumineuses, traitées aux liants hydrauliques, non traitées) et le décollement d'interface,
- les variations d'épaisseurs de ces couches et leurs épaisseurs globales ($>$ à 4 cm à \pm 0,5 cm),
- la présence de canalisations dans ou sous la chaussée,
- la présence de cavités dans la chaussée ou dans le support proche sous la chaussée.

Le RADAR détecte avec une fiabilité moyenne les interfaces de différentes couches d'un matériau de même nature en particulier leurs différences de compacité (teneurs en vide ou en eau différentes).

L'analyse des réflexions radar aux interfaces entre les couches permet dans certain cas d'apprécier la qualité de l'interface et, en corrélation avec les carottages, de définir des zones susceptibles de correspondre à des décollements.

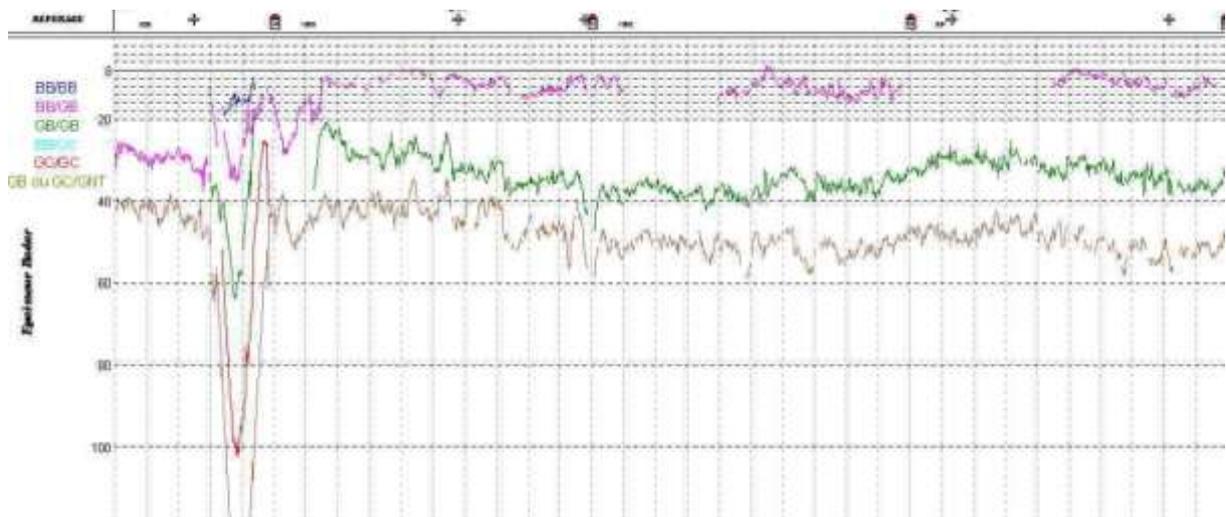


Fig. V.26 : Exemple de reconnaissance au RADAR dans le sens longitudinal

[LCPC-SETRA-2007]

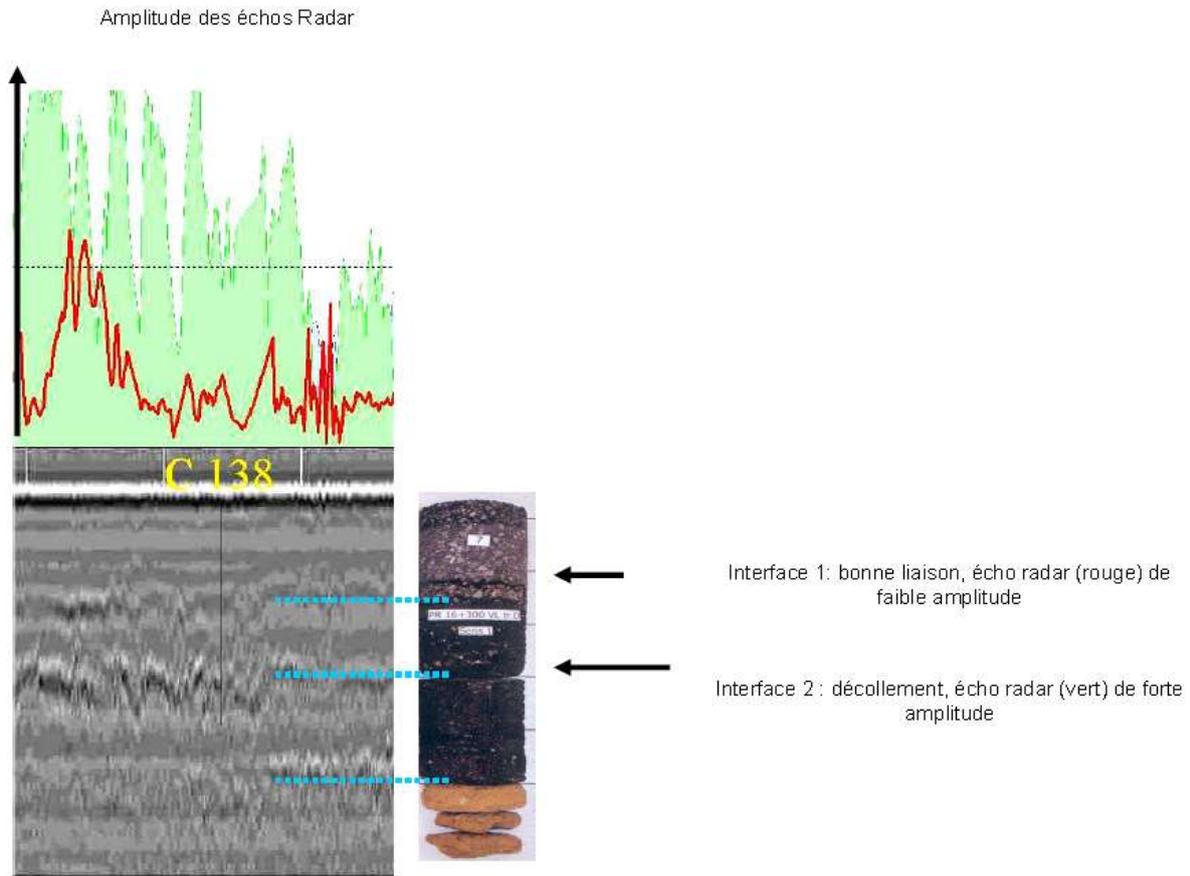


Fig. V.27 : Exemple de reconnaissance au RADAR des interfaces entre couches
[LCPC-SETRA-2007]

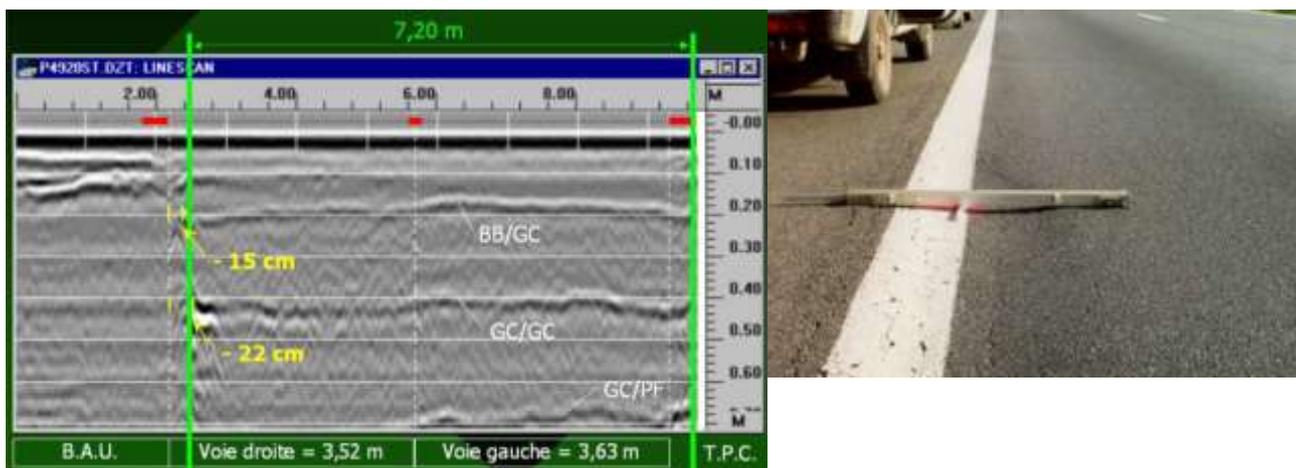


Fig. V.28 : Exemple de reconnaissance au RADAR dans le sens transversal, mise en évidence de l'absence de couches d'assise près de la bande blanche qui explique l'affaissement en bord. [LCPC-SETRA-2007]

Dans cette première étape de recueil d'informations globales, on peut toutefois citer à titre indicatif, quelques appareils que le LCPC a l'habitude d'adopter :

✓ **SCRIM :**

Il mesure en continu le coefficient de frottement transversal (CFT) de la chaussée. Le CFT mesuré « rapport entre la réaction transversale engendrée par l'adhérence pneu/chaussée et la réaction verticale de la route sur le pneu » correspond à la résistance au dérapage sur route mouillée. Sa vitesse de mesure varie entre 40 et 100 km/h sur autoroute, avec un pas de mesure égal à 10 ou 20 m. Il concerne le contrôle de l'adhérence des couches de roulement des chaussées, l'expertise de zones accidentogènes et le suivi des réseaux routiers.

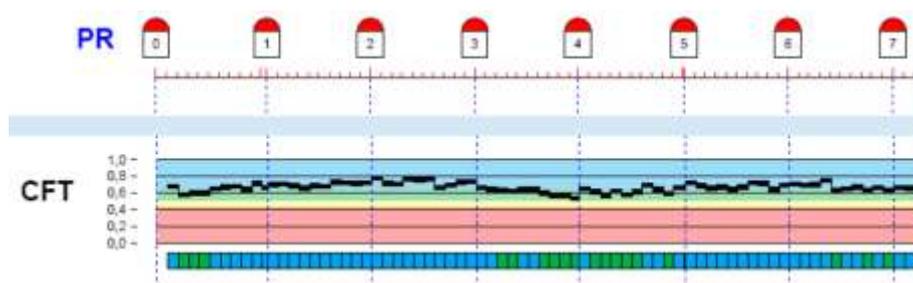


Fig. V.29 : le CFT [COTITA- Nantes 2012]

✓ **ADHÉRA 2**

Il mesure en continu le coefficient de frottement longitudinal (CFL) sur une chaussée mouillée, roue bloquée.

✓ **Gamma-densimètre Mobile à Profondeur Variable (GMPV)**

Il mesure en continu la masse volumique moyenne des couches de surface en béton bitumineux. L'appareil utilise les propriétés de la gamma-densimétrie par rétrodiffusion. Il est opérationnel sur une profondeur d'action variable de 5 à 7 cm par ajustement de la distance entre la source de rayonnement gamma et le détecteur. Sa vitesse d'auscultation est de 20 m/min. Il concerne l'épreuve d'informations de densité pour l'ensemble de la couche réalisée, le calcul de zones homogènes en densité, ainsi que le contrôle du compactage des couches de surface des chaussées lors de leur construction.

✓ **Gamma-densimètre Mobile 45 (GDM45)**

Il mesure en continu la masse volumique moyenne humide des couches d'assise des chaussées. L'appareil utilise les propriétés de la gamma-densimétrie par rétrodiffusion. Il est opérationnel sur une profondeur d'action supérieure à 11 cm. Sa vitesse d'auscultation est de 25 m/min. Il concerne les mesures informatives de la densité et de son homogénéité pour l'ensemble de la couche réalisée, ainsi que le contrôle du compactage des couches d'assise des chaussées lors de leur construction.

✓ **VANI**

Cet appareil mesure la géométrie de l'infrastructure (pentes, dévers, rayon de courbure).

V.3. Etape 2 :- Découpage de l'itinéraire en zones homogènes – Implantation de zones témoins

Une zone homogène fait référence à des données de situations (agglomération ou rase campagne), d'historique (structure, trafic, date de réalisation) et de caractéristiques de la chaussée identiques.

Le découpage en zone homogène doit être réalisé à partir de pré-découpages issus :

- des dégradations,
- des déflexions,
- des rayons de courbures mesurés,
- éventuellement, drainage, géométrie et accotements dans le cas des chaussées souples.

V.3.1. Le pré-découpage à partir des dégradations

Ce pré-découpage s'effectue visuellement. L'itinéraire est subdivisé en sections élémentaires de longueur fixe (souvent 100m).

Pour les chaussées souples traditionnelles, inverses et bitumineuses épaisses, les dégradations les plus importantes à prendre en compte pour le découpage en zones sont dans l'ordre :

- orniérage à grand rayon et affaissements,
- faiénçage et fissurations sur bandes de roulements.

Sous forme d'un code graphique ou de couleur, une classe de dégradation (orniérage : O_i) est affectée à chaque section correspondante selon la gravité.

V.3.2. Le pré-découpage à partir des déflexions

S'exécute visuellement en le comparant aux valeurs caractéristiques (déflexion caractéristique, déflexion moyenne) et automatiquement selon le mode opératoire D1 de la méthode d'essai LPC n°39.

L'itinéraire est découpé en sections élémentaires de longueur (plus souvent 100 m) auxquelles on affecte, sous forme d'un code graphique ou de couleur, la classe de déflexion (D_i) correspondante.

V.3.3. Pré-découpage à partir du rayon de courbure

Le pré-découpage est effectué visuellement par rapport aux valeurs caractéristiques du comportement : rayon médian, pourcentage de valeurs inférieures au seuil. A chaque section, on affecte, sous forme d'un code graphique ou de couleur, une classe de rayon (R_i) correspondante.

V.3.4. Pré-découpage à partir du drainage, géométrie et accotements

Pour les chaussées souples traditionnelles, la prise en compte du drainage, de la géométrie et des accotements est importante,

Pour les traverses d'agglomération, en raison de la complexité des zones d'études, les mêmes principes peuvent être retenus, mais avec des adaptations spécifiques à chaque cas.

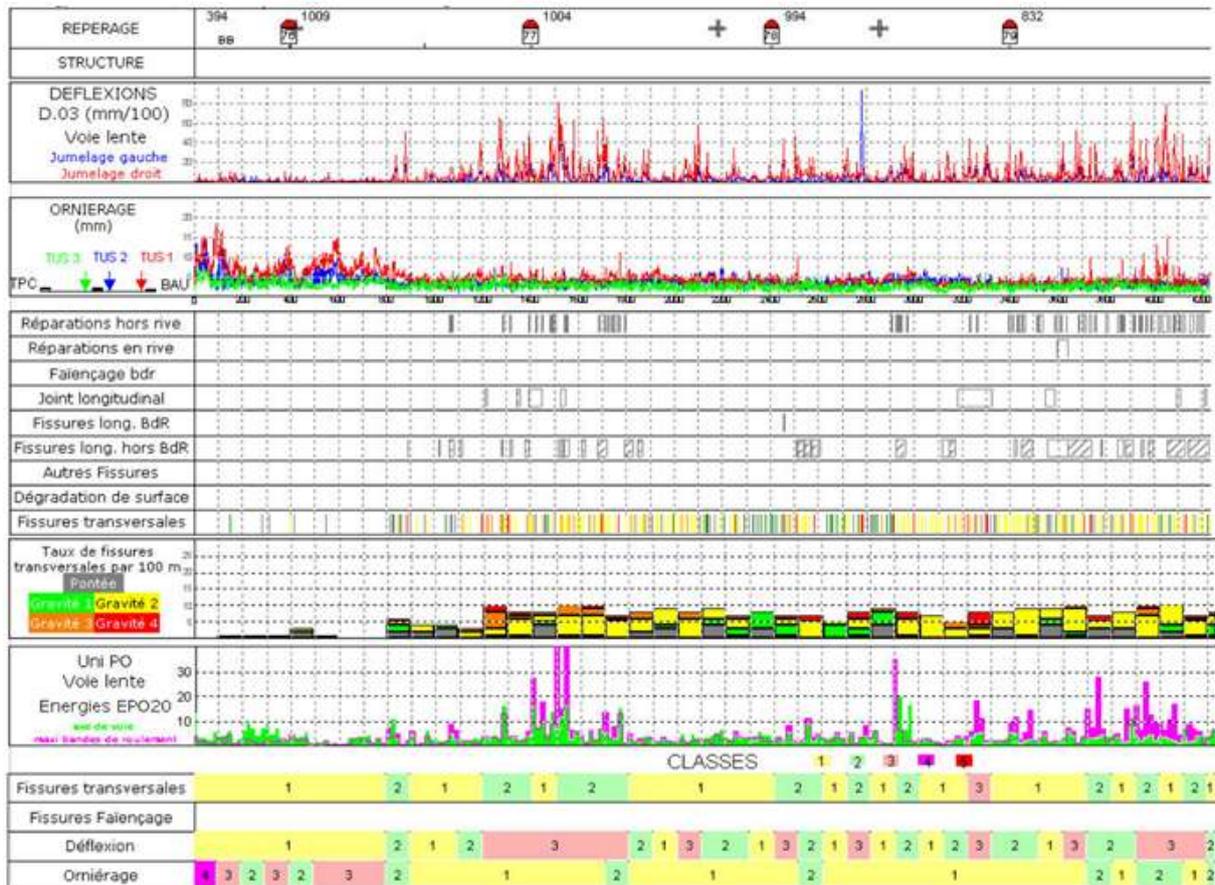


Fig. V.30 : Exemple de découpage en sections élémentaires suivant les classes des différents paramètres

V.3.5. Visite pour implanter les sections témoins et observer les relations entre les paramètres relevés et l'environnement

Afin de choisir une méthode de réhabilitation et de renforcement, il est nécessaire de savoir la différence entre les défauts concernant le corps de chaussée lui-même et les défauts extérieurs.

Les observations sur l'environnement de la chaussée permettent d'avoir une idée des risques de mauvais fonctionnement de l'assise pour les causes externes. Malgré l'importance de ces observations, il n'existe pas de démarche méthodologique d'observation bien codifiée, comme dans le cas de dégradation de surface des chaussées.

V.3.6. Implantation des sections témoins

Ces sections témoins doivent permettre de comprendre les origines des dégradations constatées. Pour cela des essais complémentaires doivent être réalisés (carottage et sondage). Les contraintes de sécurité et d'exploitation de la route sont prioritaires dans le choix de l'implantation de ces sections. Une section témoin peut être l'ensemble de la section étudiée.

V.4. Etape 3 : Investigations complémentaires sur les sections témoins

V.4.1. Mesures de Rayons de courbure sur zones témoins

Si on ne dispose pas de mesures relevées en phase 1, il est souhaitable de prévoir la mesure de ce paramètre pour la modélisation du comportement des structures bitumineuses épaisses à fort trafic et des structures semi-rigides ou mixtes.

La densité de points de mesures par zone de 200 m doit être au minimum de 10 compte tenu de la dispersion de comportement pouvant être rencontrée.

V.4.2. Mesures de déflexions sur fissures transversales

Celles-ci sont intéressantes sur des chaussées présentant des taux importants de fissures transversales pour évaluer le degré d'évolution (transfert de charge, dégradation des matériaux ou du support).

Toutefois les valeurs des déflexions sur fissures sont dépendantes du gradient de température dans les couches traitées aux liants hydrauliques, ainsi ces mesures doivent être réalisées en présence d'un faible gradient de température ($< 0,8^{\circ}\text{C}/\text{cm}$).

La déflexion est mesurée sur l'about aval (par rapport au trafic) de la discontinuité. La valeur mesurée est comparée à la valeur de déflexion sur zone entre fissures au travers du rapport « $D_{\text{fiss}} / D_{\text{centre}}$ ».

V.4.3. Sondages

Des sondages peuvent être réalisés dans le corps des chaussées. Outre les épaisseurs des couches, ceux-ci permettent de prélever la GNT et le sol pour identification en vue de leur classification suivant le GTR.

Ces sondages doivent permettre de reconstituer une coupe transversale de la chaussée. Ils sont implantés sur chaque zone homogène avec pour objectif de cerner l'état et le comportement de la chaussée. Un à deux sondages par zone homogène sont le plus souvent nécessaires pour les études en rase campagne avec un minimum d'un sondage par kilomètre sur les chaussées souples.

Pour les études en traverse d'agglomération, la structure est souvent très hétérogène et le nombre de sondages doit être plus important.

Ces sondages sont indispensables dans les cas :

- De réalisation d'épaulement et d'aménagements neufs,
- des chaussées souples,
- d'identification de points singuliers,
- de caractérisation des sols pour l'étude du comportement au gel des chaussées

V.4.4. Carottages

Ils ont pour objet :

- de déterminer les caractéristiques générales des couches de la section témoin (nature et état des matériaux, épaisseurs, conditions aux interfaces, performances mécaniques),
- d'observer l'origine et la propagation des fissures (par le bas ou par le haut),
- d'expliquer les défauts des points singuliers.

Les carottages sont réalisés suivant la méthode LPC 43. Le diamètre des carottes est supérieur à 140 mm.

V.4.4.1. Qualification des matériaux prélevés par carottages et des interfaces

Le relevé des informations lors des carottages se fait selon la méthode LPC n°43 pour la qualification des matériaux et interfaces.

Pour les interfaces, il sera distingué les 3 cas suivants : collée, semi collée et décollée.

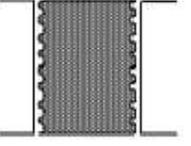
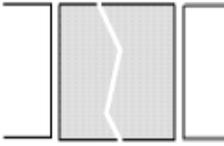
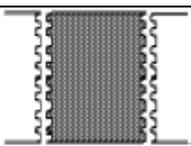
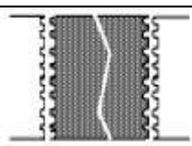
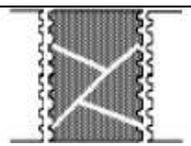
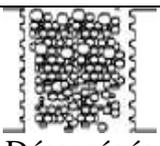
Tableau 19 : Classification de la qualité des interfaces

Collée	Bon accrochage, bonne liaison
Semi collée	Liaison détruite au carottage (surface brillante de l'interface) Paroi lisse au niveau de la liaison
Décollée	Paroi avec formation d'une cavité au niveau de la liaison et/ou érosion des bords des deux couches concernées et/ou présence de pollution au niveau de l'interface

Source : LCPC. SETRA. 2007

Les matériaux sont classés en cinq catégories : sain, médiocre, fissuré ou mauvais, fragmenté, désagrégé. Cette classification se fera pour chaque sous-couche en tenant compte des 3 éléments suivants : qualité de la carotte, qualité des parois, état de l'interface.

Tableau 20 : classifications des matériaux des sous-couches

		Qualité de la carotte				
		Saine	Médiocre	Fissurée	Fragmentée	Désagrégée
Qualité de la paroi	Lisse	 Saine	 Médiocre	 Fissurée	Non rencontré	Non rencontré
	Granulats arraché	Non rencontré	 Mauvaise	 Mauvaise	 Fragmentée	 Désagrégée

Source : LCPC. SETRA. 2007

Ces qualificatifs peuvent s'appliquer sur une partie de la carotte lorsqu'elle est d'épaisseur supérieure à 5 cm : ainsi, les parties supérieures et/ou inférieures d'une couche peuvent être désagrégées et la partie centrale de la couche peut être saine.

V.4.4.2. Essais sur les matériaux prélevés lors des carottages

Les prélèvements sont soumis à des essais adaptés aux problématiques rencontrées.

V.4.4.2.1. Matériaux bitumineux

Les essais suivants peuvent être réalisés :

- compacité,
- composition (éventuellement nature des granulats),
- analyse des caractéristiques du bitume (notamment pénétrabilité et bille anneau).

Ces essais sont indispensables pour expliquer l'origine des fissures par le haut ainsi que les fluages des enrobés.

V.4.4.2.2. Matériaux traités aux liants hydrauliques

Les essais suivants peuvent être réalisés : module et résistance en compression diamétrale suivant les normes NF EN 13286 – 42 et NF EN 13286 – 43.

En fonction des résistances mesurées en compression diamétrale les MTLH se classent en 3 états.

Tableau 21 : La classe des MTLH en fonction des résistances mesurées en compression

R_{tb} (MPa)	1		1,5
Etat	Mauvais	Moyen	Bon

Source : LCPC. SERTA. 2007

V.4.5. Essais d'Ovalisation

Les essais d'ovalisation sont réservés aux routes à fort trafic, ils permettent:

- la vérification du fonctionnement de la structure (interfaces collés ou non),
- le calage de la modélisation de la structure et la détermination des élongations à la base de la structure lorsqu'elle est couplée à la mesure du rayon de courbure et à un essai de module.
- La précision de l'évolution de structures présentant un bon comportement malgré un endommagement théorique.

V.5. Auscultation des chaussées en Algérie

V.5.1. Evaluation de l'état des chaussées

L'évaluation de l'état des chaussées est basée sur quatre indicateurs d'état qui sont les dégradations de chaussées, la mesure d'uni, la mesure de déflexion ainsi que la mesure de l'adhérence. Le relevé des dégradations de chaussées est le seul indispensable à la méthode. Les autres mesures -facultatives- peuvent être intégrées pour un meilleur cadrage des résultats.

Parallèlement et indépendamment de la hiérarchisation des besoins, une proposition de travaux et d'études est fournie sur la base d'une grille de décision qui combine ces mesures d'après des niveaux significatifs. Les résultats et les propositions sont subordonnés à l'avis du gestionnaire responsable.

V.5.2 Evaluation de l'état des dépendances

Les dépendances prises en comptes par la méthode sont les accotements, les fossés, les ouvrages de drainage et les équipements de la route (signalisation et sécurité).

Dans l'ensemble, leur évaluation consiste tout simplement à comptabiliser et à répartir ces ouvrages selon les appréciations de leur état (bon, moyen, mauvais) qui sont portées sur les formulaires des relevés par les agents de la subdivision lors des compagnes de surveillance du réseau.

V.5.3. Etat des chaussées

Dans un état de service normal, la route doit assurer plusieurs fonctions, indépendantes en partie. On distingue traditionnellement le maintien de la qualité de la circulation, la sauvegarde de la structure et la sécurité des usagers. Ces fonctions sont autant d'objectifs pour l'entretien. On retiendra deux objectifs principaux ; l'objectif « structure » qui reflète la conservation et la tenue de la chaussée, et l'objectif « surface » pour apprécier le niveau de confort et de sécurité offert aux usagers.

Cette distinction n'est que conventionnelle : une amélioration de la structure (renforcement,...) se traduit automatiquement sur la qualité de la couche de surface, un enduisage ou reprofilage a un effet sur la protection des couches inférieures, mais surtout, les objectifs sont liés à des enjeux différents de l'entretien routier : la sauvegarde de l'investissement (coût de construction de la chaussée), pour l'objectif structure, les coûts sociaux, les coûts à l'usager et les coûts d'accidents pour l'objectif surface. Dans un premier temps ,l'objectif sécurité est repris par l'objectif surface.

V.5.3.1. Seuils des indicateurs d'état par classe de route

Conformément à la hiérarchisation du réseau proposé dans le guide surveillance, les routes sont réparties dans trois classes, à savoir :

- Le réseau principal de niveau 1 « RP1 »
- Le réseau principal de niveau 2 « RP2 »

- Le réseau secondaire « RS »

A chacune de ces classes sont associés des niveaux de qualité correspondant à des seuils fixés. Les paramètres de chaussée sont ensuite comparés à ces seuils, cet écart est une mesure de la qualité de l'itinéraire, ainsi que du besoin en entretien. Après l'application de l'entretien, le suivi permet l'analyse des conséquences de l'entretien adopté.

a) Notion de niveau de service

Pour l'ensemble des indicateurs d'état et dans un souci d'homogénéisation, une échelle de quatre niveaux est retenue. Chaque niveau représente l'étendue dans laquelle l'indicateur varie.

Quatre niveaux de qualité sont distingués correspondant aux appréciations : bon, moyen, mauvais, très mauvais avec une échelle numérique correspondante : 0, 1, 2, 3.

Au passage entre deux niveaux se trouvent les seuils qui sont les valeurs limites par niveau ; 3 seuils seront définis par indicateur : Un seuil Bon/Moyen, un seuil Moyen/Mauvais et un seuil Mauvais/Très mauvais. L'interprétation des niveaux (Bon, Moyen...) et les seuils peuvent changer complètement d'un indicateur à l'autre.

b) Seuils par classe

Dans le tableau suivant sont fournis les seuils par indicateur et par classe de route. Il est évident que les seuils sont plus sévères à mesure que la classe du réseau devient importante.

Important : les seuils présentés ne sont pas des seuils de déclenchement des travaux, ils ne sont fixés que pour améliorer la représentativité des notes globales. Les seuils correspondant à l'état visuel des chaussées portent sur les notes affectées aux sections, après intégration de l'ensemble des dégradations existantes.

Tableau 22 : les seuils par indicateur et par classe de route

INDICATEUR SIMPLE		CLASSE	SEUILS		
			0/1	1-2	2/3
Uni Revêtement enrobé (mm/km)	RP1	2000	2500	4000	
	RP2	2500	3500	5000	
	RS	3000	4000	6000	
Uni Revêtement enduit superficiel mm/km	RP1	2500	3000	4500	
	RP2	3000	4000	5500	
	RS	3500	4500	6500	
Adhérence (CFT)	RP1	0.45	0.50	0.55	
	RP2	0.50	0.55	0.60	
	RS	0.60	0.65	0.70	
Déflexion (1/100 mm)	T0	50	75	100	
	T1	75	100	125	
	T2	100	125	150	
	T3	125	150	200	
	T4	150	200	250	
	T5	250	300	350	
Etat visuel des Chaussées (notes globales)	RP1	5	15	30	
	RP2	15	30	50	
	RS	30	50	75	

Source : CTTT 1995.

Depuis 1995, et d'après la Direction des Travaux Public de Tizi Ouzou DTP, les études d'auscultation des chaussées ont été bloquées, faute de quoi le réseau routier national se dégrade de plus en plus.

Conclusion

Il revient de préciser que les études d'auscultation des chaussées Algériennes (CTTP 1995) se limitent sur les quatre indicateurs d'état qui sont : les dégradations de chaussées, la mesure d'uni, la mesure de déflexion et la mesure de l'adhérence. Ainsi, les mesures de la géométrie de l'infrastructure telle que les pentes, le devers et le rayon de courbure, ne sont pas prises en considération comme c'est le cas aussi de la mesure en continu de la masse volumique moyenne des couches de surface et la masse volumique moyenne humide des couches d'assise des chaussées. Ces deux dernières mesures sont exécutées que pour le contrôle lors de la réception des travaux, cependant elles ne sont pas des mesures en continue.

Après la détermination des propriétés des couches de chaussées à partir des études d'auscultation, et après l'apport des éléments d'information nécessaires aux décisions à prendre en matière d'entretien, nous nous intéresserons maintenant au diagnostic des chaussées bitumineuses, (histoire de chercher les causes de ces dégradations et ainsi localiser le mal), qui est l'objet du chapitre suivant.



CHAPITRE VI : DIAGNOSTIC DES CHAUSSEES BITUMINEUSES.

Introduction

Un diagnostic de l'état d'un réseau permet de déterminer les causes des dégradations constatées, d'élaborer un modèle d'évolution des chaussées et prédire le comportement au fil des années selon les particularités de chacun des tronçons.

Nous suivrons dans ce présent chapitre la démarche de l'Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française (USIRF) du Réseau Scientifique et Technique de la France (RST), du Service d'Etudes Sur les Transports, les Routes et leurs Aménagement (SETRA) de l'Institut Français des sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR), et du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) de Nantes.

Le diagnostic d'un itinéraire en vue de son entretien passe par :

- Son découpage en zones homogènes,
- Des investigations complémentaires sur des sections témoins.

Ce découpage prend en compte les différents paramètres d'auscultation, déflexions, dégradations, qui traduisent les états structurels pour les différentes chaussées.

A ce stade un diagnostic sera posé sur les sections témoins dont la modélisation sera étendue à la zone homogène.

VI.1. Évaluation des dommages

Cette partie présente la méthode de calcul de l'endommagement d'une structure de chaussée existante. Elle se compose des paragraphes suivants :

- L'énoncé des principes généraux de la méthode et des équations littérales associées :
 - Loi de Miner de cumul des dommages
 - Calcul d'un dommage élémentaire
 - Trafic cumulé effectif subi par la chaussée
 - Détermination du trafic admissible de la structure existante
- Les valeurs des paramètres et notamment celles spécifiques à chaque type de chaussée

VI.1.1. Principes généraux

En parallèle au relevé de dégradations et aux différents essais réalisés sur site, l'appréciation de l'état de la chaussée en place s'accompagne du calcul du niveau d'endommagement de la structure de sa mise en service jusqu'à la date du diagnostic.

Par définition, **le niveau d'endommagement d'une structure correspond à la valeur maximale entre l'endommagement des couches liées et celui des matériaux non traités** (y compris sol ou plate-forme support).

L'endommagement des matériaux liés correspond à la valeur minimale des couches structurantes d'assise (remarque : dans le cas d'une structure renforcée plusieurs fois, une ancienne couche de surface peut être considérée comme structurante en fonction des rechargements ultérieures).

Ce processus de calcul d'endommagement implique notamment de décomposer la durée de vie passée de la chaussée en phases élémentaires. La première phase débute bien évidemment à la date de mise en service. Les phases successives sont définies ensuite par :

- Chaque intervention d'entretien significatif ou de renforcement de la chaussée,
- La rupture calculée d'une couche de chaussée. Dans ce cas les caractéristiques mécaniques de la couche évoluent et modifient par conséquent le comportement de la structure entière du fait de la redistribution des contraintes et des déformations en son sein.

Le principe général de la démarche consiste alors à :

- Calculer le niveau de dommage élémentaire associé à chacune de ces phases et pour chaque couche
- Effectuer la somme de ces dommages élémentaires depuis la mise en service
- une couche est réputée ruinée lorsque la somme des dommages est supérieure à une valeur critique
- la chaussée est réputée ruinée lorsque toutes les couches structurantes de matériaux sont elles-mêmes rompues, dans le cas contraire la chaussée possède une durée de service prévisible résiduelle (celle-ci peut se calculer ensuite à partir des prévisions de trafic et des lois de fatigue des matériaux).

La démarche d'évaluation du dommage met en jeu deux types « d'outils » de calcul :

- Les outils « traditionnels » du dimensionnement routier [Guide Technique. LCPC. 94]:
 - le logiciel Alizé-LCPC pour le calcul des contraintes et déformations dans les couches de chaussées
 - les équations des sollicitations admissibles, inversées pour obtenir le trafic admissible des couches à partir des résultats Alizé-LCPC précédents
 - la relation donnant le nombre d'essieux équivalents effectivement subis par la chaussée à partir du trafic réel et du coefficient d'agressivité moyen
- La loi de Miner de cumul des dommages pour déterminer :
 - le dommage élémentaire de la chaussée à chaque phase et pour chaque couche de matériau
 - la somme des dommages depuis la mise en service jusqu'à la date du diagnostic

VI.1.1.1. Enoncé de la loi de Miner de cumul des dommages

La loi de cumul des dommages de Miner permet de calculer le pourcentage d'endommagement des couches de chaussée en fonction principalement de leurs caractéristiques mécaniques de fatigue et du trafic subi par la chaussée.

Comme énoncé au paragraphe précédent, pour prendre en compte les changements structurels éventuels (entretiens significatifs, renforcements, rupture calculée d'une couche de matériau) entre la mise en œuvre de la structure et le moment où l'on effectue son diagnostic, il est préférable de découper cette durée en **n** phases élémentaires.

Pour chaque phase on procède au calcul du dommage élémentaire, D_i , tel que :

$$D_i = NE_{\text{eff},i} / NE_{\text{adm},i}$$

Le critère de rupture n'est pas atteint tant que l'inégalité suivante est respectée :

$$\sum_{i=(1 \text{ à } n)} D_i \leq D_{\text{rupture}}$$

Le critère de rupture de la loi de Miner est atteint dès que :

$$\sum_{i=(1 \text{ à } n)} D_i > D_{\text{rupture}}$$

Les notations sont alors les suivantes :

- i, le numéro de la phase élémentaire
- n, le nombre total de phases élémentaires
- D_i , le dommage élémentaire de la phase n°i
- $NE_{eff,i}$, le nombre cumulé d'essieux équivalents de 130 KN correspondant au trafic effectif pendant la phase i
- $NE_{adm,i}$, le nombre cumulé admissible d'essieux équivalents de 130 KN de la structure de la phase i
- $D_{rupture}$, la valeur critique d'endommagement au-dessus de laquelle le matériau est réputé cassé

Le calcul des trafics cumulés d'essieux équivalents, $NE_{eff,i}$, et $NE_{ad,i}$, est développé dans les paragraphes suivants.

VI.1.1.2. Calcul du nombre d'essieux équivalents effectif, NE_{eff} , pendant une phase élémentaire

Connaissant le trafic cumulé de poids lourds pendant chaque phase n°i, TC_i , et le coefficient d'agressivité moyen associé, CAM_i , le trafic cumulé exprimé en nombre d'essieux équivalent s'obtient selon la relation suivante :

$$NE_{eff,i} = TC_i \times CAM_i$$

VI.1.1.3. Calcul du nombre d'essieux équivalents admissibles, NE_{adm} , pendant une phase élémentaire

Le trafic cumulé admissible exprimé en nombre d'essieux équivalents de 130 KN, $NE_{adm,i}$, est déduit des relations du guide technique LCPC-SETRA « Conception et dimensionnement des structures de chaussée » de 1994, à savoir (par souci de lisibilité l'indice de n° de phase, i, est éludé) :

- Pour les matériaux bitumineux le critère de dimensionnement est la déformation horizontale à la base du matériau, ε_t , calculée avec le logiciel ALIZÉ-LCPC :

$$NE_{adm} = 10^6 \times \left[\varepsilon_t \times \frac{1}{\varepsilon_6 \times K_s \times K_c \times K_r} \times \sqrt{\frac{E_{Teq}}{E_{10^\circ C}}} \right]^{1/b}$$

- pour les matériaux traités aux liants hydrauliques et pour le béton de ciment le critère est la contrainte horizontale à la base de la couche, σ_t , calculée avec le logiciel ALIZÉ-LCPC :

$$NE_{adm} = 10^6 \times \left[\sigma_t \times \frac{1}{\sigma_6 \times K_s \times K_c \times K_d \times K_r} \right]^{1/b}$$

- Pour les matériaux non traités le critère est la déformation verticale à la surface de la couche, ϵ_z , calculée avec le logiciel ALIZÉ-LCPC :

$$NE_{adm} = \left(\frac{\epsilon_z}{A} \right)^{1/\alpha}$$

Les notations sont les suivantes :

- ϵ_6 est l'amplitude de déformation qui mène à la rupture conventionnelle à 10^6 cycles avec l'essai de flexion deux points sur éprouvettes trapézoïdales à 10 °C et 25 Hz
- σ_6 est l'amplitude de contrainte qui mène à la rupture conventionnelle à 10^6 cycles avec l'essai de flexion deux points
- E_{Teq} est le module à la température équivalente de dimensionnement et 10 Hz à l'essai de flexion deux points
- $E_{10^\circ C}$ est le module à 10 °C et 10 Hz à l'essai de flexion deux points
- K_s est le facteur lié à la qualité du sol support
- K_c est le facteur de calage du matériau
- K_d est le facteur qui prend en compte la présence des discontinuités et l'effet du gradient de température
- K_r est le facteur qui prend en compte l'approche probabiliste de la méthode rationnelle française (dispersion sur les résultats en fatigue de laboratoire et sur les épaisseurs de mise en œuvre des matériaux). Il vaut :

$$K_r = 10^{-u \times b \times \sqrt{SN^2 + (C \times \frac{Sh}{b})^2}}$$

- U est le fractile de la loi de probabilité normale réduite qui dépend du risque de calcul retenu
- b est la pente de la courbe de fatigue du matériau obtenue des essais en flexion deux points
- SN est l'écart type des résultats de l'essai de fatigue
- C ,est le coefficient qui relie la variation des déformations ou contraintes et la dispersion sur les épaisseurs de mise en œuvre
- Sh est l'écart type de la dispersion des épaisseurs de mise en œuvre des couches bitumineuses d'assise
- A et α sont les paramètres de la loi d'évolution des déformations permanentes pour les sols ou les matériaux non traités

VI.1.2. Valeurs des paramètres et spécificités selon les types de chaussée

VI.1.2.1. Valeurs des paramètres quel que soit le type de chaussée

Les valeurs des différents paramètres sont identiques à celles de [guide technique 1994 LCPC.SETRA], à l'exception :

- du risque de calcul fixé à $r = 50 \%$ qui représente l'état ultime de rupture du matériau. Par conséquent, le facteur K_r qui lui est associé vaut $K_r = 1$ (car la fractile $u = 0$) et ce quel que soit les valeurs de S_N , S_h et c .
- du facteur lié à la classe de plate-forme support qui vaut $K_s = 1$
- des paramètres de la loi d'évolution des déformations permanentes des sols et matériaux non traités, par référence à [Guide CFTR pour les avis technique]:
 - $A = 0,0225$
 - $\alpha = -0,244$

Le découpage des épaisseurs de matériaux non traités et leur valeur de module reste conforme au [guide technique 1994 LCPC-SETRA], soit notamment un découpage en sous-couches de 0,25 m

VI.1.2.2. Valeurs des paramètres pour les chaussées souples et bitumineuses épaisses

La valeur du critère d'endommagement à la rupture vaut :

- $D_{\text{rupture}} = 1$

Les couches de matériaux bitumineux dont le cumul des dommages est supérieur à D_{rupture} ont un module forfaitaire de :

- $E_{\text{enrobé cassé}} = 2\,000 \text{ MPa}$
- l'interface avec la couche supérieure immédiate reste « collée »

VI.1.2.3. Valeurs des paramètres pour les chaussées semi-rigides

Deux valeurs du critère d'endommagement à la rupture sont retenues pour prendre en compte deux états distincts des MTLH (Matériaux Traités Aux Liants Hydrauliques) :

- $D_{\text{rupture}} \geq D1$ (et $< D2$) alors le MTLH est fracturé
- $D_{\text{rupture}} \geq D2$ alors le MTLH est fissuré

Les couches de MTLH dont le cumul des dommages est supérieur à D_{rupture} ont un module forfaitaire de :

- Si $D_{\text{rupture}} \geq D1$: $E_{\text{MTLH}} = E_{\text{sain}} / 5$ (interface supérieure est décollée)
- Si $D_{\text{rupture}} \geq D2$: $E_{\text{MTLH}} = 3\,000 \text{ MPa}$ (interface supérieure est décollée)

VI.2. Les chaussées bitumineuses souples (cas de l'Algérie)

VI.2.1. Découpage en zones homogènes

Le découpage en zones homogènes est établi à partir :

- de la structure théorique ;
- de la déflexion (et du rayon de courbure) ;
- des dégradations (fissuration et orniéage) ;
- de l'état du drainage. ;
- éventuellement, du trafic.

VI.2.1.1. Découpage en zones homogènes à partir de la déflexion et du rayon de courbure

La valeur de la déflexion mesurée sur une chaussée souple dépend de l'épaisseur et de l'état résiduel des couches bitumineuses, de la rigidité des couches d'assises non traitées (épaisseur et classe de la Grave Non Traitée, GNT) et de la qualité de la plate-forme support (couche de forme comprise, généralement en matériau non traité). Par suite, sa valeur caractéristique (moyenne + 2 écart-type) constitue un indicateur du comportement mécanique de l'ensemble structure/support de chaussée.

Le Tableau 23 précise la classe de déflexion à retenir en fonction de la valeur caractéristique issue de la mesure.

Tableau 23 : Classes de déflexion caractéristique

Classes	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇
Seuils de déflexion caractéristique en 1/100 ^{ème} mm	De 0 à 50	De 50 à 75	De 75 à 100	De 100 à 150	De 150 à 200	De 200 à 300	≥ 300

Source : LCPC. SETRA. 2007

Le rayon de courbure est pour sa part plus sensible aux caractéristiques des couches de surface qu'à celles des couches profondes [LCPC.SERTA.2007]. Sur chaussée souple, cette mesure est particulièrement significative lorsque la déflexion est inférieure à 100/100^{ème} mm ; sa valeur médiane permet alors une approche plus discriminante des désordres de la chaussée, intégrant d'emblée la déformabilité à laquelle seront soumis les rechargements futurs. Lorsque la valeur médiane du rayon de courbure chute, elle traduit une insuffisance des couches bitumineuses. Le Tableau 24 fournit la valeur médiane minimale de rayon de courbure en dessous de laquelle la déflexion caractéristique doit être majorée de 50% (de D_i vers D_{i+1}).

Tableau 24 : la valeur médiane minimale de rayon de courbure

Déflexion (1/100 mm)	Épaisseur de matériau bitumineux (m)		
	0,05 m	0,10 m	0,15 m
D ₁ (0- 50/100 mm)	125	160	210
D ₂ (50-75/100 mm)	85	120	165
D ₃ (75-100/100 mm)	65	100	145
D ₄ (100-150/100 mm)	45	75	115
D ₅ (150-200/100 mm)	35	60	100
D ₆ (200-300/100 mm)	25	50	85

Source : LCPC. SETRA. 2007

VI.2.1.2. Découpage en zones homogènes en dégradations

Le découpage de l'itinéraire en zones homogènes en dégradations se fait en fonction du type et de la gravité de la fissuration et du faïençage (et de sa position), ainsi que du niveau de déformation permanente du profil en travers (orniérage à grand rayon et affaissement de rive).

Le tableau 25 précise la classe de fissuration/faïençage à retenir en fonction de la longueur cumulée affectée (exprimée en pourcent) issue du relevé.

Tableau 25 : Classement en zones homogènes en fonction du % de zones fissurées et faïencées

		Classe de fissuration/faïençage				
		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
Localisation des Fissures/faïençage	Niveau de gravité					
Dans la bande de roulement	Significatives	< 5	< 5	5 à <10	10 à 30	> 30
	Graves	< 2	< 2	< 2	2 à 5	≥ 5
Non spécifique aux bandes de roulement	Graves	< 20	≥ 20			

Source : LCPC. SETRA. 2007

Si les réparations affectent plus de 10% du linéaire, le critère fissuration/faïençage est majoré d'une classe (par exemple de F₂ en F₃).

Si les réparations affectent plus de 30% du linéaire, la majoration est de deux classes (par exemple de F₂ en F₄).

NB : Les dégradations localisées aux bandes de roulement priment pour les niveaux F₃ à F₅. Les niveaux F₁ et F₂ correspondent aux fissures non spécifiques aux bandes de roulement.

Le Tableau 26 précise la classe d'orniérage (orniérage à grand rayon et/ou affaissement de rive) à retenir en fonction de la valeur maximale issue de la mesure.

Tableau 26 : Classement de l'orniérage et des affaissements

Classes d'orniérage	O₁	O₂	O₃
Classement en fonction de l'orniérage dans la bande de roulement			
Déformation en mm	< 10	10 à 20	>20
Classement en fonction de l'affaissement de rive			
Déformation en mm	< 30	30 à 60	>60

Source : LCPC. SETRA. 2007

VI.2.1.3. Agrégation des zones homogènes en dégradations, en déflexion et en déformations permanentes

La synthèse des zones homogènes en déflexions, dégradations et ornières conduit à un découpage fin, qu'il convient d'agréger en zones individuelles de taille suffisante (longueur minimale 100 m) pour disposer d'un nombre raisonnable de zones homogènes décrivant l'itinéraire.

Lors de l'agrégation, le niveau de déflexion/fissuration/orniérage retenu correspondra à la valeur maximale rencontrée sur la zone homogène.

VI.2.2. Définition des sections témoins

Des sections témoins sont alors définies pour y réaliser des essais complémentaires, essentiellement des carottages et des sondages, qui doivent permettre de comprendre les origines des dégradations constatées.

Les contraintes de sécurité et d'exploitation de la route sont prioritaires dans le choix de l'implantation de ces sections.

Remarque : une section témoin peut être l'ensemble de la section étudiée.

VI.2.2.1. Implantation des carottages et des sondages

L'implantation des carottages est définie en fonction du niveau de dégradation relevé et de sa localisation (Tableau27), [LCPC.SETRA.2007]. Il s'agit pour l'essentiel de différencier les fissures dues au vieillissement de l'enrobé (ou fissuration thermique) venant de la surface, de celles générées par un défaut d'interface ou de structure venant de la base des couches (ou fissuration de fatigue).

Tableau 27 : Implantation des carottages

Classes de fissuration/faïençage		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
Nombre de carottes	Sur zone saine	3	2	3	2	2
	Sur faïençage, F _L ou F _T dans les bandes de roulement	1	1	3	4	4
	Sur faïençage, F _L ou F _T hors bandes de roulement	2	3	-	-	-
	Total	6	6	6	6	6

Source : LCPC. SETRA. 2007

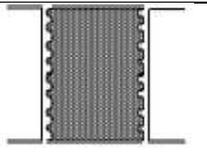
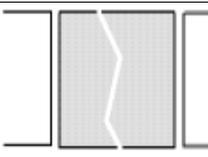
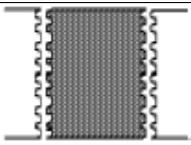
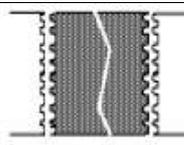
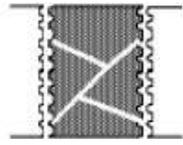
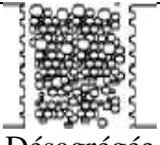
Des sondages seront également réalisés, de la façon suivante :

- au moins un sondage par 500 mètres pour connaître la structure et le sol en place, en zone peu dégradée;
- un sondage sur zone déformée (ornièrre) ou affaissée, partant du milieu de la voie jusqu'à la rive.

VI.2.2.2. Classification des matériaux prélevés sur carottes et lors des sondages

En ce qui concerne les **carottes**, la classification des matériaux constitutifs se fait pour chaque couche bitumineuse en tenant compte des deux éléments suivants : aspect de la carotte et qualité des parois de la cavité. La tenue de la carotte informe directement sur l'état des interfaces.

Tableau 28 : classifications des matériaux des sous-couches

		Qualité de la carotte				
		Saine	Médiocre	Fissurée	Fragmentée	Désagrégée
Qualité de la paroi	Lisse	 Saine	 Médiocre	 Fissurée	Non rencontré	Non rencontré
	Granulats arraché	Non rencontré	 Mauvaise	 Mauvaise	 Fragmentée	 Désagrégée

Source : LCPC. SETRA. 2007

Tableau 29 : Classification de la qualité des interfaces

Collée	Bon accrochage, bonne liaison
Semi collée	Liaison détruite au carottage (surface brillante de l'interface) Paroi lisse au niveau de la liaison
Décollée	Paroi avec formation d'une cavité au niveau de la liaison et/ou érosion des bords des deux couches concernées et/ou présence de pollution au niveau de l'interface

Source : SETRA. 2010

La coupe caractéristique des carottages pour une section témoin prendra en compte :

- l'épaisseur moyenne des couches (en éliminant les surépaisseurs importantes) ;
- la qualité des matériaux en retenant le cas suivant immédiatement le cas le plus défavorable que l'on élimine sauf s'il apparaît plus d'une fois ;
- la qualité des interfaces en retenant le cas suivant immédiatement le cas le plus défavorable que l'on élimine sauf s'il apparaît plus d'une fois.

En ce qui concerne les **sondages**, la classification se fait pour chaque couche non liée : qualité (propreté) et état hydrique des matériaux, limite des couches, arrivées d'eau éventuelles.

La coupe caractéristique des sondages pour une section témoin prendra en compte :

- l'épaisseur des couches et leur géométrie (affaissement localisé, tassement, orniérage) ;
- la qualité des matériaux ;
- la qualité des interfaces si possible.

VI.2.2.3. Modélisation des sections témoins

Pour chaque zone homogène et en fonction des données de la section témoin, une synthèse des informations collectées est établie ainsi qu'une modélisation de la structure, dans le but de valider par le calcul les mécanismes ayant conduit aux dégradations observées.

VI.2.2.3.1. Détermination du module du sol par calcul inverse

Les épaisseurs prises en compte sont celles issues des carottages et sondages. Toutes les interfaces sont supposées collées sauf celles avérées décollées entre couches bitumineuses lors des carottages.

Les couches de graves non traitées sont découpées en sous-couches d'au plus 0,1m d'épaisseur, exemple : une couche de 0,25 m se décompose en partant du bas en sous couches de 0,10 m, 0,10 m et 0,05 m.

Le sol, d'épaisseur fixée conventionnellement à 6 m, repose sur un massif semi-infini indéformable ($E \geq 10000$ MPa), de façon à rendre compte de l'effet de la non linéarité du sol.

Les modules des matériaux bitumineux sont plus sensibles à la fréquence de la mesure qu'au taux de dégradations. Par suite, on adopte pour le calcul inverse du module du sol une valeur forfaitaire de 2000 MPa, en raison de la vitesse faible de mesure de la déformée, indépendamment du taux de fissuration.

Les modules des matériaux non liés sont estimés à partir des valeurs de déflexion caractéristiques, en considérant que le module des matériaux granulaires des couches d'assises est proportionnel à celui de la couche sous-jacente : ce rapport k est fixé à 2. De plus, le module des matériaux granulaires (Tableau 31) ne peut dépasser une valeur maximale fonction de la propreté et de l'humidité constatées du matériau en place.

Tableau 30 : Module des matériaux non liés en MPa

Humidité	Propreté		
	Propre	Pollué (1)	Très pollué (2)
Sec	600	400	400
Humide	400	400	200
Suintant (3)	400	200	200

Source : SETRA. 2010

Légende :

(1) pourcentage de fines (passant à 80 µm) > 12 et VBS < 0,1

(2) pourcentage de fines (passant à 80 µm) > 12 et VBS > 0,1

(3) arrivée d'eau libre dans le trou de sondage

Le module du sol est déterminé par calcul inverse à partir de la valeur de la déflexion caractéristique de la section témoin.

VI.2.2.3.2. Détermination du module des couches bitumineuses [SETRA.2010]

A partir de la valeur médiane du rayon de courbure (et indépendamment de la valeur de la déflexion), la valeur du module du sol ayant été déterminée par calcul inverse (et conséquemment celle des couches granulaires sus-jacentes), on détermine le module des couches bitumineuses, à la température de mesure et pour une fréquence estimée de 1 Hz, avec les conditions d'interface issues des carottages.

Ces valeurs de module sont ensuite ramenées à 15°C et 10 Hz.

En l'absence de mesure du rayon de courbure, le module des matériaux bitumineux sera fonction du taux de dégradations de la section témoin, de l'état des matériaux carottés et dans le cas de couches décollées du taux d'endommagement. L'état des matériaux carottés doit être corrélé avec l'état de dégradations de la section.

Tableau 31 : Module forfaitaire des enrobés bitumineux selon leur état de dégradation

Classes de fissuration/faïençage		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
Couche de roulement		E normal		3000	2000	
Autres couches bitumineuses	Sain	2000				
	Fissuré/fragmenté	1000				
	Désagrégé	500				

Source : SETRA. 2010

NB: on attribue aux couches d'enduits superficiels un module de référence forfaitaire de 1000 MPa.

VI.3. Calcul de l'endommagement

Le calcul d'endommagement peut se faire à partir de l'historique de la chaussée, en termes de dates et de natures des travaux, et du trafic supporté par la chaussée.

Cette approche calculatoire permet de confirmer un type de dégradation, ou d'en expliquer l'apparition précoce.

VI.3.1. Endommagement du sol support [SETRA 2010]

Dans le cas des chaussées souples, la cause majeure et généralement première de la dégradation est la déformation permanente du sol support (ou de la couche granulaire la plus déformable), soumis aux efforts générés par le passage des essieux de poids lourds.

Le sol support en place ne peut en fait supporter qu'un nombre limité de passages de ces essieux, nombre au-delà duquel sa déformation permanente devient trop importante et provoque la ruine de la chaussée.

Pour chacune des phases de fonctionnement de la chaussée, ce nombre d'essieux admissible est noté $N_{\text{phase } i}$. Il est obtenu en calculant la déformation verticale $\varepsilon_{z \text{ phase } i}$ en surface du sol support (ou de la couche granulaire la plus déformable), générée au passage de l'essieu standard à roues jumelées de 130 kN, puis en utilisant la relation :

$$N_{\text{phase } i} = (\varepsilon_{z \text{ phase } i} / 16\,000)^{-1/0,222}$$

Le nombre de poids lourds empruntant la chaussée pendant cette phase i est noté $n_{\text{phase } i}$.

L'endommagement de la structure pendant la phase i , $d_{\text{phase } i}$, est alors calculé comme suit :

$$d_{\text{phase } i} = n_{\text{phase } i} \times CA / N_{\text{phase } i}$$

Le coefficient d'agressivité dépend de la classe de trafic considéré.

Tableau 32 : Coefficient d'agressivité moyen d'un poids lourd

Classe de trafic	T ₅	T ₄	T ₃	>T ₃
CAM GNT et sol	0,4	0,5	0,75	1

Source : SETRA. 2010

Cette démarche de calcul de l'endommagement du sol support encaisse également pour toute autre couche de matériau non traité ; bien que cela soit habituellement le cas, la couche de sol n'est pas nécessairement la couche la plus endommagée.

VI.3.2. Endommagement des matériaux enrobés

Il est également utile d'évaluer l'endommagement des couches bitumineuses. Celles-ci ne sont généralement pas à l'origine de la ruine de la chaussée, mais cela peut arriver lorsque leur épaisseur devient importante « entre 7 et 12 cm ».

Pour chacune des phases de fonctionnement de la chaussée, le nombre d'essieux de référence admissible par la couche bitumineuse est noté $NE_{\text{phase } i}$. Il est obtenu en calculant la

déformation en extension $\epsilon_{t \text{ phase } i}$ à la base de la couche bitumineuse, générée au passage de l'essieu de référence de 130 kN, puis en utilisant la relation :

$$NE_{\text{phase } i} = \left[\frac{\epsilon_{t \text{ phase } i}}{\epsilon_6 \times K_S \times K_C \times K_r} \times \sqrt{\frac{E(\theta_{\text{éq}})}{E(10^\circ\text{C})}} \right]^{1/b} \times 10^6$$

Le nombre de poids lourds empruntant la chaussée pendant cette phase i est noté $n_{\text{phase } i}$. Il est converti en un nombre équivalent de passages de l'essieu de référence, en le multipliant par le coefficient d'agressivité moyen du poids lourds (pour les couches bitumineuses). $CAM = 0,5$.

NB :

Lorsque l'épaisseur de la couche bitumineuse de surface diminue, la sollicitation ϵ_t calculée à la base de cette couche bitumineuse augmente, puis décroît, décrivant ainsi une courbe dite « en cloche » (figure V.I.1).

On veillera à s'assurer que le fonctionnement de la structure étudiée se situe bien du côté droit de la courbe en cloche (la sollicitation diminue quand l'épaisseur augmente). Si ce n'est pas le cas (c'est à dire si l'on est sur la partie gauche de la courbe en cloche), on retiendra alors pour la suite des calculs la sollicitation ϵ_t correspondant au sommet de la courbe (sur l'exemple, la valeur de $335 \mu\text{déf}$).

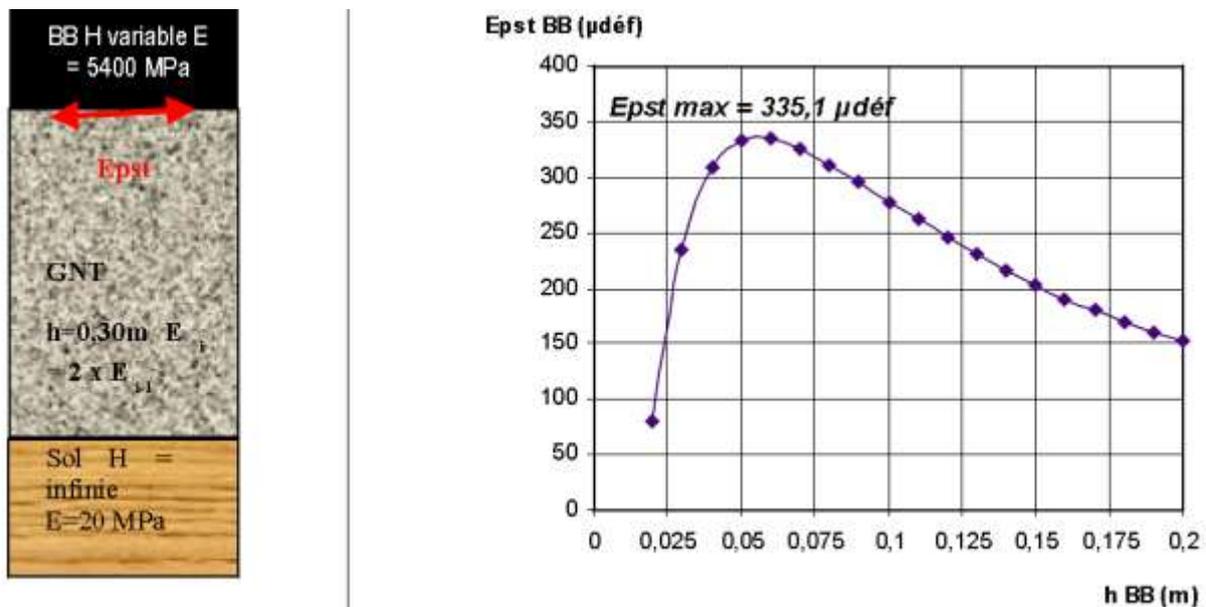


Fig.VI.1 : Évolution de la déformation en extension à la base de la couche de surface bitumineuse, dans le cas d'une chaussée souple « courbe en cloche ».

Le calcul d'endommagement peut se faire à partir de l'historique de la chaussée, en termes de dates et de natures des travaux, et du trafic supporté par la chaussée.

Cette approche calculatoire permet de confirmer un type de dégradation ou d'en expliquer l'apparition précoce.

VI.4. Cohérence entre le diagnostic et l'endommagement calculé

La cohérence entre l'endommagement calculé (si ce calcul est possible) et les dégradations observées est vérifiée.

Une chaussée est considérée comme peu dégradée si son endommagement est inférieur à 1. Elle peut être considérée comme fortement endommagée si son endommagement calculé est compris entre 1 et 10.

En cas de désaccord, la modélisation de la structure pourra être adaptée en ajustant le module du sol support et les conditions d'interface.

VI.5. Orniéage des couches bitumineuses [SETRA 2010]

L'orniéage des couches bitumineuses est un phénomène qui affecte principalement les couches de surface (liaison et roulement), parfois les anciennes couches de roulement recouvertes.

Il concerne les structures de types bitumineuses épaisses, semi-rigides, mixtes et inverses.

Il se traduit par l'apparition dans les bandes de roulement d'ornières « à petit rayon » (largeur de l'ordre de 0,80 m) sur une longueur significative (au moins une dizaine de mètres en continu), accompagnée le plus souvent de bourrelets en bord d'ornière.

Ce désordre n'a pas d'effet sur la durabilité de la structure (au sens patrimonial), mais affecte doublement la sécurité des usagers.

VI.5.1. Les causes du phénomène

L'orniéage provient du comportement thermo-viscoplastique des matériaux bitumineux.

Sous l'effet d'une température élevée (effet thermique), le liant bitumineux se ramollit (effet visqueux), permettant le réarrangement du squelette granulaire du mélange (effet plastique) sous l'effet du pétrissage généré par le passage des essieux lourds ; ce réarrangement du mélange conduit généralement à une augmentation de la compacité du mélange, puis en une extrusion du matériau du centre de la bande de roulement vers les côtés. Dès que la température diminue, le bitume se rigidifie, figeant le matériau dans sa nouvelle géométrie.

Le phénomène apparaît lorsque :

- la température ambiante (celle du mélange) est élevée (à partir de 35°C voire dès 30°C) ; le phénomène est d'autant plus accentué que la température est élevée, et qu'elle le reste longtemps ;
- la vitesse de sollicitation est plus lente (voie en montée) ;
- le matériau est soumis à un trafic agressif (trafic poids lourds élevé, concentré) ;
- les sollicitations de cisaillement sont importantes (giratoire, zones de freinage) ;
- la couche bitumineuse est d'épaisseur suffisante (0,04 m et plus).

L'évolution de l'ornière peut se faire :

- soit progressivement, au fil du temps : la cause de cet orniéage peut alors être recherchée dans la formulation du matériau, probablement inadaptée aux conditions d'usage, ou dans un léger défaut de fabrication (excès de liant, passant à 2 mm élevé i.e. supérieur à 30-32%, défaut de fines) ;
- soit rapidement : la cause en est alors souvent une période de fortes chaleurs, inhabituelle et durable, qui provoque le réchauffement de la couche sur toute son épaisseur et l'apparition de l'orniéage par mécanisme viscoplastique dans la masse du

matériau, lorsque celui-ci est inadapté à ces sollicitations thermiques (inadéquation de la classe du liant par exemple).

VI.5.2. Détection et traitement

Il est détecté :

- soit par le gestionnaire, visuellement, à l'occasion d'une visite de son itinéraire ou par plainte des usagers ; dans ce cas, l'ornière a atteint une profondeur importante (12 à 15 mm au minimum) ;
- soit lors d'une campagne d'auscultation, auquel cas l'ornière est le plus souvent de faible amplitude (5 à 10 mm).

La solution de réparation à retenir dépend de :

- la cause supposée de l'orniérage,
- la vitesse d'évolution de l'ornière
- la couche concernée.

Les causes de l'orniérage peuvent être prospectées parmi la liste suivante :

- une période de chaleur inhabituelle pour la région ;
- une inadéquation de la formule du matériau bitumineux aux sollicitations locales (trafic poids lourds, climat usuel, canalisation du trafic, valeur de rampe, zone de fort cisaillement) ;
- un défaut de fabrication, portant sur le choix du grade de bitume, le squelette granulométrique (passant à 2 mm élevé, pourcentage de fines faible) ;
- un défaut de compactage (sous-compactage ou un sur-compactage) ;
- une sollicitation exceptionnelle (augmentation importante et momentanée du trafic) ;
- une pollution exceptionnelle du matériau (par des hydrocarbures, par exemple).

La couche provoquant l'orniérage est :

- soit la couche de roulement ;
- soit la couche de liaison ;
- soit une couche plus profonde, souvent une ancienne couche de roulement rechargée.

Elle est mise en évidence :

- soit par une série de carottes prélevées le long d'un profil en travers (figure V.I.2) ;
- soit par un barreau de chaussée prélevé perpendiculairement à la bande de roulement.

La couche ornière est celle dont l'épaisseur est plus faible dans la bande de roulement par rapport à son épaisseur relevée hors bande de roulement.

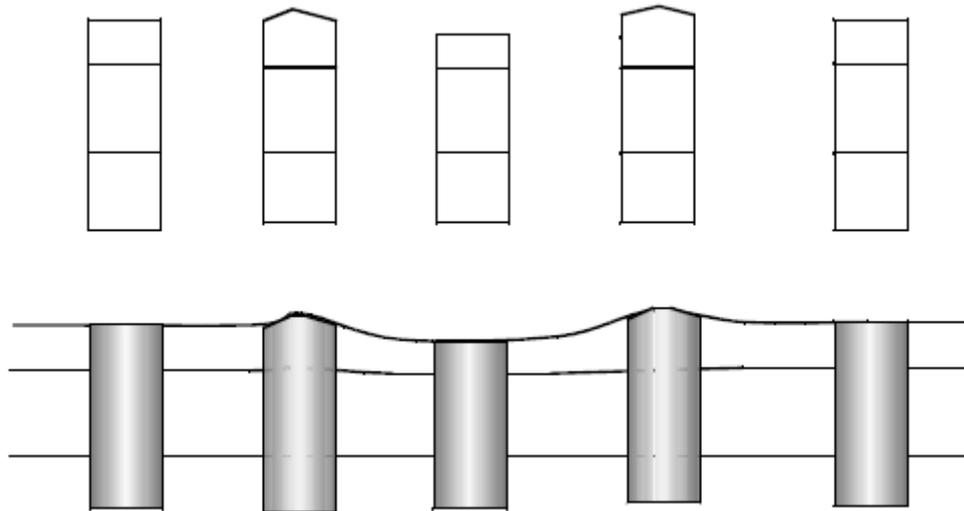


Fig.VI.2 : Détermination de la couche ornierée par carottage

VI.6. Dégradations des couches de surface de type arrachement

Ce sont des dégradations qui n'affectent que la partie supérieure de la structure.

La décohésion des matériaux bitumineux présentant des % de vides importants et placés dans un environnement humide entre des couches bien moins perméables et soumis à des conditions climatiques difficiles (cycles de gel-dégel très fréquents...) sont souvent à l'origine de ces arrachements.

Les investigations menées sur chaussées dégradées montrent que :

- tous les types de structure peuvent être concernés par ces désordres.
- les couches d'assise ne sont pas à l'origine des dégradations,
- les couches de roulement sont fréquemment des couches minces ou très minces (BBM ou BBTM). En général, elles ne présentent aucun défaut de cohésion,
- le point faible se situe entre l'assise de chaussée et la couche de roulement : couche de liaison ou ancienne couche de roulement ayant fait l'objet d'un rechargement présentant des défauts type feuilletage, perte de cohésion... Les matériaux de cette couche intermédiaire évoluent vers du dés-enrobage plus ou moins prononcé, en particulier en partie supérieure, entraînant ainsi un décollement de la couche de roulement.

Les carottes extraites montrent la vulnérabilité de cette couche de liaison à l'origine du décollement de la couche de surface.

En général, ces dégradations surviennent après entretien par couche mince sur un support ancien auparavant circulé ou ayant subi une opération de fraisage.

On notera que nos moyens et méthodes d'auscultations ne permettent pas de détecter ces défauts ni de les prévenir dans l'état actuel de nos connaissances. Il conviendra donc d'étudier plus finement ces couches de liaison lors d'études d'entretien, en particulier en augmentant le nombre de carottes et en réalisant des essais pour mieux les caractériser

Conclusion

Le diagnostic vise à déterminer l'homogénéité des zones à traiter et les causes probables des dégradations.

La réussite d'un renforcement et sa durée de vie dépendent essentiellement, du diagnostic établi par l'ingénieur routier auquel a été confiée l'étude.

Le chapitre suivant traite quelques recommandations de réparation et renforcement que nous nous permettons de proposer pour obtenir le meilleur résultat de réhabilitation ou d'entretien.



CHAPITRE VII : CONCEPTION DES RENFORCEMENTS ET REPARATION DES DESORDRES.

Introduction

Une stratégie est un ensemble d'actions coordonnées, volontairement choisies pour obtenir le meilleur résultat possible.

En matière d'entretien d'un patrimoine routier on peut concevoir plusieurs types de stratégies, seulement la question est de bien choisir celle qui convient le mieux pour maintenir ce patrimoine dans un état aussi proche de celui qu'il avait lors de sa construction initiale tout en intégrant les moyens financiers disponibles qui sont généralement limités.

Il faut noter que toujours dans le cadre de l'entretien courant, fréquemment la stratégie adoptée dans notre pays est la réparation localisée là où il faut parfois une réparation généralisée de l'ensemble de la chaussée et cela se traduit par les constatations suivantes:

- On répare ponctuellement les dégradations au fur et à mesure de leur apparition et, avec une périodicité qui souvent dépasse un certain nombre d'années.
- Pour les nids de poule par exemple le bouchage se fait à la limite seulement du trou, sachant que la dégradation se répartie sur une certaine emprise, cette méthode ne servira pas du tout à réparer cette anomalie car sous circulation de charge, les alentours du trou non traités se dégradent rapidement et on revient au point de départ.
- On réalise ensuite des enduits superficiels pour colmater par exemple la fissuration et protéger le corps de chaussée contre les infiltrations d'eau.

Cette stratégie offre sur une longue périodicité un niveau de qualité plutôt faible.

L'état de surface ne paraît bon qu'après réalisation de l'enduit superficiel. Mais très vite cet état de surface n'est pas très satisfaisant, et se dégrade rapidement suite à la nouvelle apparition de dégradations localisées (affaissement, flache, nids de poule..).

Une telle stratégie ne devrait s'appliquer en réalité qu'à des routes peu circulées, où les conséquences d'un retard dans les interventions ne gêneraient qu'un minimum d'usagers.

Après constat de ce qui existe généralement dans notre pays, les stratégies adoptées pour l'entretien périodique et la réhabilitation se limitent aux ressurfaçages progressifs qui, consistent à exécuter sur des structures de chaussée présentant des caractéristiques résiduelles satisfaisantes des ressurfaçages successifs à intervalles réguliers (enrobés de 4 à 6cm d'épaisseur tous les 5 à 6 ans environ dans le cas d'un trafic moyen avec épaulement des rives et si nécessaire amélioration du système de drainage).

Aussi les techniques utilisées sont d'une grande souplesse de programmation et d'exécution.

Cependant cette stratégie peut avoir des inconvénients tels que :

- La réalisation de couches successives, mal collées entre elles, ce qui peut nuire à la bonne tenue de l'ensemble de la chaussée.
- La structure peut rester sous dimensionnée et donc fragile
- Les interventions répétées sur chaussées circulées sont gênantes pour les usagers.
- Il n'est pas toujours facile d'obtenir les crédits nécessaires pour réaliser de tels travaux coûteux.

En effet le manque de moyens financiers pour réunir à temps les crédits nécessaires, la gestion déficiente de matériel d'exécution, contribuent à l'inefficacité de la politique d'entretien routier.

VII.1. La méthode du guide Algérien des renforcements de chaussées

Le renforcement des chaussées en épaisseur consiste à construire sur la structure existante une ou plusieurs couches. En général, on se limite à une ou deux couches, soit la couche de surface uniquement, soit la couche de surface et la couche de base. Pour le dimensionnement des renforcements, plusieurs méthodes existent.

Le guide se présente sous la forme de six fascicules et a été diffusé en décembre 1992 par le Ministère de l'équipement :

- Méthodologie de dimensionnement ;
- Techniques de renforcement ;
- Evaluation économique ;
- Organisation des contrôles ;
- Dossier de consultation des entreprises ;
- Cahier des charges type pour les études de renforcement.

Il traite donc de l'ensemble des aspects liés à la conception et à la réalisation des projets de renforcement routier. Le guide n'est cependant pas applicable :

- Aux chaussées d'aérodromes ;
- Aux chaussées de voiries urbaines.

VII.1.1. Articulation générale de la méthode de dimensionnement

Le schéma ci-dessous montre le cheminement global pour le dimensionnement d'une section de chaussée.

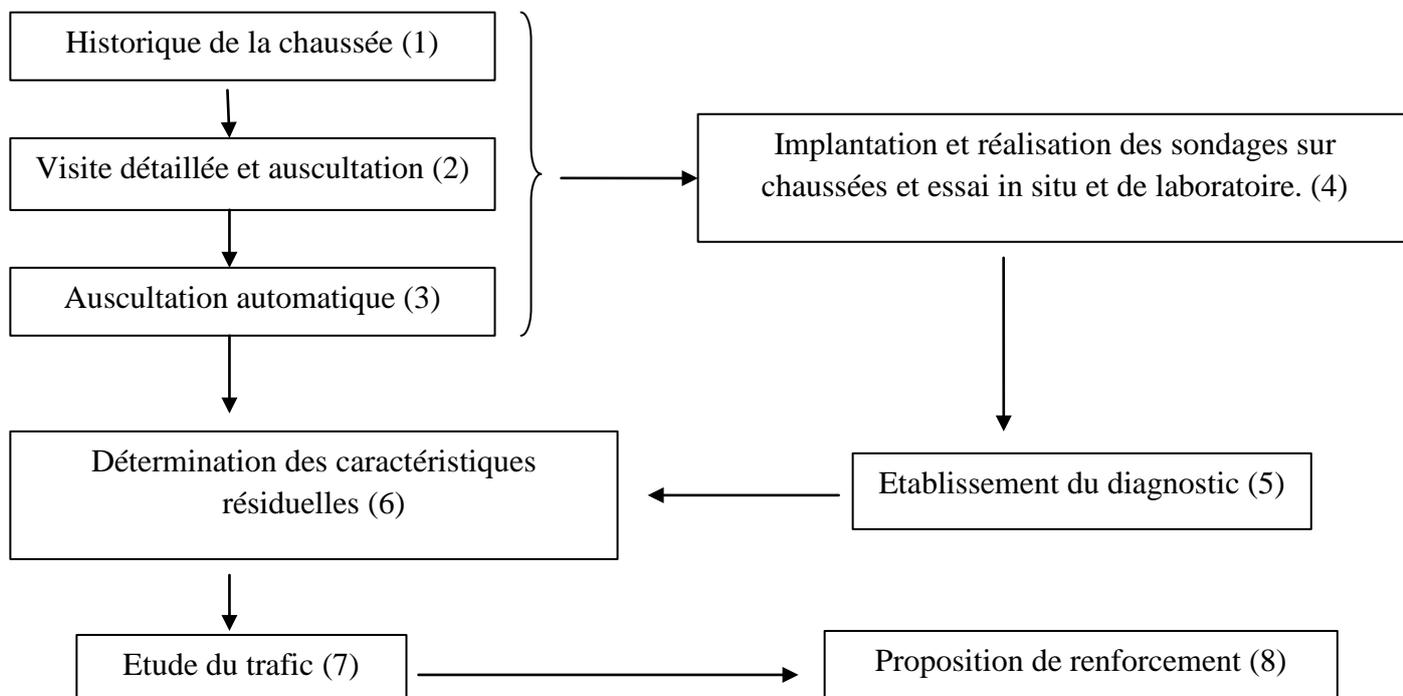


Fig. VII.a. : Cheminement général de la méthode. Le Ministère de l'équipement. 1992

VII.1.2. Hypothèses fondamentales pour le dimensionnement

VII.1.2.1. Les paramètres liés au climat

L'Algérie a été subdivisée en trois zones climatiques selon la pluviométrie moyenne annuelle comme suit :

Tableau 33 : Zones climatiques de l'Algérie

Zone	Pluviométrie (mm/an)
Humide (Nord)	> 350
Semi-arides (Hauts plateaux)	350 à 100
Aride (Sahara)	<100

Source : le Ministère de l'équipement. 1992

Ces paramètres interviennent essentiellement :

- Au niveau de dimensionnement pour corriger les valeurs de déflexion ;
- Au niveau du choix des classes de bitumes pour matériaux enrobés.

VII.1.2.2. Le trafic (le taux de croissance moyen annuel est pris égale à 5%)

- Le trafic de dimensionnement est le trafic poids lourd PL (véhicules de charge utile ≥ 5 tonnes) circulant sur la voie la plus chargée à l'année de mise en service et cumulé pendant la durée de vie de la chaussée.
- Les classes de trafic sont définies de T₀ à T₅ à partir du nombre cumulé de PL pendant la durée de vie du renforcement (voir tableau ci-dessous). L'agressivité de ce trafic n'est prise en compte puisque les charges à l'essieu n'interviennent pas, ce qui constitue une des insuffisances de la méthode.

Tableau 34 : Classes de trafic

Classe	Trafic PL cumulé à la fin de la durée de vie
T ₀	$< 3,5 \cdot 10^5$
T ₁	$3,5 \cdot 10^5$ à $7,3 \cdot 10^5$
T ₂	$7,3 \cdot 10^5$ à $2,0 \cdot 10^6$
T ₃	$2,0 \cdot 10^6$ à $7,3 \cdot 10^6$
T ₄	$7,3 \cdot 10^6$ à $4,0 \cdot 10^7$
T ₅	$>4,0 \cdot 10^7$

Source : le Ministère de l'équipement. 1992

VII.1.2.3. La durée de vie du renforcement

Le guide Algérien des renforcements des chaussées (décembre 1992) préconise des durées de vie de 10, 15 ou 20 ans selon la stratégie adoptée. En pratique, les renforcements sur routes nationales RN ont été, jusqu'à ce jour, dimensionnés pour 10 ans, ce qui correspond à une stratégie de durée de vie. D'autres stratégies peuvent être adoptées, par exemple :

- Renforcement épais pour une durée de vie de 20 ans ;
- Renouvellement de la couche de surface pour 5 ans puis, renforcement pour 10 ans ou 15 ans, etc.

Le choix d'une stratégie donnée est fonction des conditions économiques relatives à chaque projet. Cependant, les principaux critères de choix entre plusieurs stratégies en l'absence de toute contrainte budgétaire peuvent être énumérés ainsi :

- Coût de construction - entretien - exploitation, à minimiser ;
- Niveau de sécurité acceptable ;
- Niveau de service raisonnable ;
- Portance maximum ;
- Retarder au maximum l'apparition de dégradations sur la chaussée ;
- Procurer une gêne minimum à la circulation lors de l'exécution des travaux ;
- Sauvegarde et protection de l'environnement, bruit de roulement notamment.

VII.1.3. Prise en compte de l'uni

En fonction des valeurs de l'uni mesuré, on détermine les trois états (bon, moyen, mauvais) explicités sur le tableau 15.

Tableau 35 : Etat de la chaussée en fonction de l'uni

Etat	Seuils d'uni admissibles (mm/km)	
	Enrobés bitumineux	Enduits superficiels
BON	< 2000	< 2500
MOYEN	2000-3500	2500-4000
MAUVAIS	>3500	>4000

Source : le Ministère de l'équipement. 1992

VII.1.4. Prise en compte des dégradations de chaussée

Le relevé de dégradations permet de déterminer l'état de la chaussée (Bon, Moyen, Mauvais) en se référant au tableau 16.

Tableau 36 : Evaluation de l'état de dégradation

Etat de la dégradation	Description
Bon	<ul style="list-style-type: none">- Absence de fissuration et de réparations ;- Déformations faibles isolées éventuelles ;- Fissurations et réparations isolées.
Moyen	<ul style="list-style-type: none">- Fissurations (fissures, faïençage, et/ou réparations fréquentes) ;- Déformations de moyenne importance localisées ;- Fissurations et/ou réparations généralisées.
Mauvais	<ul style="list-style-type: none">- Déformations généralisées et/ou importantes ;- Déformations de grande importance même localisées.

Source : le Ministère de l'équipement. 1992

VII.1.5. Détermination du type de renforcement

On distingue quatre catégories de renforcement : « léger », « moyen », « lourd » et « très lourd » que l'on fixe à l'aide des niveaux de l'uni, de déflexion et de dégradation déterminés comme ci-dessous en utilisant la grille de décision suivante :

Tableau 37 : Grille de décision pour le choix du type de renforcement

	Uni			Déflexion			Dégradation		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Entretien	◇			◇			◇		
Léger	◇			◇				◇	
	◇				◇		◇		
		◇		◇			◇		
		◇		◇				◇	
Moyen	◇				◇			◇	
	◇			◇					◇
		◇		◇					◇
		◇			◇		◇		
		◇			◇			◇	
			◇	◇				◇	
	◇		◇		◇		◇		◇
Lourd			◇		◇				◇
			◇		◇			◇	
		◇			◇				◇
			◇			◇		◇	
			◇			◇	◇		
		◇				◇		◇	
Très Lourd		◇				◇			◇
			◇			◇			◇

VII.1.6. Choix de la structure de renforcement

Le guide propose 9 planches de structures types de renforcement faisant appel aux différentes techniques envisageables dans notre pays, parmi celles-ci, on distingue :

- Les graves non traitées ;
- Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés ;
- Les matériaux traités aux liants hydrauliques.

L'objectif de la conception des solutions de travaux de renforcement peut être :

- Une réhabilitation ou une remise en état d'une chaussée ayant évolué au-delà des seuils admissibles.
- Un entretien des caractéristiques de surface sur une chaussée ayant moyennement évolué.

Dans ce présent chapitre, nous allons illustrer quelques solutions de réparation et de renforcement pour tous les désordres rencontrés dans le chapitre III, ainsi pour chaque cause, une réparation ou un renforcement sera proposé.

VII.2. Les solutions de réparations [COTITA-2012]

Dans le tableau 38 suivant sont présentées les différentes pathologies, leurs descriptions, leurs catégories, leurs causes probables ainsi que les types de réparations envisageables.

Tableau 38 : solutions de réparations

Pathologie	Description	Catégorie	Causes possibles	Type de réparation envisageable
Fissure longitudinale ou transversale	Rupture de la chaussée dans le sens du trafic ou dans le sens perpendiculaire.	Défaut de structure ou de surface	<ul style="list-style-type: none"> - Fatigue de la chaussée (remontée de fissures) - Ouverture du joint de construction 	Selon la gravité : pontage de fissure, ou fraisage et remplacement de la couche de roulement, ou rabotage et remplacement du corps de chaussée.
Fissure parabolique	Décollement localisé de la couche de roulement, en forme de parabole, qui se produit généralement dans les zones d'accélération et de freinage carrefour, feu tricolore.	Défaut de surface	Décollage de la couche de roulement et de la couche de base.	Fraisage et remplacement de la couche de roulement, en veillant au soin apporté à la couche d'accrochage.
Orniérage	Déformation d'une chaussée dans le sens du trafic, au droit du passage répété des roues des véhicules.	Défaut surfacique et structurel	Tassements additionnels de la chaussée liés au trafic, soit des couches bitumineuses uniquement, soit des couches bitumineuses et des couches de fondation.	Fraisage et remplacement des couches bitumineuses, et éventuellement des couches de fondation.
Dés-enrobage	Désintégration progressive du revêtement de surface d'une chaussée.	Défaut de surface	Séparation du liant et du granulats, provoquant des pertes localisées d'adhérence.	Si les fines se désagrègent : enduit superficiel. Si les gravillons également sont touchés : fraisage et remplacement de la couche de roulement.

Ressuage	Remonté de liant à la surface d'un revêtement bitumineux (enduit superficiel ou enrobé à chaud).	Défaut de surface	Formulation de l'enduit superficiel ou des enrobés à chaud.	Rabotage, ESU, PATA ou ECF.
Faïençage	Réseau maillé de fissures apparaissant sur la couche de roulement.	Défaut de structure	Usure des couches de base et de fondation, se traduisant en surface par une rupture caractéristique des couches bitumineuses souple.	Reconstruction ou recyclage complet de la structure de chaussée de manière ponctuelle ou généralisée.
Nid de poule	Trou apparaissant localement sur toute l'épaisseur d'une chaussée.	Défaut de structure	État ultime d'un défaut structurel ou de surface non traité à temps.	Rebouchage provisoire en enrobé à froid puis terrassement et reconstitution de la structure de chaussée manquante.

Source :[COTITA-2012]

VII.2.1. Point A Temps Automatique PATA

Sur fissures ramifiées suffisamment larges (supérieures à 1mm), constituant des zones faïencées.



Fig. VII. 1 : PATA[COTITA-2012]

▪ **Mise en œuvre**

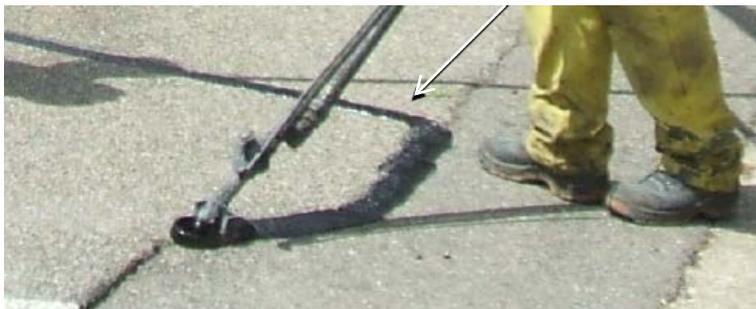
- Recouvrement mécanique ponctuel ou continu d'une bande de mastic à base de liant élastomère saupoudrée à refus de gravillons granitiques de granularité 2/4 mm ou 4/6,3 mm.
- Aspiration de l'excédent des gravillons pour éviter toute projection.

VII.2.2. Pontage de fissure

Nettoyage et colmatage de fissures non ramifiées à l'aide d'un véhicule spécialisé équipé en général de trois (03) lances.



**Fig. VII. 2 : Chauffage et nettoyage de la fissure (Air sous haute pression : 400°C).
[COTITA-2012]**



**Fig. VII. 3 : Application du mastic à base bitumineuse élastomère
[COTITA-2012]**



Fig. VII. 4 : Sablage [COTITA-2012]

VII.2.3. Rechargement de la couche de roulement

Si l'altimétrie le permet, rechargement du corps de chaussée par ajout d'une couche de roulement mince.

Mise en œuvre :

- Préparation de la surface par balayage, nettoyage par grattage mécaniques et manuels de la surface à traiter,
- Mise en place d'une couche d'accrochage
- Application de Béton Bitumineux non structurant (<4cm type BBM, BBTM, ESU ou ECF)

VII.2.4. Enduits Superficiels d'Usure (ESU) – NF EN 12271

Couche de roulement réalisée en place et constituée de couches de liant et de granulats répandus successivement.

- Préconisations

- **Monocouche simple gravillonnage**
 - Pour tous trafics jusqu'à T2
 - Réalisé plus couramment en petites granularités 6/10 et 4/6
 - Nécessite un support homogène



Fig. VII. 5 : ESU monocouche [COTITA-2012]

- **Bicouche**

- A préféré sur support hétérogène et sec
- Apporte une étanchéité améliorée
- Bien adapté en région humide et froide



Fig. VII. 6 : ESU monocouche [COTITA-2012]



Fig. VII. 7 :Exemple de travaux ESU. [COTITA-2008]

VII.2.5.Enrobé Coulé à Froid (ECF)

Principe :

- Pour chaussées à trafic faible à moyen
- Granularité continue 0/4, 0/6, 0/8 et 0/10
- Émulsion de bitume pur ou modifié
- Ajouts: dope, ciment, fibres, pigments, eau
- Mise en œuvre en 1 ou 2 couches avec une machine unique de fabrication et de transport

Préconisations :

- Pas de compactage sauf si absence de trafic
- Monocouche ou bicouche
- Peut-être Pigmenté

Conditions de mise en œuvre :T>10°C et pas d'humidité

- A proscrire en zones à fort cisaillement (giratoires, virages...)
- Fraisage de la signalisation routière
- Rabotage / reprofilage si support déformé >1cm
- Bruyant : granularité 0/8 est un bon compromis



Fig. VII. 8 : Exemple de travaux ECF. [COTITA- Aout 2011]

VII.2.6. Renforcement de la couche de roulement

C'est le remplacement de cette couche de roulement au moyen de :

- Fraisage de la couche de roulement en place, aspiration et balayage.
- Mise en place d'une couche d'accrochage.
- Mise en œuvre d'une nouvelle couche de roulement adaptée (Béton Bitumineux Semi-Grenu BBSG, ou Béton Bitumineux à Module Elevé BBME)

VII.3. Les renforcements

VII.3.1. Les interfaces anti-fissures

Les techniques qui sont développées dans cette partie sont des techniques d'entretien qui peuvent également être mises en œuvre, dès la construction des assises de chaussées et d'assises aéronautiques [Service Technique des Bases Aériennes STBA-1999], faisant appel à des assises traitées aux liants hydrauliques.

La transmission des fissures de l'assise dans les couches de surface est la conséquence des contraintes engendrées par les sollicitations, mais aussi et essentiellement la conséquence des contraintes thermiques (cycles saisonniers et journaliers).

Pour éviter totalement ces dernières il suffirait de supprimer le collage des enrobés sur l'assise ; ainsi la fissure de l'assise provoquée par le retrait de prise ne pourrait pas s'amorcer à la base de la couche de surface. Mais cela conduirait à un fonctionnement tellement défavorable qu'aucune couche de roulement ne résisterait longtemps dans de telles conditions.

Le concept qui est à l'origine des techniques d'interposition s'appuie sur le désir de désolidariser la couche de surface de l'assise vis-à-vis des contraintes thermiques (initialisation de la fissure de l'assise par des sollicitations horizontales et lentes) tout en assurant son collage sur le support de manière à lui permettre un fonctionnement mécanique normal sous les charges.

Autrement dit, les techniques d'interposition consistent à mettre en œuvre entre l'assise et les couches de surface une « membrane anti-fissure » ou une « couche de diffusion des contraintes » qui a un triple but :

- sur le plan de la transmission des contraintes, en tête de la fissure, provenant des cycles thermiques lents, elle dissocie les deux couches,
- elle permet à la structure de supporter les sollicitations des charges en assurant un bon collage de l'enrobé à son support,
- elle doit conserver l'imperméabilité de la structure même si la fissure se développe dans la couche de surface.

Le matériau utilisé pour constituer une membrane anti-fissure doit donc être suffisamment déformable sous les sollicitations lentes des cycles thermiques de manière à permettre la «Dissipation des contraintes » apparaissant en tête des fissures du support mais il doit conserver une rigidité suffisante pour les sollicitations rapides dues aux charges. Il ne doit pas présenter une forte compressibilité verticale pour ne pas augmenter exagérément les contraintes de flexion dans la couche de roulement ni être le siège de déformations permanentes ou fluage entraînant des déformations en surface. Il doit adhérer avec deux faces pour assurer le collage de la couche de roulement sur son support et doit aussi conserver son imperméabilité même au-dessus ou en dessous d'une fissure ouverte.

On peut classer les techniques d'interposition (plan anti-fissure) en quatre grandes familles. Ce sont :

1. les interfaces en enrobé fin bitumineux riche en liant et en fines
2. les interfaces en enduit bitumineux épais clouté(membrane bitumineuse)
3. les interfaces avec grillage d'armatures métalliques
4. les interfaces en géosynthétique imprégné
 - a. les interfaces bitumineuses avec géotextile
 - b. les interfaces bitumineuses avec géogrilles en polymère ou en fibre de verre
 - c. les interfaces avec armatures plastiques alvéolaires.

L'utilisation d'une interface comprend généralement :

- la préparation du support
- le cas échéant, le profilage de la surface du revêtement
- la pose d'une interface anti-fissure sur la surface ou une partie de la surface d'un revêtement routier
- la fixation éventuelle au support par des moyens appropriés
- l'application éventuelle d'une couche de protection

Ces procédés sont surtout utilisés pour l'entretien de chaussées semi rigides ou pour le rechargement de chaussées en béton, mais ils peuvent également être utilisés sous forme préventive pour des chaussées neuves dont la couche de base est en matériau traité avec un liant hydraulique.

VII.3.1.1. les interfaces en enrobé fin bitumineux riche en liant et en fines

Ce procédé consiste à réaliser la couche de roulement d'entretien (ou les couches de surface en chaussée neuve) sur une première couche de 1,5 à 2 cm d'épaisseur en enrobé 0/6 ou mieux 0/4 élaboré à partir d'un granulat entièrement concassé avec une formulation comptant de l'ordre de 10 % de bitume; 12 à 15 % d'éléments inférieurs à 80 microns (module de richesse visé entre 5,5 et 6) et 10 à 15 % de sable roulé.

Ce système souvent présenté sous l'appellation « enrobé bicouche » est parmi les plus efficaces.

La mise en œuvre de ce produit se fait au finisseur vis calées pour respecter l'épaisseur sur une couche d'accrochage classique et avec un compactage en général réalisé par un compacteur tandem à jantes lisses; seuls les joints sont vibrés.



Fig. VII. 9 : Aspect de surface avant mise en œuvre de la couche de roulement [STBA-1999]



Fig. VII. 10 : Compactage du sable enrobé Anti-fissure [STBA-1999]

Pratiquement plusieurs entreprises routières ont mis au point des formulations de sable enrobés sous les appellations spécifiques suivantes :

Entreprise	Nom du procédé	Caractéristiques
BEUGNET	Microchape	Bitumecaoutchouc
COLAS	Saflex	Bitume + SBS
EJL	Biplas	Bitume + EVA
EUROVIA	Viasaf	Bitume + SBS + fibres
GERLAND	Plastoger	Bitume + EVA + PIB
SACER	Fistop	Bitume + SBS
SCR	Souplex et asphapol	Bitume + SBS
SCREG	Bicompoflex	Bitume + SBS + fibres

SBS : polyStyrène Butadiène Styrene ;

EVA : copolymère d'Etylène Vinyle Acétate ;

PIB : Poly IsoButadiène.

VII.3.1.2. les interfaces en enduit bitumineux épais clouté (membrane bitumineuse)

Aujourd'hui la technique, qui a fait ses preuves aux États-Unis sur les chaussées fissurées sous l'appellation SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer), consiste toujours à répandre au moins 2,5 kg/m² d'un liant modifié par une forte teneur en élastomères (généralement des SBS) ou d'un bitume caoutchouc.

Pour permettre le passage des engins de mise en œuvre de la couche de roulement, la membrane ainsi réalisée est protégée soit par léger gravillonnage (2/4), soit par un enrobé coulé à froid (cas du procédé Flexiplast).

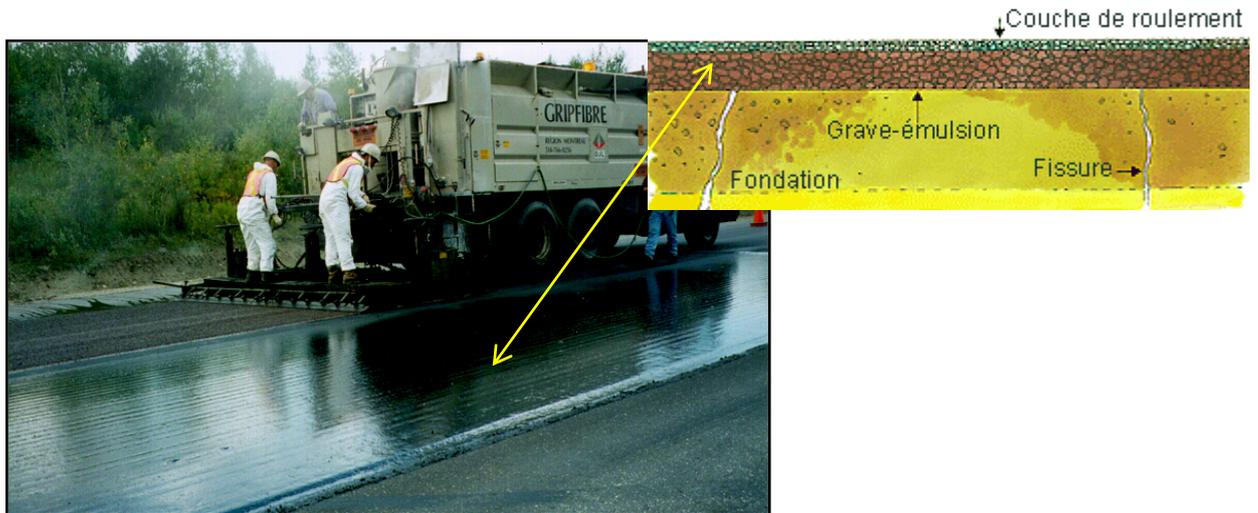


Fig. VII. 11 : Aspect d'une membrane en bitume-caoutchouc(élastomère) aussitôt après son répandage avant la mise en œuvre d'un enrobé ECF pour la protéger

[Bozkurt et al. (RILEM 2000)].

Cette technique, mise en œuvre avec des matériels et des produits classiques a l'avantage d'être simple et donne toute satisfaction sur le plan théorique. Son efficacité est la conséquence de la qualité et de la quantité du liant, de la continuité de la membrane (d'où la nécessité de ne pas la percer avec le gravillonnage) et de la garantie qu'elle assure un bon collage des couches.

VII.3.1.3.les interfaces avec grillage d'armatures métalliques

Les grillages d'armatures métalliques sont des grillages fabriqués à partir d'un fil d'acier recouvert d'un alliage de Zn-Al, renforcés à des intervalles réguliers par des torons ou par des fils plats torsadés.

L'opération se déroule en deux phases :

- la première phase consiste en la pose du grillage.
- la deuxième phase consiste en l'application d'un coulis comportant les opérations suivantes :
 - une émulsion est préalablement répandue comme couche d'accrochage sur le support. La quantité minimale de liant résiduel est de 0,4 kg/m²
 - le Revêtement Bitumineux Coulé à Froid RBCF 0/7 est mis en œuvre à raison de minimum 12 kg/m²
 - si le recouvrement se compose d'une couche unique en enrobé drainant, on applique un coulis (RBCF) bicouche dont la couche inférieure est de type 0/7 et la couche supérieure de type 0/4
 - le recouvrement s'effectue sans couche d'accrochage supplémentaire.

VII.3.1.4. Les interfaces en géosynthétique

Le renforcement par géosynthétiques a été utilisé dans les structures de chaussée depuis plus de 40 ans en Europe. Les avantages, tant en matière de réduction des coûts de construction qu'en allongement de la durée de service, ont été vérifiés aussi bien grâce à des projets de recherche COST REIPAS (Cost Action 348, 2002), que dans des expériences de terrain. Le renforcement par géosynthétique peut être utilisé aussi bien dans la couche de base granulaire que les couches de béton bitumineux ou les structures en béton.

Le but de l'utilisation du renforcement par géosynthétique est (Cost Action 348, 2004-1):

- d'augmenter la durée de vie de la chaussée vis-à-vis de la fatigue,
- de réduire le tassement différentiel et total,
- de réduire l'orniérage de surface et du support,
- de supprimer ou limiter les remontées de fissures,
- d'augmenter la résistance aux fissures dues au gel,
- de réduire l'utilisation matériaux minéraux,
- de réduire les coûts de maintenance,
- d'augmenter la capacité portante,
- de permettre pontage des vides,
- et la construction de la plate-forme.

La façon dont est utilisé le renforcement par géosynthétique dépend en grande partie des conditions locales. Les conditions de fondation, les types de matériaux granulaires, les types de couche de roulement, l'eau, la température et les conditions de trafic ont tous une influence sur la conception de la structure, les types de renfort utilisés ainsi que les effets atteints.

Les géosynthétiques de renforcement utilisés dans les couches non-traitées sont des géogrilles, géotextiles et géocomposites en polymère. Le renforcement est installé dans la structure de chaussée sous, et parfois dans, la couche de base, la couche de fondation, la couche de forme ou le sol support stabilisé. Un résumé des fonctions, de l'emplacement et du type de renforcement utilisés est présenté dans le tableau 39.

Tableau 39 : Fonction, emplacement et type de renforcement dans les couches non-traitées.

Fonction	Couche de base	Couche de fondation	Couche de forme	Sol support stabilisé
Éviter l'orniérage	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles.	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles. Géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles. Géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles. Géotextiles
Augmenter la capacité portante	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles
Éviter les fissures dues au gel	Treillis métalliques Géogrilles en polymère	Treillis métalliques Géogrilles en polymère		
Éviter les fissures dans les zones d'élargissement	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	
Éviter les fissures de fatigue	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	
Contrôle de déformation du sol support		Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles
Pontage des vides		Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Treillis métalliques Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles
Construction de la plate-forme	Normalement pas de couche de base	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles	Géogrilles en polymère Composites en polymère géogrilles/géotextiles Géotextiles

Source : Cost Action 348, 2004-1

Une gamme plus large de matériaux est utilisée pour le renfort de couches traitées ; ils répondent à un grand nombre de problèmes. Les types de géosynthétiques utilisés dans les couches traitées sont des géotextiles, des géogrilles à base de polymère, des géogrilles en fibre de verre et des géocomposites.

L'utilisation de géosynthétiques dans des couches traitées est plus généralement liée à la réhabilitation de route. L'utilisation de géosynthétiques peut être liée soit à la mise à niveau et à l'installation d'une couche de roulement sur des routes existantes en matériaux granulaires, soit à la réparation de la couche de roulement de routes existantes dont le revêtement est fissuré.

Typiquement les problèmes résolus lors de l'utilisation de géosynthétiques de renfort dans la couche de roulement sont présentés dans les figures VII.12 à VII.15.

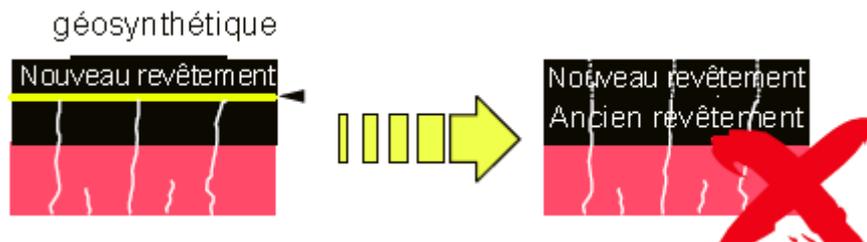


Fig. V.II.12 : réduire ou éviter la remontée des fissures
[International Geosynthetic Society (IGS)]

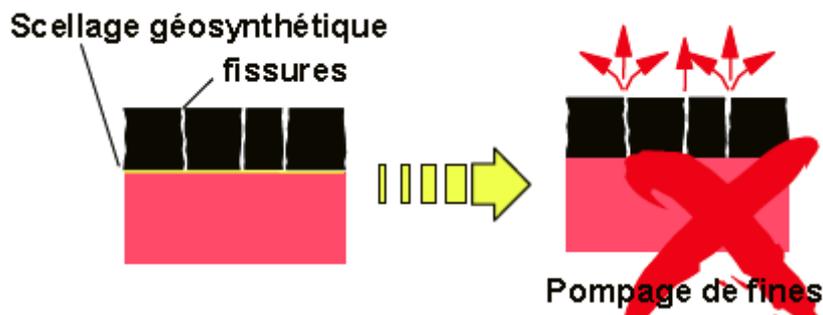


Fig. V.II.13 : barrière pour éviter le pompage des fines du sol
[International Geosynthetic Society (IGS)]

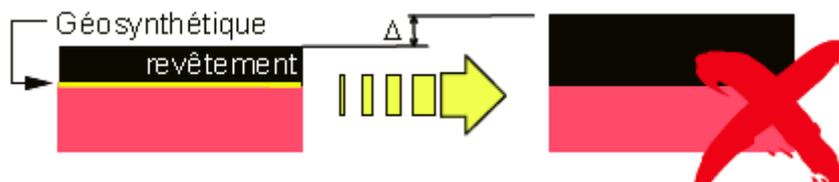
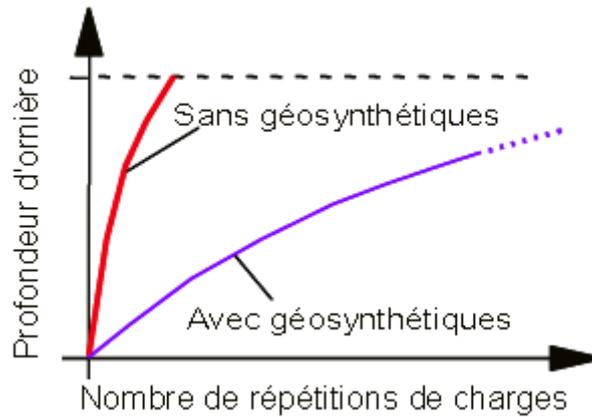


Fig. V.II.14 : réduire l'épaisseur durevêtement bitumineux
[International Geosynthetic Society (IGS)]



**Fig. V.II.15 : augmenter la durée de vie de la chaussée
[International Geosynthetic Society (IGS)]**

L'efficacité des géosynthétiques comme renforcement de chaussées peut être estimée par le facteur d'Efficacité(E).

$$E = \frac{N_r}{N_u} \text{ avec :}$$

N_r : Nombre de répétitions de charge nécessaires pour la rupture de la chaussée renforcée

N_u : Nombre répétitions de charge nécessaires pour la rupture de la chaussée non renforcée

Les données disponibles dans la littérature donnent des valeurs de E pouvant atteindre 16, ce qui démontre que des augmentations considérables de la durée de vie de la chaussée peuvent être atteintes par l'utilisation de géosynthétiques en renforcement ou séparation. Des observations de terrain et des résultats de recherche confirment les améliorations de la performance des chaussées en lien avec l'utilisation des géosynthétiques.

Un résumé des fonctions, de l'emplacement et du type de renforcement dans les couches traitées est présenté dans le tableau 40 suivant :

Tableau 40 : Fonction, emplacement et type de renforcement dans les couches traitées.

Fonction	Couche de base	Couche de liaison	Couche de surface	Roulement
Éviter l'orniérage		Treillis métalliques	Treillis métalliques Géogrilles en polymère	Treillis métalliques Géogrilles en polymère
Augmentation et protection de la capacité portante	Treillis métalliques Géotextiles pour chaussée	Treillis métalliques Géotextiles pour chaussée	Géotextiles pour chaussée	
Éviter les fissures liées au gel	Treillis métalliques	Treillis métalliques	Treillis métalliques	
Éviter les remontées de fissures	Treillis métalliques Géogrilles en verre Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée	Treillis métalliques Géogrilles en verre Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée	Treillis métalliques Géogrilles en verre Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée	Treillis métalliques Géogrilles en verre Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée
Éviter les fissures liées à la fatigue	Treillis métalliques Géogrilles en verre Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée	Treillis métalliques Géogrilles en verre Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée	Treillis métalliques Géogrilles en verre Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée	Treillis métalliques Géogrilles en verre Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée
Contrôle du tassement différentiel	Treillis métalliques Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée Géogrilles en verre	Treillis métalliques Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée Géogrilles en verre	Treillis métalliques Géogrilles en polymère Géotextiles pour chaussée Géogrilles en verre	

Source : Cost Action 348, 2004-1

L'expérience principale concernant le renfort des couches liées concerne la couche de roulement en asphalte. Dans le cas des couches de roulement en asphalte, le géosynthétique est mis en place aussi bien dans les constructions nouvelles que lors de la maintenance de couches de roulement anciennes fissurées. Dans quelques cas, le renfort géosynthétique est aussi utilisé pour éviter les remontées de fissures quand la couche de roulement en asphalte est placée sur une ancienne couche de roulement en béton.

La fissuration peut être causée par trois mécanismes différents :

- les charges de trafic,
- les variations de température dans quelque temps,
- les mouvements du sol (tassements, soulèvement par le gel).

Deux mécanismes différents sont identifiés lors de l'utilisation de renfort géosynthétique dans les couches de roulement (Cost Action 348, 2004-2) :

- réduction de la déformation de traction dans la couche de roulement par mobilisation de la contrainte de traction dans le renfort ;

- relâchement des contraintes d'interface pour éviter le transfert des déformations de traction aux couches sous-jacentes.

S'ils sont correctement spécifiés et installés, les géosynthétiques peuvent être intéressants économiquement et améliorer la performance et la durabilité des chaussées.

VII.3.1.4.1. Interposition d'un géotextile imprégné

Les géotextiles sont définis comme des produits textiles à base de fibres polymères se présentant sous forme de nappes perméables, souples, résistantes et filtrantes, utilisés dans le domaine de la géotechnique et du génie civil [Lambert 2000]. Ce sont en fait des textiles, au sens commun du terme, utilisés au contact du sol. On recense plusieurs dizaines de domaines d'utilisation des géotextiles, de la géotechnique routière aux ouvrages hydrauliques en passant par la stabilisation des sols.

Les géotextiles sont classés selon leur structure, c'est-à-dire en fonction du mode de fabrication qui, à partir de fibres de polymères (principalement du polypropylène), a permis d'obtenir un matériau fini. Ils peuvent être des géotextiles tissés produits à partir de fils mono-filaments, de fils multi-filaments, ou de bandelettes ; des géotextiles non-tissés qui peuvent être aiguilletés ou thermo-liés, ou bien encore tricotés.

La technique consiste à interposer sous la ou les couche(s) bitumineuse(s) un géotextile imprégné de bitume.

L'ensemble est composé d'une couche d'accrochage réalisée avec un liant, en général un bitume modifié, mis en œuvre soit sous forme d'émulsion, soit sous forme anhydre répandu à chaud. Le dosage est de 0,8 à 1,2 kg/m² de bitume résiduel. Le géotextile est généralement non-tissé aiguilleté ou thermo-soudé en polyéthylène ou polypropylène. Il existe maintenant des géotextiles collés sur des grilles de verre. Le rôle du géotextile est essentiellement de servir de réservoir pour le liant de manière à le maintenir en interposition entre le support et la couche de roulement [STBA 1999].



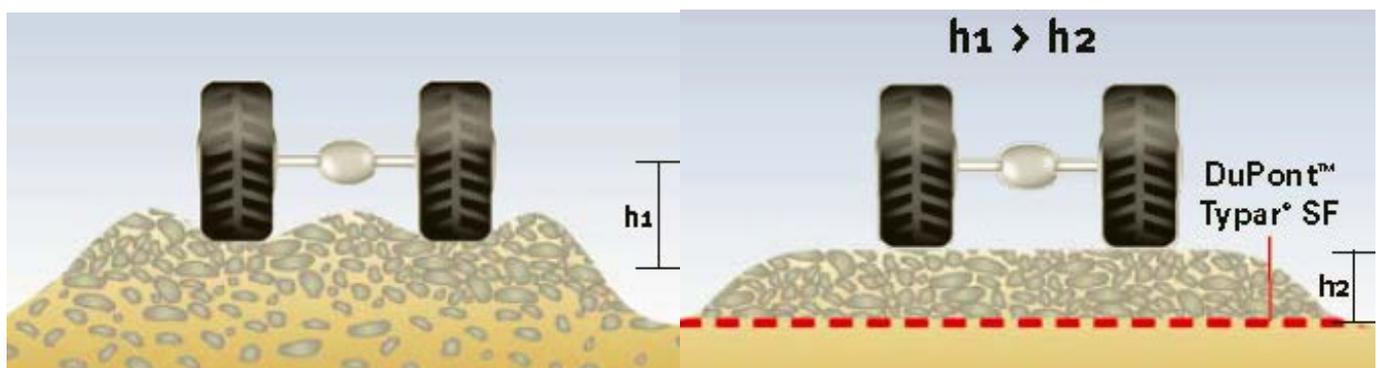
Fig. V.II.16 : Géotextile imprégné de bitume. [Bozkurt et al. (RILEM 2000)]

L'opération se déroule en deux phases :

- La première consiste en l'application d'une couche d'accrochage, avec une quantité minimale de liant résiduel " 0,7 kg/m².
- la deuxième phase consiste en la pose du géotextile non tissé.

Le géotextile imprégné ainsi interposé, en jouant son rôle de séparateur, peut :

- Empêcher la réduction de la portance de charge, causée par le mélange de grains fins de l'infrastructure avec le soubassement en agrégats.
- Accroître la portance en empêchant la perte d'agrégats à l'intérieur de l'infrastructure meuble et en augmentant le degré de compacité.
- Réduire les effets du gonflement dû au gel, qui détériore les routes.
- Eviter de devoir excaver les sols meubles.
- Permettre de conserver la capacité de drainage du soubassement en agrégats.
- Empêcher la migration des fines particules, particulièrement sous l'effet des charges dynamiques.



**Fig. V.II.17 : A gauche : Sans géotextile – perte d'agrégats dans le sol mou de la plate-forme.
A droite : Avec un géotextile – aucune perte d'agrégats, meilleure compacité.**

[DuPontTyparGéosynthétiques 2007]

Dans de nombreuses applications, les géotextiles remplissent un rôle de stabilisation ou de renforcement. Les géotextiles, qui exercent un rôle de stabilisation, procurent au sol des qualités de résistance à la traction. Ils remédient ainsi à l'absence de résistance à la traction dans le sol, lorsque celui-ci est soumis à des charges verticales.

Il existe trois mécanismes distincts permettant à un géotextile de stabiliser le soubassement en agrégats et d'améliorer sa résistance à la déformation permanente sous l'effet de charges répétitives.

1. Retenue + confinement
2. Effet de membrane
3. Renforcement local

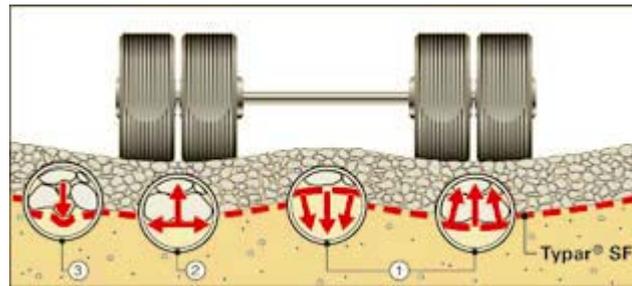


Fig. V.II.18 : les trois mécanismes de stabilisation. [DuPontTyparGéosynthétiques 2007]

VII.3.1.4.2. les interfaces bitumineuses avec géogrilles en polymère ou en fibre de verre

Afin d'éviter les fissures transversales et verticales constantes causées par le trafic intense qui détériore les routes, une géogrille comme armature asphaltique est développée.

La résistance à la traction va de 35 KN/m jusqu'à 200 KN/m pour les géogrilles en fibre de verre.

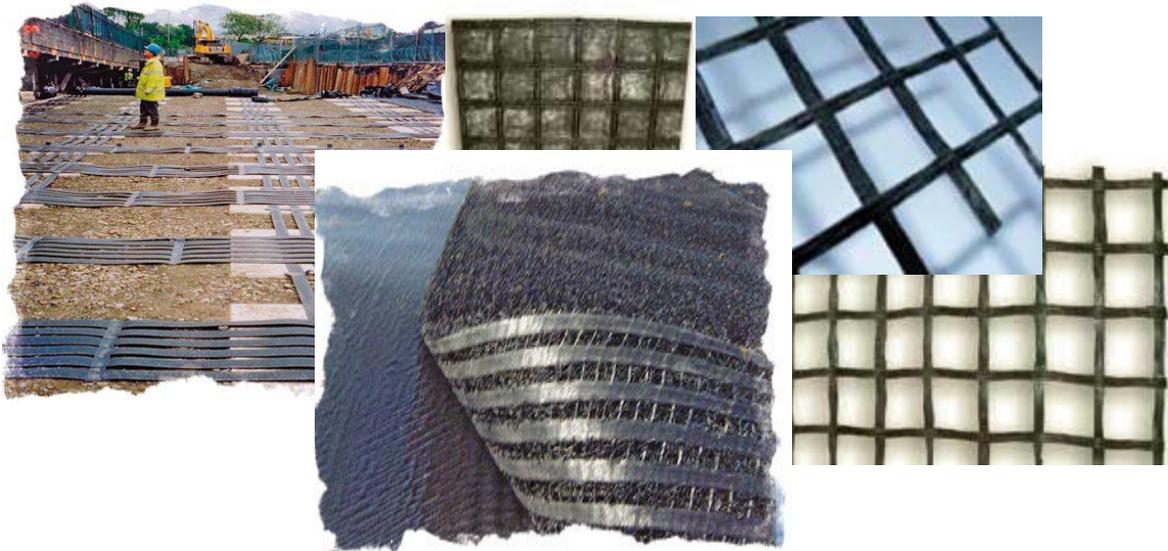


Fig. V.II.19 : les géogrilles. [MACCAFERRI 2012]

L'opération de l'interposition de ces géogrilles se déroule en trois phases :

- La première phase consiste à répandre une couche d'émulsion de bitume par pulvérisation uniforme (couche d'accrochage).
- La deuxième phase consiste en la pose de la géogrille.
- La troisième phase consiste en la mise en place d'une couche de protection constituée d'un enduit dont le liant est un bitume modifié.



Fig. V.II.20 : l'interposition de la géogrille. [MACCAFERRI 2012]

VII.3.1.4.3.les interfaces avec armatures plastiques alvéolaires

La structure alvéolaire plastique ou métallique est constituée de panneaux en polypropylène ou en acier avec des mailles hexagonales.

Une couche d'accrochage est préalablement appliquée sur le support. Les panneaux sont positionnés manuellement et assemblés entre eux par emboîtement. La structure est fixée au support au moyen de cavaliers. Ce support est plat et résistant.

Les panneaux sont ensuite comblés par la mise en œuvre d'un revêtement mince discontinu (RMD) sur une épaisseur de 4,5 ou 5 cm.

Cette technique, présente de nombreux avantages, et notamment :

Dans le cas où la couche armée est une couche de roulement, diminution de la susceptibilité à l'orniérage de la couche de roulement;

Dans le même cas, reprise des contraintes horizontales qui sont engendrées par les fissurations des matériaux sous-jacents et qui se transmettent aux couches de roulement.

Enfin, si on compare les techniques anti-fissures vues précédemment, et d'après une sérieuse étude qui a été menée au Canada dans les années 2000 sur le procédé anti-fissures :

- Performance intéressante de la membrane élastomère avec ECF.
 - Semble plus efficace que la membrane géotextile.
 - On s'attend à un prolongement de durée de vie d'au moins 3 - 5 ans
- Les géotextiles retardent en général la remontée de 1 à 4 ans.
 - Retardent la remontée des longitudinales (FL)
 - Peu efficaces pour les transversales (FT)
- Pas de mélange dont on a la preuve qu'il soit meilleur que le BB conventionnel pour empêcher la remontée des fissures.
 - Bitumes polymères n'empêchent pas la remontée des fissures.
 - Chape d'étanchéité : pas plus efficace.

Les figures V.II.21 et V.II.22 suivantes illustrent l'efficacité de ces techniques vis-à-vis la remontée des fissures transversales et longitudinales.

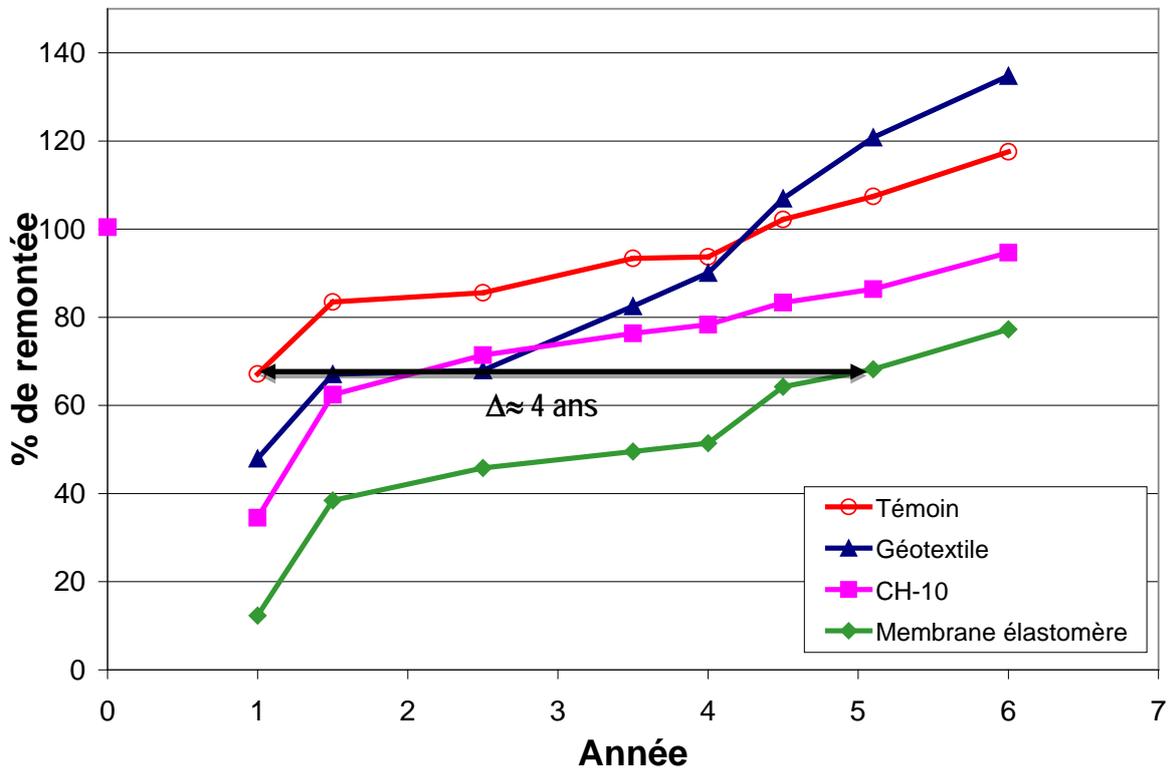


Fig. V.II.21 : Remontée des Transversales. [Transport Québec]

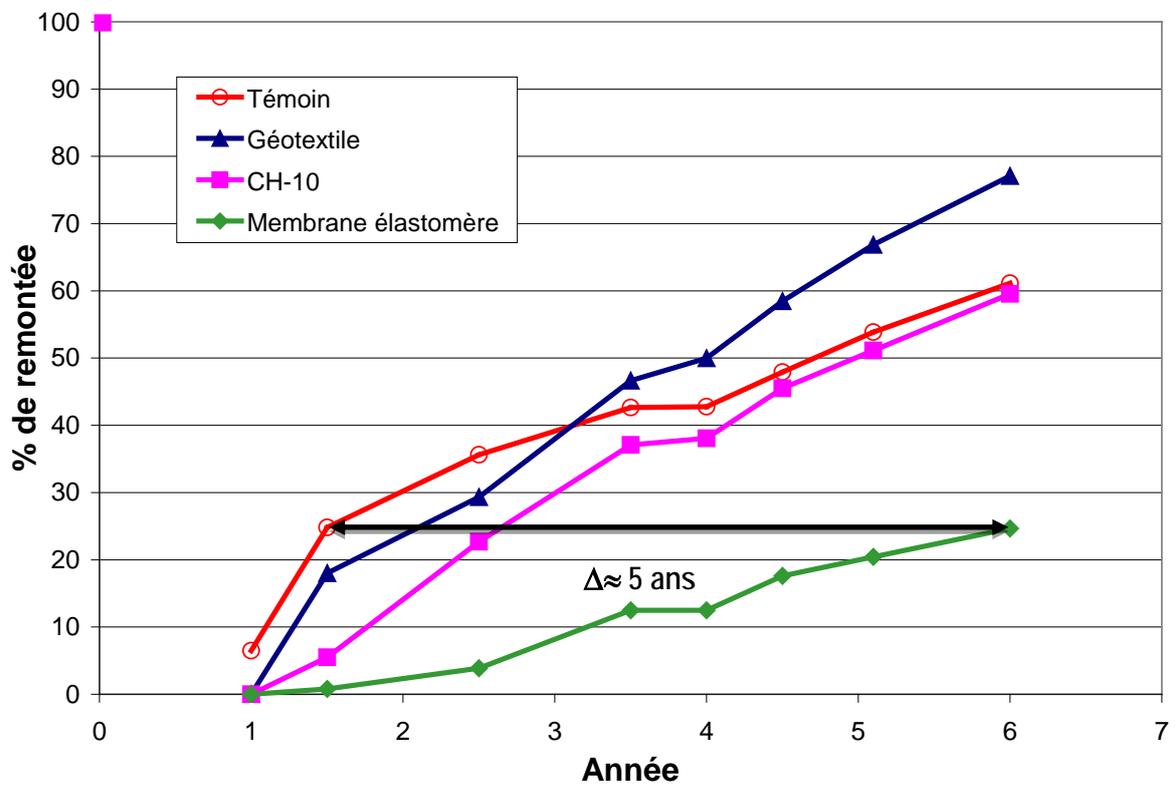


Fig. V.II.22 : Remontée des verticales. [Transport Québec]

VII.3.2. Le retraitement en place des chaussées souples (traitement chimique)

VII.3.2.1. Les fraisats d'enrobés

Le fluage de l'enrobé bitumineux est à l'origine de l'orniérage des chaussées souples [Proteau & Paquin 2001 et Saoula et al 2009], et la faible stabilité de la couche de roulement en est responsable des dégradations aussi, surtout pendant les périodes chaudes, d'où la nécessité d'entretenir les chaussées.

L'entretien de ces structures passe nécessairement par le fraisage des anciennes couches de chaussée, tout au moins de la couche de roulement ; ceci entraîne la production de déchets que sont les fraisats d'enrobés [LCPC-Nantes 2004]. Ce sont les morceaux de béton bitumineux, graves-bitume ou autres enrobés à module élevé, qui ont été désagrégés à l'aide d'une fraiseuse, puis recyclés en centrale ou sur site, à chaud ou à froid. Ces fraisats s'inscrivent dans une dénomination plus large que sont les agrégats d'enrobés regroupant tous les déchets bitumineux provenant de la déconstruction par fraisage, mais aussi de la déconstruction sous forme de plaques ainsi que les déchets de fabrication.

La réutilisation de ces matériaux fraisats d'enrobés bitumineux en produisant un béton bitumineux neuf avec distinctes proportions d'addition de fraisât jusqu'à avoir un mélange ayant des caractères comparables à celles d'un enrobé neuf, en le renforçant néanmoins par des ajouts de liants hydrauliques (ciment, laitier, chaux, ...) ou granulats plastiques qui sont eux-mêmes un produit issu de recyclage de déchets plastiques, a fait ses preuves dans nombreux pays.

* Exemple d'application :

Une étude a été effectuée sur un tronçon de l'autoroute Est Ouest (chaussée semi-rigide) à Bouira (Algérie) qui s'intitule « La valorisation des bétons bitumineux recyclés et étude de leur renforcement », [Melbouci B, Sadoun S. 2011], a donné des résultats satisfaisants, sachant que l'additif utilisé est dénommé PR PLAST (un produit plastique de PR Industrie, 95% plastomère et d'une granulométrie 4mm), qui permet à l'enrobé d'obtenir un progrès sérieux des performances des chaussées et de leur durée de service. En effet, les résultats des essais effectués (Marshall et Duriez) avec les différents pourcentages d'ajout de fraisât montrent clairement que le recyclage des chaussées peut être effectué sans contraintes jusqu'à 30% de matériau à recycler, ainsi Après renforcement avec les granulats plastiques de PR PLAST, les mélanges bitumineux se comportent comme un enrobé neuf.

Cette technique présente des avantages environnementaux d'une part :

- Réutilisation des matériaux en place,
- Limitation de l'exploitation des gisements de granulats,
- Suppression de la mise en décharge des matériaux.

Des avantages techniques d'autre part :

- Rigidité de la chaussée,
- Bonne tenue à la fatigue de la chaussée,
- Bon comportement de la chaussée à la chaleur, à l'érosion et aux cycles gel/dégel.

Ainsi que des avantages économiques :

- Technique à l'échelle locale,
- Economie de transports de matériaux,
- Préservation du réseau routier situé au voisinage du chantier.

VII.3.2.2. Le retraitement aux liants hydrauliques

Le retraitement en place à froid des chaussées, au moyen de ciment ou de liant hydraulique routier, est une technique destinée à recréer, à partir d'une chaussée dégradée, une structure homogène et adaptée au trafic à supporter [Routes N°88-SETRA/LCPC-2004]. Elle consiste à incorporer au sein du matériau, obtenu par fractionnement de l'ancienne chaussée, un ciment ou un liant hydraulique routier et éventuellement un correcteur granulométrique et de l'eau, et de les mélanger intimement, in situ, jusqu'à l'obtention d'un matériau homogène. On réalise ainsi, après ajustement et compactage, une nouvelle assise de chaussée sur laquelle on applique soit une couche de surface, soit d'autres couches de chaussée si la partie retraitée ne peut, à elle seule, supporter les sollicitations du trafic.

VII.3.2.2.1. Le retraitement à la chaux

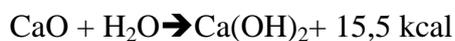
Le traitement à la chaux, des chaussées en place permet d'éviter le décapage et le remplacement par des matériaux d'apport, c'est donc une solution plus économique. Il faut savoir que le traitement à la chaux s'applique que sur une épaisseur de terrain extrêmement faible.

a) Le principe du traitement des chaussées à la chaux :

L'incorporation de la chaux génère immédiatement la formation d'une masse granuleuse, et a pour effet de réduire le taux d'humidité.

b) Actions de la chaux sur le sol (les réactions de la chaux vive)

▪ Réaction avec l'eau (hydratation) :



La teneur en eau d'un mélange sol-chaux se trouve abaissée en raison de :

- L'apport de matériaux secs ;
- La consommation de l'eau nécessaire à l'hydratation de la chaux (chaux vive) ;
- L'évaporation d'eau suite à la chaleur dégagée par la réaction d'hydratation et par l'énergie dégagée.

En moyenne, la diminution de la teneur en eau d'un sol traité est de l'ordre ~0,8 % par % de la chaux.

La chaux est fortement basique ; les solutions présentent un pH supérieur à 12. (↗pH)

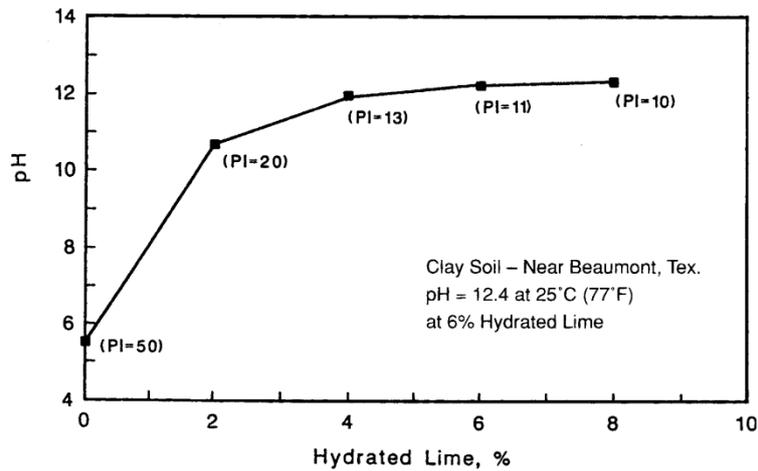


Fig. V.II.23 :influence de la chaux sur le pH. [LCPC-Nantes]

- **Réaction pouzzolanique**

Chaux + (pouzzolanes ou argiles) + eau → aluminates et silicates de calcium hydratés

La chaux, en tant que base forte, élève le pH du sol et provoque l'attaque des constituants du sol (silice et alumine). Il se forme alors des aluminates et des silicates de calcium hydratés (réaction pouzzolanique) qui, en cristallisant, agissent comme un liant entre les grains.

- **Action de syntaxie avec les craies et calcaires tendres saturées**

Cimentation par précipitation de carbonates

c) **Conséquences du traitement à la chaux sur le comportement**

L'incorporation de chaux dans un sol argileux, développe une agglomération des fines particules argileuses en éléments plus grossiers et friables : c'est la floculation. L'incidence de ces réactions sur le mélange sol-chaux sont :

- **Effet sur la plasticité** (Une diminution de l'indice de plasticité I_p).

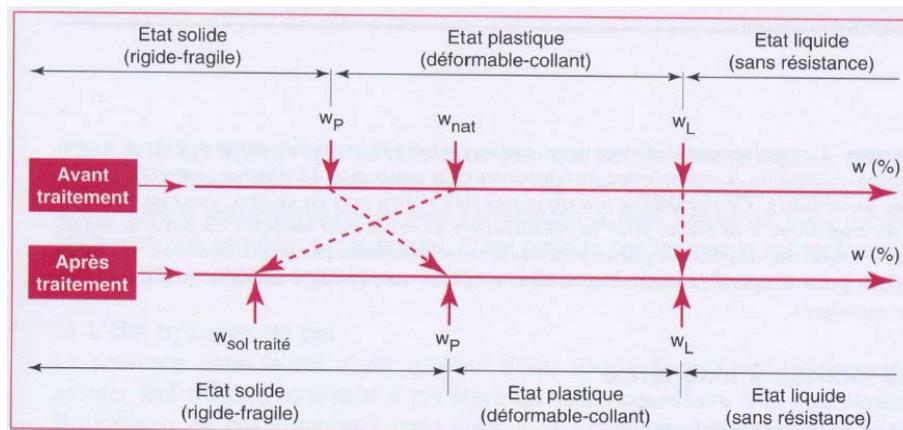


Fig. V.II.24 : Effet sur la plasticité. [LCPC-Nantes]

- **Effet sur les caractéristiques Proctor** (aplatissement de la courbe Proctor)

La densité sèche maximale diminue tandis que la teneur en eau optimale augmente. Cet effet constitue manifestement un avantage pour des sols où la teneur en eau naturelle est trop élevée. Le traitement à la chaux vive permet donc de transformer en quelques minutes un matériau plastique, collant et difficile à compacter, en un matériau rigide, facile à manipuler et à mettre en œuvre, et qui présente de plus une excellente portance.

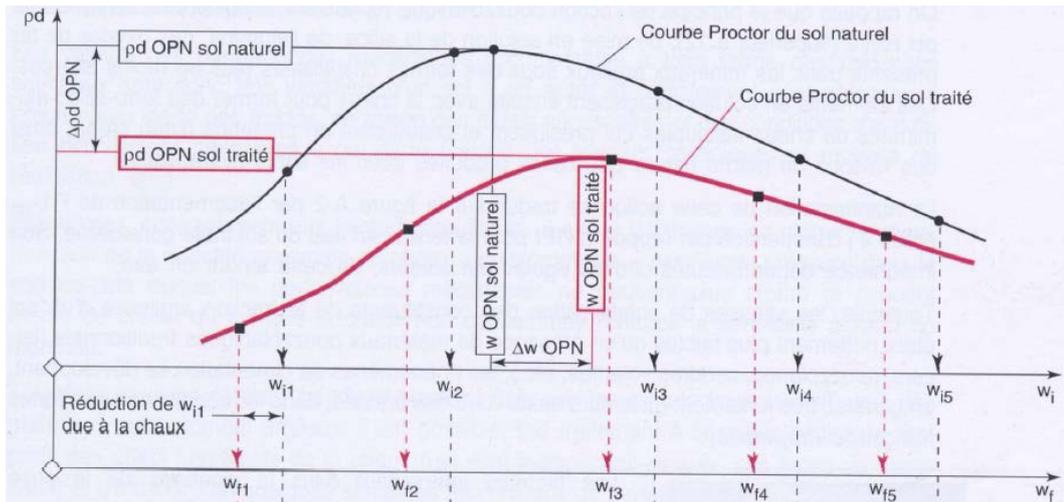


Fig. V.II.25 : Effet sur les caractéristiques Proctor. [LCPC-Nantes]

- **Effet sur la portance immédiate** (Une augmentation de l'indice portant immédiat IPI)

Dans certains cas, l'indice portant CBR d'un sol traité est déjà, 2 heures après malaxage, 4 à 10 fois plus élevé que celui d'un sol non traité. La circulation des engins s'en trouve amplement facilitée.

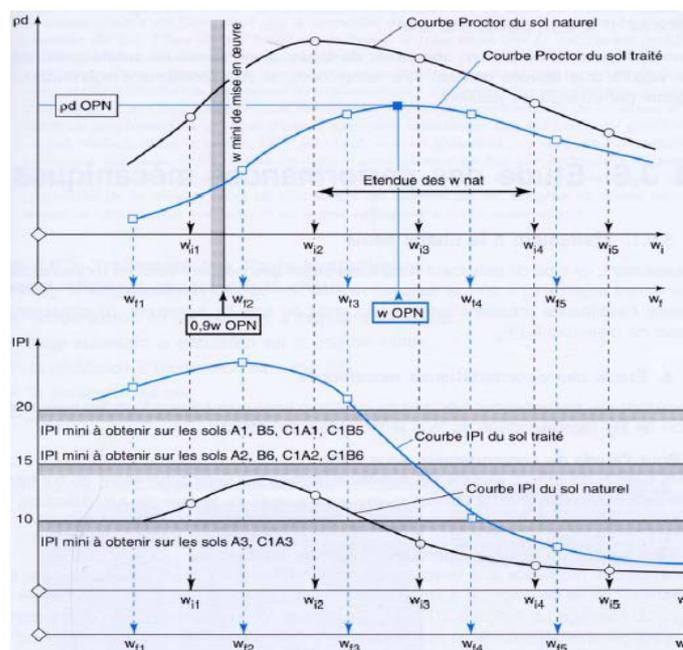


Fig. V.II.26 : Effet sur l'IPI. [LCPC-Nantes]

▪ Effet sur la portance après immersion

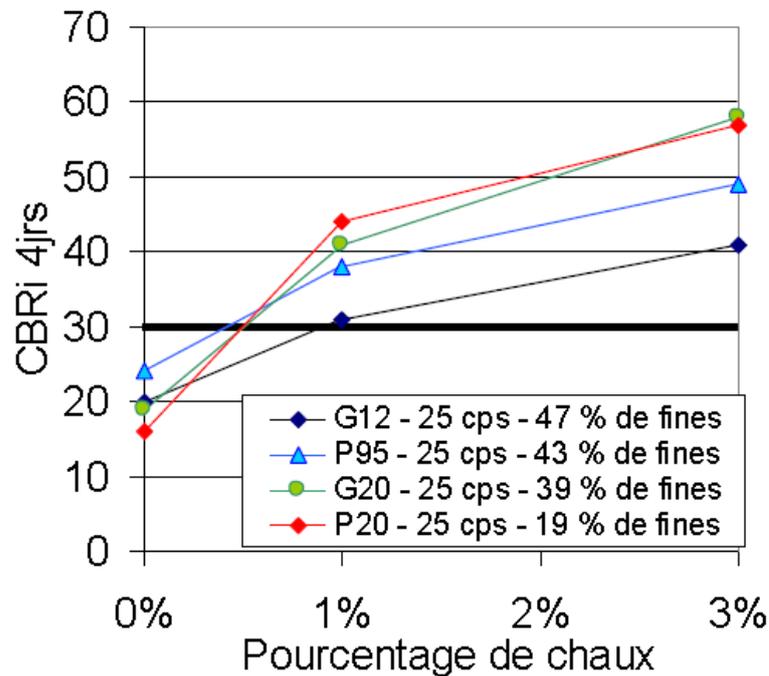
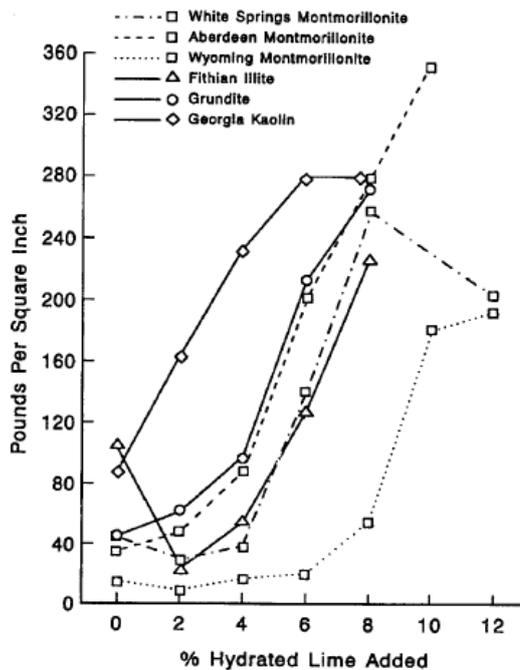


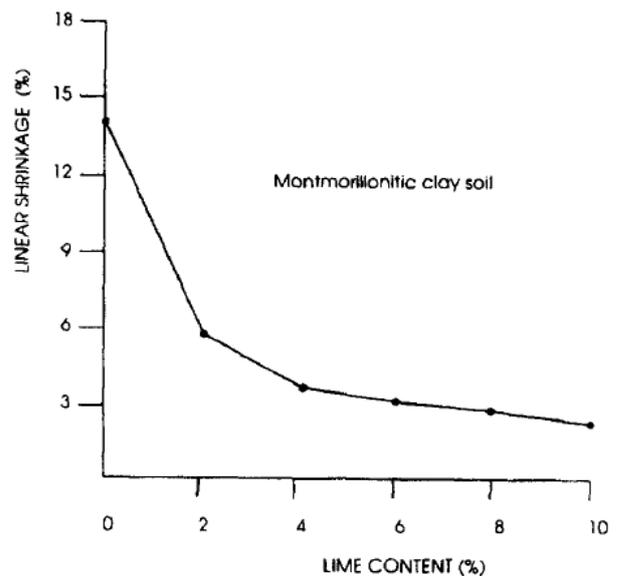
Fig. V.II.27 : Effet sur la portance après immersion. [LCPC-Nantes]

▪ Effet sur la résistance



V.II.28 : Effet sur la résistance. [LCPC-Nantes]

▪ Effet sur la sensibilité aux variations de l'état hydrique



V.II.29 : Effet sur la sensibilité aux variations de l'état hydrique. [LCPC-Nantes]

VII.3.2.2.2. Le retraitement au ciment

La stabilisation est une technique de reconstruction qui consiste à décohésionner la chaussée puis à la re-malaxer avec un liant (ciment) [Yves Thériault-2002].

Cette technique d'injection des sols à partir d'une suspension susceptible de se solidifier dans le temps, en vue d'améliorer les caractéristiques mécaniques ou de diminuer la perméabilité est bien connue depuis plus de 40 ans. Elle a été pratiquée notamment aux U.S.A, puis en Grande -Bretagne et en Allemagne sous le nom de sol ciment plusieurs années avant de faire son apparition en France.

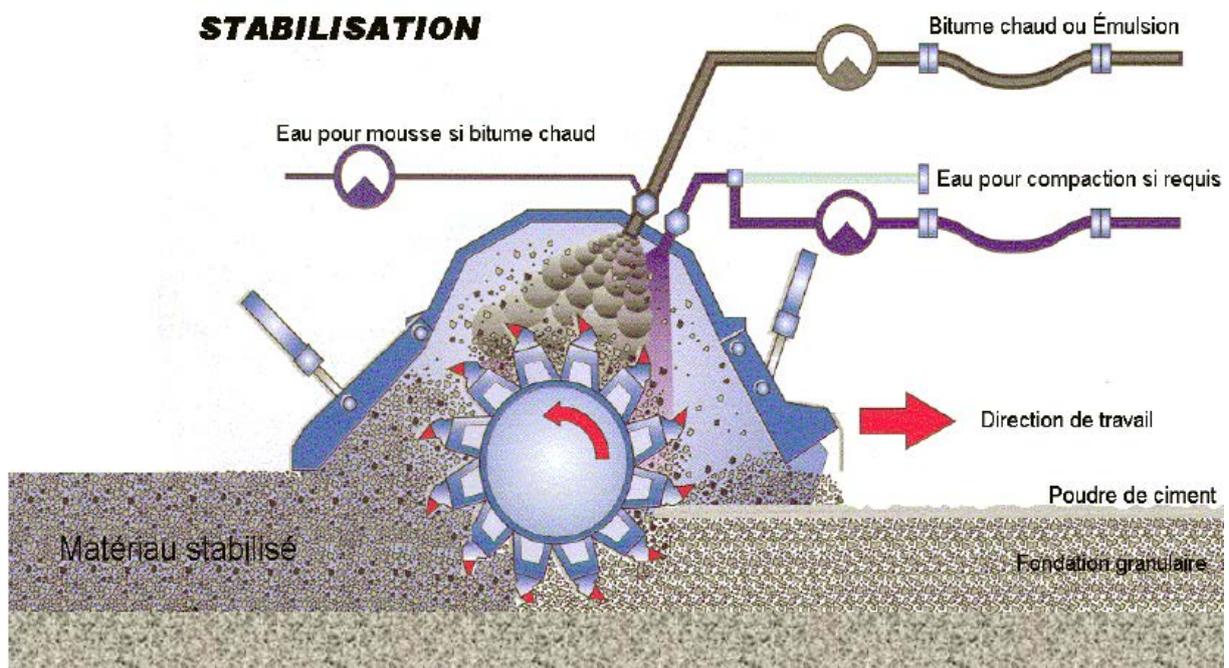


Fig. V.II.30 : Stabilisation du sol au ciment. [Yves Thériault-2002]

▪ Objectif

Cette technique permet de :

- Obtenir une aptitude à supporter les charges (portance) durant toute l'année (surface praticable par tout temps),
- Rendre la surface insensible à l'eau, aux intempéries (pluie, gel, dégel) et au ravinement,
- Réaliser une couche liée imperméable aux infiltrations et aux remontées des eaux.

- **Avantage**

Procédé écologique :

Nous utilisons les matériaux mis en place ce qui évite l'évacuation en décharge et l'apport d'autres matériaux, et permet de garder l'aspect naturel.

Un procédé durable :

Les techniques conventionnelles mises en œuvre actuellement conduisent à un épuisement de ressources naturelles, mais entraînent aussi une pollution de l'environnement du fait des allées et venues des engins de chantier. Grâce au traitement des sols au ciment, nous obtenons des portances et des résistances (à l'érosion et au gel) dans le temps supérieures aux méthodes traditionnelles.

Le ciment semble être un produit stabilisant très efficace. Par contre, il présente un coût élevé et une mise en œuvre particulière. La stabilisation au ciment se développe à partir des liens cimentaires entre l'hydratation des produits à base de silicate de calcium et d'aluminate, et les particules du sol [CROFT J.B-1967]. L'addition de ciment dans les sols argileux réduit la limite de liquidité, l'indice de plasticité, le potentiel de gonflement et augmente la limite de retrait et la résistance au cisaillement [NELSON, J.D., et MILLER, D.J-1992].

a) Action du ciment sur les limites d'Atterberg (W_L et W_P)

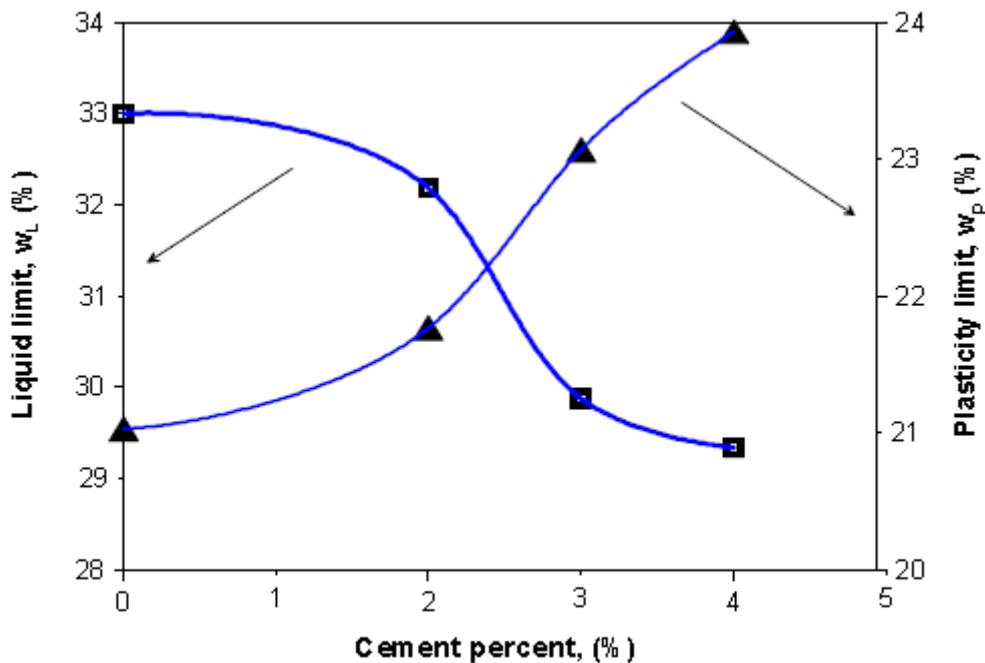


Fig. V.II.31 :Variation de la limite de liquidité et de plasticité en fonction du pourcentage de ciment. [GHEMBAZA M.S, DADOUCH M,BELLIA Z-2012].

On constate une diminution marquée de la limite de liquidité W_L . Cette diminution est due à une variation de la teneur en eau avec l'augmentation de la teneur en ciment.

Observant la limite de plasticité W_P , les échantillons traités ont montré une augmentation de cette limite avec l'accroissement de la quantité de ciment. Cette augmentation peut s'expliquer par la floculation des particules argileuses.

b) Action du ciment sur l'indice de plasticité I_p

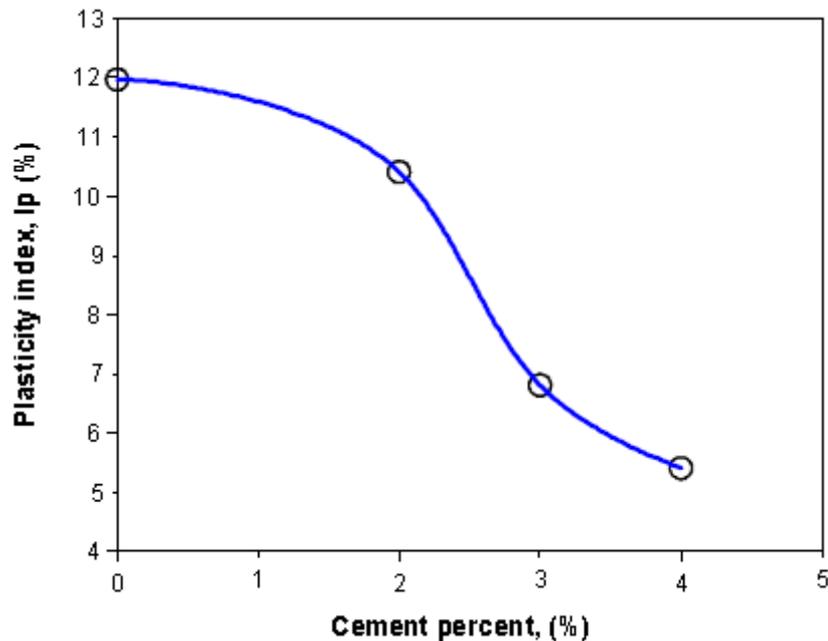
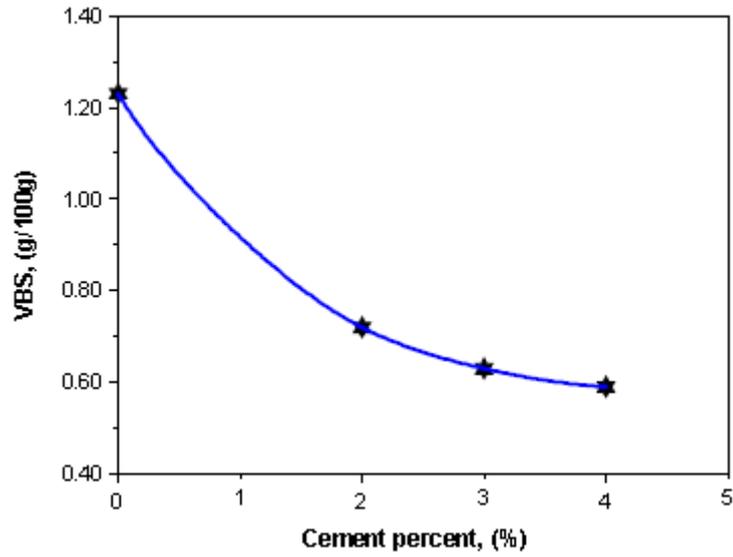


Fig. V.II.32 :Variation de l'indice de plasticité I_p en fonction du pourcentage de ciment. [GHEMBAZA M.S, DADOUCH M, BELLIA Z-2012].

On constate une diminution de l'indice de plasticité lorsque la teneur en ciment augmente. Ceci montre une amélioration dans le comportement plastique du matériau.

c) Action du ciment sur la valeur au bleu de méthylène

La figure V.II.33 montre une diminution de la valeur au bleu avec l'augmentation du pourcentage de ciment.



**Fig. V.II.33 :Variation de la valeur au bleu en fonction du pourcentage de ciment.
[GHEMBAZA M.S, DADOUCH M, BELLIA Z-2012].**

Ceci met en évidence l'insensibilité à l'eau du matériau après traitement au ciment.

Conclusion

Les techniques précitées dans ce présent chapitre constituent un ensemble d'actions coordonnées et choisies volontairement pour obtenir les meilleurs résultats possibles en termes de réparation ou renforcement, dont l'objectif visé est la réhabilitation d'une chaussée ayant évolué au-delà des seuils admissibles ou l'entretien des caractéristiques de surface sur une chaussée ayant moyennement évolué.

CONCLUSION GENERALE

La route représente un équipement et un investissement important pour la société. Nous devons préserver cet investissement pour que les générations futures puissent continuer à en profiter.

Les politiques et les programmes de gestion du patrimoine routier doivent être élaborés pour permettre au réseau routier d'être géré comme une entreprise qui fournit des services à différents clients. Les entreprises privées ne peuvent fonctionner efficacement si les procédures de passation des marchés et de paiement ne sont pas fiables.

Pour que le programme d'entretien puisse réussir, il faut un contrôle bien conduit, avec application de pénalités quand les niveaux de performance requis ne sont pas atteints.

Le confort, le temps de trajet, l'impact sur l'environnement, la capacité, la sécurité et la fiabilité ce sont des objectifs de performance qui devront être établis pour le réseau routier.

Les systèmes de gestion de l'entretien devront permettre de fixer des priorités et d'en démontrer les avantages économiques en mettant l'accent sur la prévention et la planification, afin de redécouvrir la valeur d'un bon entretien.

Cette étude basée sur des informations recueillies au niveau de l'organisme national du contrôle technique des travaux publics CTTTP nous a permis de nous rendre compte des difficultés rencontrées pour assurer la gestion de l'entretien d'un réseau routier, de l'impact de l'entretien de la route sur développement économique d'un pays, et de formuler des recommandations utiles pour renforcer cette politique.

La poursuite de cette étude à travers des applications pratiques serait utile pour la détermination d'une stratégie permettant d'obtenir à long terme, le meilleur état de réseau.

Bibliographie

1. Gunther GIDEL, « comportement et valorisation des graves non traitées calcaires utilisées pour les assises de chaussées souples », thèse de Doctorat, 2001.
2. Babacar COLY et Ousseynou SAMB, « Entretien d'aéroports - Renforcement des chaussées revêtues par les méthodes modernes », Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur ENSUT, 1982.
3. Zoulikhané SEIDOU, « Etude pratique du phénomène de fissuration sur des routes revêtues au Sénégal », Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur EPT, 1995.
4. Mame Mariteuw Chimère Diop Gabriel Dia, « Détermination des stratégies d'entretien, de réhabilitation, de renforcement et d'aménagement de routes les mieux adaptées au réseau sénégalais en utilisant le modèle HDM-4 », 2008
5. L'organisme national du Contrôle Technique des Travaux Publics CTTA Algérie, « Guide d'entretien routier », 1995.
6. Ndéye Bigué Dieng MBOUP « Analyse critique de la stratégie d'entretien du réseau routier revêtu au Sénégal », Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception, Juillet 2004
7. Le Ministère de l'équipement (Algérie), « Guide Algérien des renforcements de chaussées », 1992.
8. Institut des Sciences et des Techniques de l'équipement et de l'Environnement pour le Développement (ISTED), « Entretien routier en Colombie », réalisé par le LCPC 1980 - 1982.
9. LCPC, Paris « Relevé des dégradations de surface de chaussée », méthode d'essais LPC n° 38.2, 1997.
10. LCPC, Paris « Catalogue des dégradations de surface des chaussées », méthode d'essai LCPC n°52 (complément à la méthode d'essai n°38-2), 2000.
11. Le ministère du transport Canadien, « Le manuel d'identification des dégradations des chaussées souples du gouvernement du Québec », Canada [ISBN 2-551-21654-0].
12. Le Strategic Highway Research Program (SHRP) « Distress Identification, Manual for Long Term Pavement Performance Studies », Document de référence, édition d'octobre 1990,
13. l'Organisation de Coopération et de Développement économique (OCDE), « Catalogue des dégradations de surface des chaussées », Document de référence, édition d'octobre 1978,
14. L'Association des routes et Transports du Canada (ATC), « Pavement Surface Condition Rating System » Document de référence, édition 1987.
15. Le Ministère des Travaux Publics (MTP) Algérie, « Catalogue de dégradations types de chaussées », 1976.
16. CTTA, « Entretien routier, gestion de l'entretien des chemins communaux, Volume I », Guide technique, 2010.
17. Quang Dat TRAN, « modèle simplifié pour les chaussées fissurées multicouches », thèse doctorat, 2004.

18. LCPC-SETRA, « Conception et dimensionnement des structures de chaussées », Guide technique, Décembre 1994.
19. CTPP, « Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves », Fascicule 1, 2 et 3, Ministère des travaux publics, novembre 2001.
20. Service Technique des Bases Aériennes STBA de France, « Techniques anti-remontées des fissures », Guide d'emploi en chaussées aéronautiques, Avril 1999.
21. Arnstein WATN, « géosynthétiques dans les structures routières : expériences européennes », Rencontres Géosynthétiques, réalisé par SINTEF, Trondheim, Norvège, 2011.
22. E.M. Palmeira, « Géosynthétiques dans l'ingénierie des routes ». International Geosynthetics Society (IGS), Traduit par M.J.A. Mendes.
23. Arian de Bondt, « Reinforcement of pavements with steel meshes and geosynthetics (REIPAS). Design Models and Procedures for Geosynthetics in Pavements, draft report of WG 4 chaired », Cost Action 348, (2004-2).
24. Stéphane Lambert, « Les géotextiles : fonctions, caractéristiques et dimensionnement ». 2000.
25. MACCAFERRI, « Engineering a better solution », 2012.
26. Vincent Mathias, « Recyclage des fraisats d'enrobés dans les bétons hydrauliques routiers », LCPC, 2005.
27. Melbouci B, Sadoun S, « Valorisation des bétons bitumineux recyclés et étude de leur renforcement », Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Labo Géomatériaux Environnement et Aménagement LGEA, Algérie, 2011.
28. Centre d'information sur le ciment et ces applications « L'entretien structurel des chaussées souples et semi-rigides. Le retraitement en place à froid aux liants hydrauliques ». [Routes N°88-SETRA/LCPC-2004].
29. Valéry FERBER, « Reconnaissance et mécanique des sols », LCPC Nantes.
30. GHEMBAZA Moulay Smaine, DADOUCH Mokhtar, BELLIA Zoheir « Effet du ciment sur le comportement physico-chimique d'un matériau de la région de sidi bel Abbès ». XXXe Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie, 6 au 8 juin 2012.
31. CROFT J.B, « The Structure of Soil Stabilized with Cementitious Agents », Engineering Geology, Vol. 2 (2), 1967.
32. MORSLI Mérièm, AMERAOUI Zoubida, BALI Abdelrahim et FLEUREAU Jean-Marie, « La conception et réalisation des chaussées en milieu désertique », 2002.
33. Ecole Nationale des Travaux Publics ENTP Algérie, « cours de routes », 2009.
34. Le Ministère de l'équipement, « La méthode du guide Algérien des renforcements de chaussées », Guide technique, Algérie, 1992.
35. www.mtp.org.dz
36. <http://www.cours-genie-civil.com>

Tableau 14 : Récapitulatif des principales dégradations et de leurs causes probables en Algérie

Groupe des causes Ex de types des dégradations	Condition trafic particulière	Condition de drainage et essai	Sous dimensionnement couche inférieur	Sous dimensionnement couche de roulement	Quantité de matériaux	Faute de fabrication et mise en œuvre	Action chimique sels	Age élevé du revêtement	Sol support
Fissures	X		XX						X
Faiencage		X	XX						X
Affaissement		X	X			X			X
Bourrelet	XX				X	XX			
Flache		X				XX			X
Ressuage					X	X			
Pelade				XX		X			
Plumage						X	X		
Nid de poule		X				X		XX	
Tête de chat				X	X	X		X	
Glaçage						X		XX	
Empreinte	X								
Orniérage	X		XX		X				X

Source : CTTTP Algérie. 1995

X : C'est souvent la cause.

XX : C'est très souvent la cause.

Tableau 14 : Récapitulatif des principales dégradations et de leurs causes probables en Algérie