



People's Democratic Republic of Algeria  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم  
Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
Faculty of Sciences and Technology  
Department of Civil Engineering



N° d'ordre : M ...../GC /2025

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Thème

**Diagnostic et Traitement des chaussées**

Présenté par : **BOUCHELIT AMINE MOHAMED OUASSIME**

Soutenu le 30 septembre 2025 devant le jury composé de :

Président : Mme GUERZOU TOURKA

Université de Mostaganem

Encadrant : Mme EL MASCRI SETTI

Université de Mostaganem

Examineur : Mr ZELMAT YACINE

Université de Mostaganem

Année Universitaire : 2024 / 2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## Dédicaces

À mes parents, qui sont les personnes les plus  
chères au monde à mes frères et sœurs

À ma famille.

À tous mes amis et collègues.

À tous ceux qui m'ont aidé à terminer ce  
mémoire.

## **Remerciement**

Nous remercions Dieu avant tout, car c'est seulement par sa grâce que nous avons accompli cette humble œuvre.

Je voudrais exprimer mes sincères remerciements à notre encadreur :

Mme EL MASCRI Setti, pour avoir partagé avec moi ses grandes compétences et ses conseils avisés et pour m'avoir guidé avec tant d'efficacité et de patience.

Merci, et merci encore à nos enseignants qui ont contribué à notre éducation et à notre savoir, de l'école primaire à l'université.

Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cet ouvrage.

### RESUME

Ce travail vise à étudier la dégradation des chaussées afin d'identifier leurs causes probables, les mesures préventives appropriées et de proposer des solutions fiables en cas d'intervention pour remédier à ces défauts.

Pour ce faire, nous avons d'abord étudié les différentes structures de ces chaussées afin de comprendre leur fonctionnement, les matériaux utilisés pour leur construction et leurs dimensions.

Nous avons ensuite abordé la section suivante, qui a répertorié les différents types de dégradation et leurs causes, permettant d'identifier les méthodes d'entretien nécessaires et les mesures préventives possibles.

Un entretien efficace des chaussées repose sur un diagnostic précis des défaillances et de leurs causes, permettant la mise en œuvre de traitements appropriés (réparation, renforcement ou reconstruction). Une approche préventive (entretien des joints, drainage) prolonge considérablement la durée de vie des chaussées et améliore leur rentabilité à long terme.

Cette méthodologie permet d'assurer la sécurité, la durabilité et la fonctionnalité des chaussées tout en optimisant l'utilisation des ressources allouées à leur entretien.

**Mots clefs : chaussées, dégradations, prévention, diagnostic, routes.**

### ملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة تدهور الطرق من أجل تحديد أسبابه المحتملة، والتدابير الوقائية المناسبة، واقتراح حلول موثوقة في حالة التدخل لإصلاح هذه العيوب.

للقيام بذلك، قمنا أولاً بدراسة الهياكل المختلفة لهذه الطرق من أجل فهم طريقة عملها والمواد المستخدمة في بنائها وأبعادها. ثم انتقلنا إلى القسم التالي، الذي سرد أنواع التلف المختلفة وأسبابها، مما سمح بتحديد طرق الصيانة اللازمة والتدابير الوقائية الممكنة.

تعتمد الصيانة الفعالة للطرق على التشخيص الدقيق للأعطال وأسبابها، مما يسمح بتنفيذ المعالجات المناسبة (الإصلاح أو التعزيز أو إعادة البناء). إن اتباع نهج وقائي (صيانة الوصلات، الصرف) يطيل عمر الطرق بشكل كبير ويحسن ربحيتها على المدى الطويل.

تسمح هذه المنهجية بضمان سلامة الطرق واستدامتها ووظيفتها مع تحسين استخدام الموارد المخصصة لصيانتها.

**الكلمات المفتاحية:** الصرف، التلف، الوقاية، التشخيص، الطرق.

### Abstract

This work aims to study road deterioration in order to identify its possible causes, appropriate preventive measures, and propose reliable solutions in case of intervention to repair these defects.

To do this, we first studied the different structures of these roads in order to understand how they work, the materials used in their construction, and their dimensions.

We then moved on to the next section, which listed the different types of damage and their causes, allowing us to identify the necessary maintenance methods and possible preventive measures.

Effective road maintenance depends on an accurate diagnosis of defects and their causes, allowing the appropriate treatments (repair, reinforcement or reconstruction) to be carried out. A preventive approach (joint maintenance, drainage) significantly extends the life of roads and improves their long-term profitability.

This methodology ensures the safety, sustainability and functionality of roads while optimising the use of resources allocated to their maintenance.

**Keywords: Pavement, damage, prevention, diagnosis, roads.**

### Table des matières

Dédicace .....	III
Remerciement.....	IV
Résumé.....	V
الملخص.....	VI
Abstract.....	VII
Table de matières.....	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	XIV
LISTE DES FIGURES.....	XV
Introduction Générale.....	1

### Chapitre I : État des Lieux des Chaussées

I.1-Introduction.....	4
I.2 Typologie des chaussées.....	5
I.2.1 Les chaussées souples.....	5
I.2.2 Les chaussées bitumineuses.....	6
I.2.3 Les chaussées à assise semi-rigide.....	7
I.2.4 Les chaussées à structure mixte.....	8
I.2.5 Les chaussées à structure inverse.....	9
I.2.6 Les chaussées en béton de ciment.....	10
I.2.6.1 Dalles non goujonnées avec fondation.....	10
I.2.6.2 Dalles goujonnées avec fondation.....	10
I.2.6.3 Dalles sans fondation.....	10
I.2.6.4 Béton armé continu.....	10

## Table de matières

---

I.3 Les facteurs de dégradations.....	11
I.3.1 Le trafic.....	11
I.3.2 Les conditions climatiques.....	12
I.3.3 Facteurs liés à la structure.....	13
I.3.4 Facteurs liés à la réalisation.....	13
I.3.5 La qualité des matériaux.....	13
I.4 Les différents types des dégradations et leurs causes.....	14
I.4 .1 Les déformations.....	14
I.4 .1 .1 Affaissement de rives.....	15
I.4 .1 .2Flache.....	16
I.4 .1 .3 Ornière rayon.....	17
I.4 .2 Les fissurations.....	18
I.4.2.1 Les fissurations longitudinales.....	18
I.4.2.2 Les fissurations transversales.....	20
I.4.2.3 Faiénçage.....	21
I.4.3 Les arrachements.....	22
I.4.3.1 Nid de poule.....	22
I.4.3.2 Pelade.....	23
I.4.3.3Plumage.....	24
I.4.4 Les remontées.....	25
I.4.4.1 Ressuage.....	25
I.5 Les processus de dégradation selon le type de chaussées.....	26
I.5.1Les chaussées souples.....	27

## Table de matières

---

I.5.1.1 Fonctionnement.....	27
I.5.1.2 Mode de dégradation.....	27
I.5.2 Les chaussées bitumineuses épaisses .....	28
I.5.2.1 Fonctionnement.....	28
I.5.2.2 Mode de dégradation.....	28
I.5.3 Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques.....	29
I.5.3.1 Fonctionnement.....	29
I.5.3.2 Mode de dégradation.....	29
I.5.4 Les chaussées à structure mixte.....	30
I.5.4.1 Fonctionnement.....	30
I.5.4.2 Mode de dégradation.....	31
I.5.5 Les chaussées à structure inverse.....	32
I.5.5.1 Fonctionnement.....	32
I.5.5.2 Mode de dégradation.....	32
I.5.6 Les chaussées en dalles de béton.....	32
I.5.6.1 Fonctionnement.....	32
I.5.6.2 Mode de dégradation.....	33
I.7 Conséquences des dégradations sur la sécurité et le confort.....	33
I.7.1 Conséquences sur la sécurité.....	33
I.7.2 Conséquences sur le confort et les coûts.....	34
I.8 Conclusion.....	35

## Table de matières

---

I.1 Introduction.....	37
II.2 Méthodes d'observation et de classification des dégradations.....	38
II.2.1 Inspection visuelle sur site.....	39
II.2.2 l'inspection visuelle des voiries.....	40
II.2.3 Inspection automatique & semi-automatique.....	41
II.2.4 Classifications des dégradations.....	43
II.2.4.1 Les dégradations structurelles.....	43
II.2.4.2 Les dégradations non structurelles.....	43
II.2.4.3 Typologie des dégradations.....	43
II.3 Techniques d'évaluation des performances des chaussées.....	44
II.3.1 Techniques Destructives.....	44
II.3.1.1 Le carottage.....	44
II.3.1.2 L'essai de plaque.....	45
II.3.1.3 Les tranchées d'inspection.....	46
II.3.2 Les Techniques Non Destructives.....	47
II.3.2.1 La réflectométrie.....	47
II.3.2.2 Le géo radar.....	48
II.3.2.3 La profilométrie.....	49
II.4 Utilisation des technologies modernes.....	50
II.4.1 Captations par laser (3D seño r).....	51
II.4.2 Captations par Lidar.....	52
II.4.3 Rapide Pavement Tester (Rapt or).....	53
II.4.4 La dyn plaque.....	53

## Table de matières

---

II.5 Conclusion.....	55
----------------------	----

### Chapitre III : Réparations et entretien des dégradations

III.1 Introduction.....	57
III.2 Objet de l'entretien.....	57
III. 3 Les différentes typologies d'entretien.....	58
III. 3. 1 Entretien préventif.....	58
III. 3. 1. 1 Revêtements superficiels.....	58
III. 3. 1. 2 Enrobés bitumineux à chaud.....	60
III. 3. 1. 3 Enrobés bitumineux à l'émulsion.....	61
III. 3. 2 Entretien curatif (ou palliatif).....	62
III. 3. 2. 1 Enrobés à chaud.....	62
III. 3. 2. 2 Enrobés à l'émulsion.....	62
III. 3. 2. 3 Revêtement superficiel combiné.....	63
III. 3. 2. 4 Retraitement en place.....	63
III. 3. 3 Entretien courant.....	65
III. 3. 4 Réhabilitation lourde.....	68
III. 3. 5 Stratégies d'entretien.....	68
III. 4 Les Réparations et entretien des dégradations.....	69
III. 4. 1 Techniques d'entretien courant généralement utilisées.....	69
III. 4. 1.1 Affaissement de rives.....	69
III. 4. 1.2 Flache.....	70
III. 4. 1.3 Orniérage.....	71
III. 4. 1.4 Fissures longitudinales.....	72

## Table de matières

---

III. 4. 1.5 Fissures transversales.....	73
III. 4. 1.6 Faïençage.....	74
III. 4. 1.7 Nid de poule.....	75
III. 4. 1.8 Pelade.....	76
III. 4.1. 9 Plumage.....	77
III. 4. 1.10 Ressuage.....	78
III. 5 Le choix des matériaux d'entretien de chaussée dépend.....	79
III. 6 Conclusion.....	80
Conclusion Générale.....	82
Références bibliographiques.....	84

### Liste des tableaux

Tableau II.1: Synthétique des dégradations courantes.....	43
Tableau II.2: Différence l'essai à la plaque et l'essai à la dyn plaque.....	54
Tableau III. 1 : Techniques de revêtement superficiel.....	59
Tableau III.2: Techniques d'enrobés bitumineux à chaud.....	60
Tableau III.3: Techniques d'enrobés bitumineux à l'émulsion.....	61
Tableau III.4: première partie : Solutions de rechargement et de retraitement.....	64
Tableau III.4: deuxième partie : Solutions de rechargement et de retraitement.....	65
Tableau III.5: Techniques d'imperméabilisation et de restauration de l'adhérence.....	66
Tableau III.6: Techniques de bouchage de nids de poule et défilochage localisé.....	67

### Liste de Figures

Figure I.1 : Structure générale d'une chaussée.....	4
Figure I.2: Coupe d'une structure de chaussée souple.....	5
Figure I.3 : Coupe d'une structure de chaussée bitumineuse.....	6
Figure I.4 : Coupe d'une structure de chaussée semi-rigide.....	7
Figure I.5: Coupe d'une structure de chaussée à structure mixte.....	8
Figure I.6 : Coupe d'une structure de chaussée à structure inverse.....	9
Figure I.7 : Coupe d'une structure de chaussée en béton.....	11
Figure I.8 : Schéma de principe illustrant les agressivités.....	12
Figure I.9 : Affaissement de rives.....	16
Figure I.10 : Flache.....	17
Figure I.11 : Ornière à grand rayon.....	18
Figure I.12 : Les fissurations longitudinales.....	19
Figure I.13 : Les fissurations transversales.....	21
Figure I.14 : Faiénçage.....	22
Figure I.15: Nid de poule.....	23
Figure I.16: Pelade.....	24
Figure I.17: plumage.....	25
Figure I.18: Ressuage.....	26
Figure I.19 : Interactions liées à l'état des routes.....	34
Figure II.1: Schéma de diagnostic et d'évaluation de la détérioration des infrastructures routières.....	38
Figure II.2 : Evaluation de la chaussée en surface et en su surface.....	39

## Liste des Figures

---

Figure II.3 : l'inspection visuelle des voiries.....	39
Figure II.4 : Exemple d'inspection manuelle en laboratoire.....	40
Figure II.5 : Exemple d'une fissure sur une route australienne et résultat.....	42
Figure II.6 : Exemple d'une fissure sur la chaussée française.....	42
Figure II.7 : Le carottage.....	45
Figure II.8 : L'essai de plaque.....	46
Figure II.9 : Les tranchées d'inspection.....	47
Figure II.10: La réflectométrie.....	48
Figure II.11: Géo radar.....	49
Figure II.12:Évaluation du nivellement de la surface de la route.....	50
Figure II.13: System LCMS (Laser crack measurement system).....	51
Figure II.14: Détection des dégâts routiers à l'aide de capteurs LIDAR.....	52
Figure II.15: Rapt or.....	53
Figure II.16: Appareil Dyn plaque.....	54
Figure III. 1: Schéma d'évolution de l'état et du niveau de service d'une chaussée neuve avec un entretien régulier et sans entretien.....	68
Figure III. 2: Réparations d'affaissement.....	70
Figure III. 3: Réparations de Flache.....	71
Figure III. 4: Réparations d'Orniérage.....	72
Figure III. 5: Réparations des Fissures longitudinales.....	73
Figure III. 6: Réparations des Fissures transversales.....	74
Figure III. 7: Réparations de Faiénçage.....	75
Figure III. 8: Réparations de Nid de poule.....	76

## Liste des Figures

---

Figure III. 9: Réparations de pelade.....	77
Figure III. 10: Réparations de plumage.....	78
Figure III. 11: Technique de brûlage par choc thermique.....	79

# Introduction Générale

---

## Introduction Générale

---

Le réseau routier de tout pays est essentiel à son développement économique et social. Il relie les villes et les villages, facilitant les transactions et les échanges commerciaux. Conçu et supervisé par le secteur des travaux publics, le réseau routier est un facteur clé de la croissance de tout pays. La présence d'un secteur des travaux publics est un élément clé de l'économie de tout pays, compte tenu du volume d'investissements qu'il attire et de sa part dans le produit intérieur brut.

En effet, les routes se dégradent sous l'effet des charges et du climat et doivent être entretenues pour assurer un niveau de service adéquat. Il est donc essentiel d'élaborer un document recensant toute détérioration notable des routes.

Un réseau routier de qualité est essentiel, compte tenu de son impact social et économique sur divers secteurs. Cependant, pour que les routes soient en bon état et praticables, elles nécessitent un entretien régulier. Cet entretien doit être planifié, organisé et géré efficacement pour garantir son efficacité. Cette régularité est essentielle pour réparer les dommages dès leur apparition. Il est important de noter qu'un entretien régulier du réseau routier permet d'éviter des coûts importants de réhabilitation et de reconstruction à l'avenir. En réalité, les routes sont menacées par un mauvais entretien et, de manière générale, par l'augmentation de la charge des poids lourds, ce qui augmente les coûts d'exploitation et réduit la rentabilité du parc routier. Face à ces obstacles, nous saluons les efforts déployés pour améliorer l'entretien.

Cependant, un simple inventaire et une simple description ne suffisent pas ; il est également nécessaire de classer ces dégradations et d'en évaluer les causes. Notre travail vise à fournir une définition précise des différents défauts et les illustrer par des exemples représentatifs, présenter les causes les plus probables de ces dégradations ainsi que leur évolution dans le temps, de décrire l'objectif d'entretien pour chaque type de dégradation.

Notre mémoire est structuré comme suit :

Après une introduction générale, Le premier chapitre aborde les types de chaussées, les facteurs qui les influencent et les types de détérioration propres à chaque type. Le deuxième chapitre aborde les méthodes de diagnostic des dommages aux chaussées, leur classification et les techniques d'évaluation de leur performance, notamment les équipements les plus récents. Le troisième chapitre se concentre sur la réparation et l'entretien des chaussées endommagées,

## **Introduction Générale**

---

en mettant en évidence les types d'entretien spécifiques à chaque type de détérioration. En conclusion, il est généralement admis qu'un diagnostic précis et un traitement approprié des chaussées sont essentiels pour assurer leur durabilité.

# **Chapitre I**

## **État des Lieux des Chaussées**

## I.1 Introduction

Le terme route dérive du substantif latin « via rupât » qui signifie chemin taillé, ainsi une route est un espace aménagé servant de voie de communication ou de transport terrestre. Elle constitue une infrastructure appropriée pour la circulation des piétons, des véhicules. La route se définit comme une voie de circulation créée et aménagée pour supporter le trafic et les charges pour une durée donnée. A l'intérieur des agglomérations, la route prend le nom de rue, avenue, boulevard...etc. C'est la bande aménagée sur le terrain naturel pour assurer la circulation et les mouvements des véhicules, elle est née du besoin de créer de relation entre les hommes, établir des échanges des produits de marchandise, et d'instituer une vie communautaire. [1].

Dans ce chapitre, nous présentons les différentes catégories de routes et leur rôle important dans la compréhension de leur construction et de leur durabilité. Les routes sont classées en plusieurs types, chacun conçu pour un trafic et un sol support spécifiques. Cependant, ces structures sont sujettes à divers facteurs de dégradation qui entraînent des conséquences graves affectant la sécurité des usagers et le confort de circulation, en augmentant le risque d'accidents et en réduisant la qualité de la route.

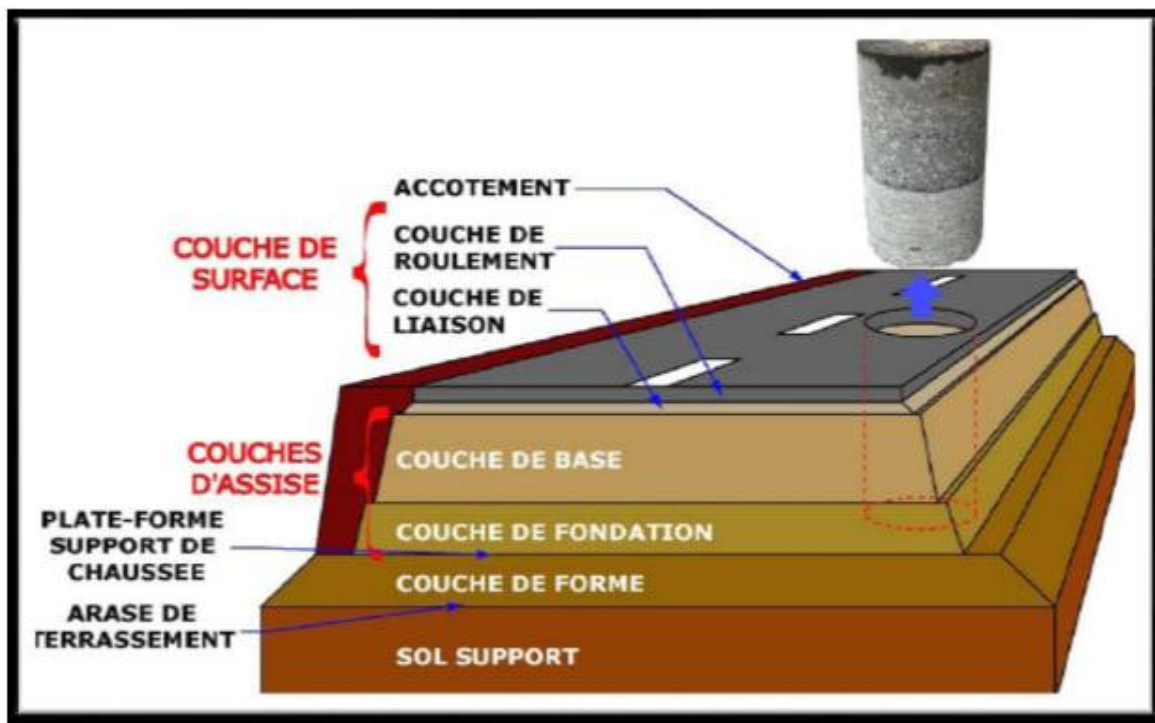


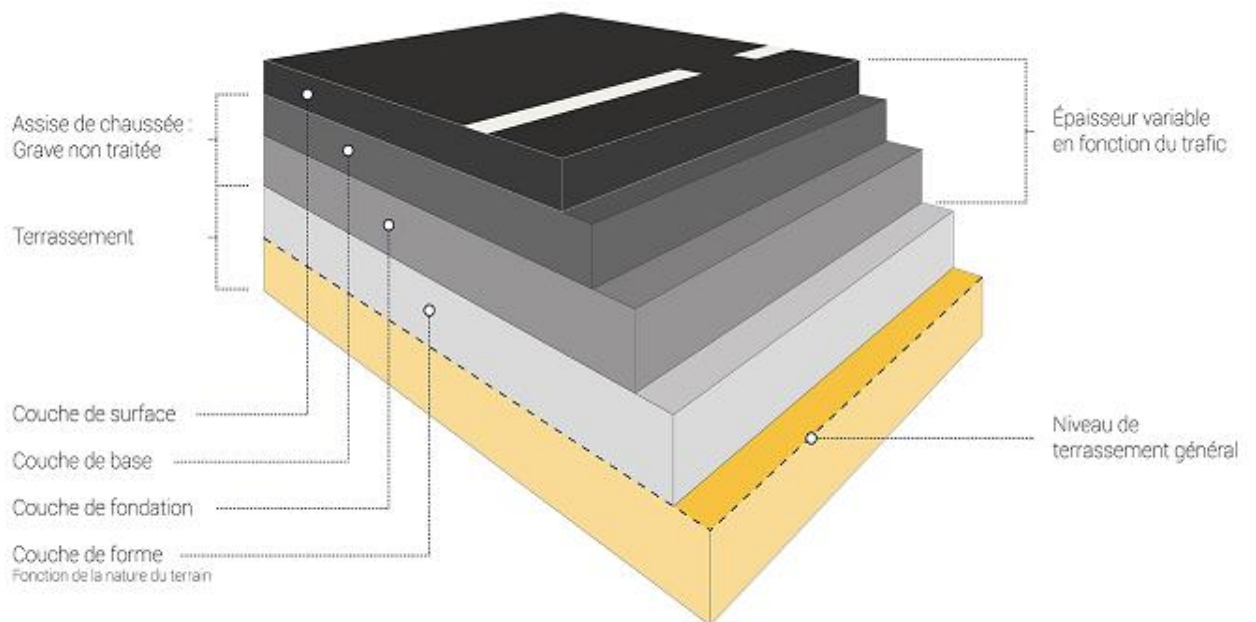
Figure I.1 : Structure générale d'une chaussée

## I.2 Typologie des chaussées :

On distingue six structures de chaussées qui diffèrent par le dimensionnement des couches qui les composent. [2].

### I.2.1 Les chaussées souples :

Ces chaussées ont une épaisseur comprise entre 30 et 60 cm. Elles se composent d'une couche de surface en matériaux bitumineux, posée sur une assise en matériaux granulaires non traités disposés en une ou plusieurs couches (fig. I.2).



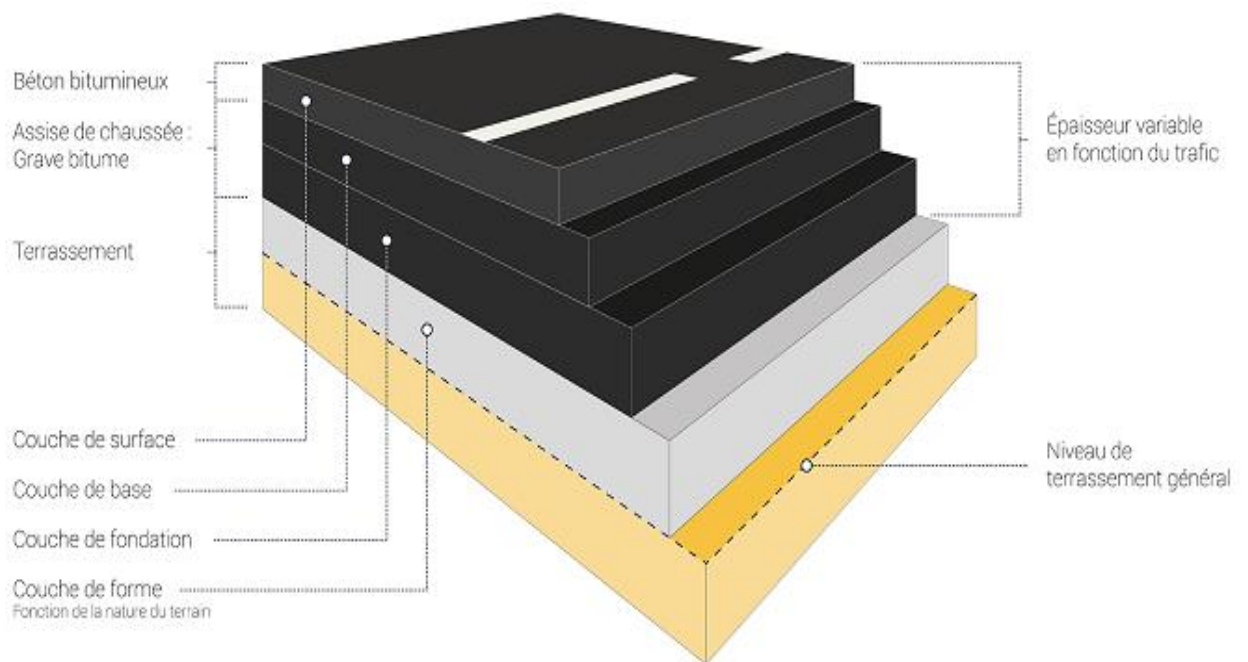
### Chaussée souple

Figure I.2: Coupe d'une structure de chaussée souple

### I.2.2 Les chaussées bitumineuses :

C'est des chaussées épaisses qui disposent d'une assise en matériaux traités aux liants hydrocarbonés sur une épaisseur de 15 à 40 cm, placée sous un revêtement bitumineux

(fig. I.3). Les matériaux d'assise relativement rigide permettent de répartir les contraintes verticales tout en réduisant les efforts au niveau du support.

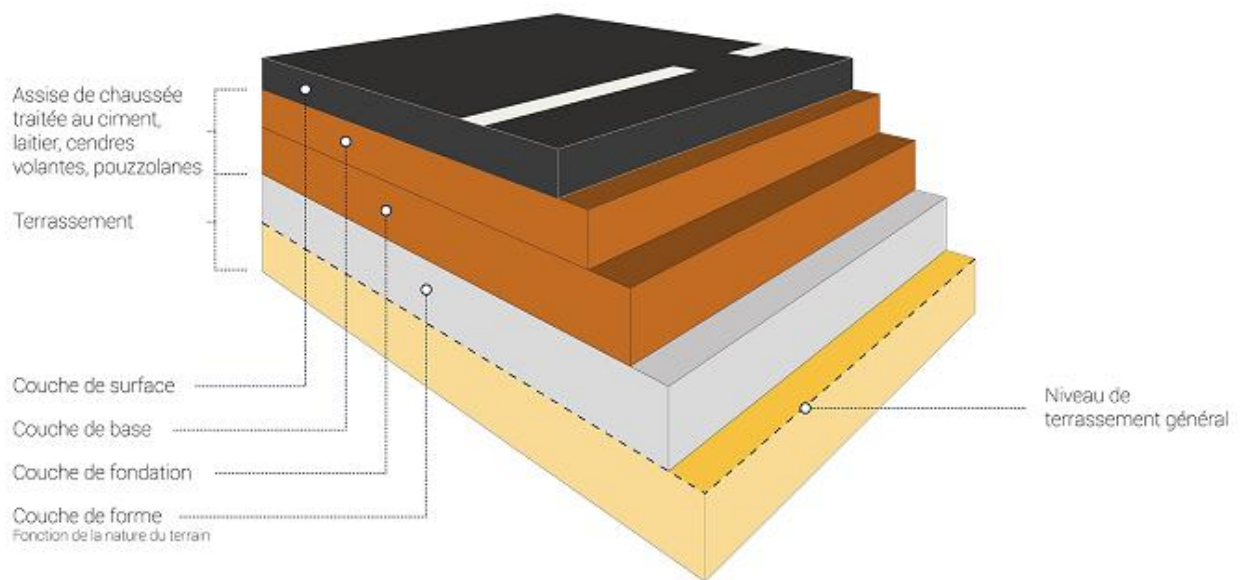


### Chaussée bitumineuse

Figure I.3 : Coupe d'une structure de chaussée bitumineuse

### I.2.3 Les chaussées à assise semi-rigide :

Elles sont Traitées aux liants hydrauliques et comportent une couche de surface bitumineuse posée sur une assise de 20 à 50 cm d'épaisseur en matériaux traités aux liants hydrauliques (fig. I.4). Ce type de chaussée présente un fort risque de retraits thermiques qui peut générer des fissures dans sa couche d'assise qui peuvent remonter jusqu'à la couche de surface, entraînant une perte d'étanchéité et, à terme, des crevasses.

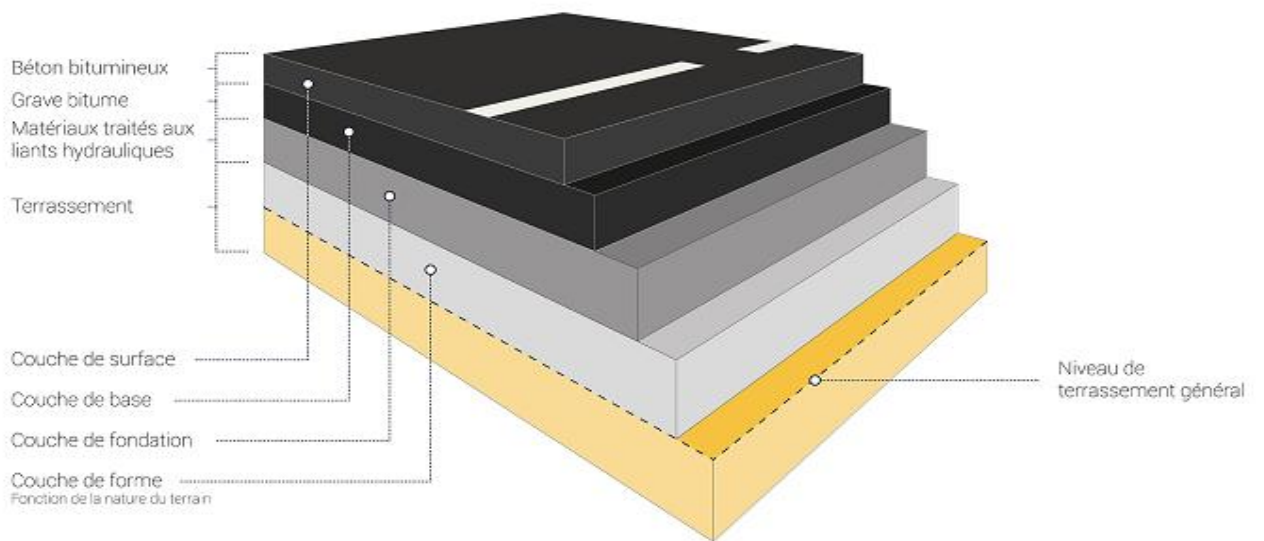


### Chaussée semi-rigide

Figure I.4 : Coupe d'une structure de chaussée semi-rigide

### I.2.4 Les chaussées à structure mixte :

Elles sont composées de matériaux bitumineux à la fois pour la couche de surface et la couche de base. Ce type de chaussée repose sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (fig. I.5) permettant de répartir les efforts afin de les atténuer au niveau du support.

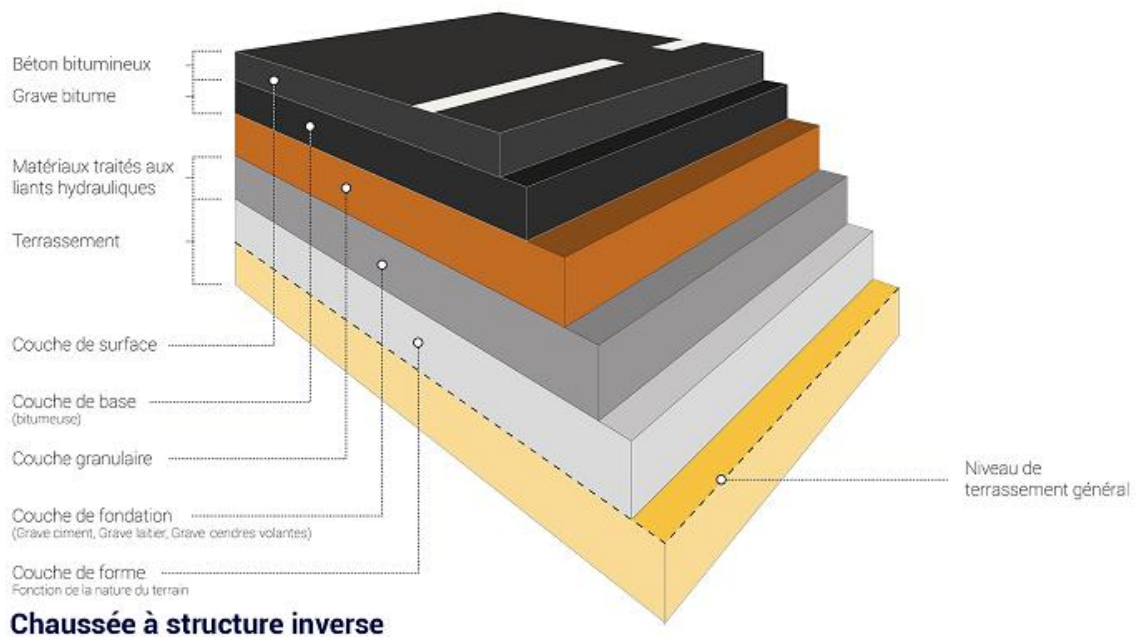


### Chaussée à structure mixte

Figure I.5: Coupe d'une structure de chaussée structure mixte

### I.2.5 Les chaussées à structure inverse :

C'est des chaussées réalisées en trois couches : une couche de surface en matériaux bitumineux qui joue un rôle d'étanchéité, une couche granulaire destinée à absorber les fissures de la couche de fondation, et enfin la couche de fondation, réalisée en matériaux traités aux liants hydrauliques, destinée à répartir les efforts et les contraintes au niveau du sol support. (fig. I.6).



**Figure I.6 : Coupe d'une structure de chaussée à structure inverse**

### I.2.6 Les chaussées en béton de ciment :

Elles sont constituées d'un revêtement en béton pervibré ou fluide. Il s'agit d'une chaussée rigide composée de trois couches : une couche de roulement, une couche de fondation et une couche de forme (fig. I.7). La composition de ce type de chaussée assure l'absorption des efforts en limitant leur transmission au niveau du sol support. Elles existent en quatre versions :

#### I.2.6.1 Dalles non goujonnées avec fondation :

Elles sont constituées de dalles de béton de ciment de 20 à 28 cm sans armature, reposant sur une fondation en béton maigre (12 à 18 cm), ou en matériaux traités aux liants hydrauliques (15 à 20 cm).

#### I.2.6.2 Dalles goujonnées avec fondation :

Elles sont constituées de dalles en béton de ciment de 17 à 23 cm (avec armatures de liaison entre les dalles), reposant sur une fondation en béton maigre (14 à 22 cm).

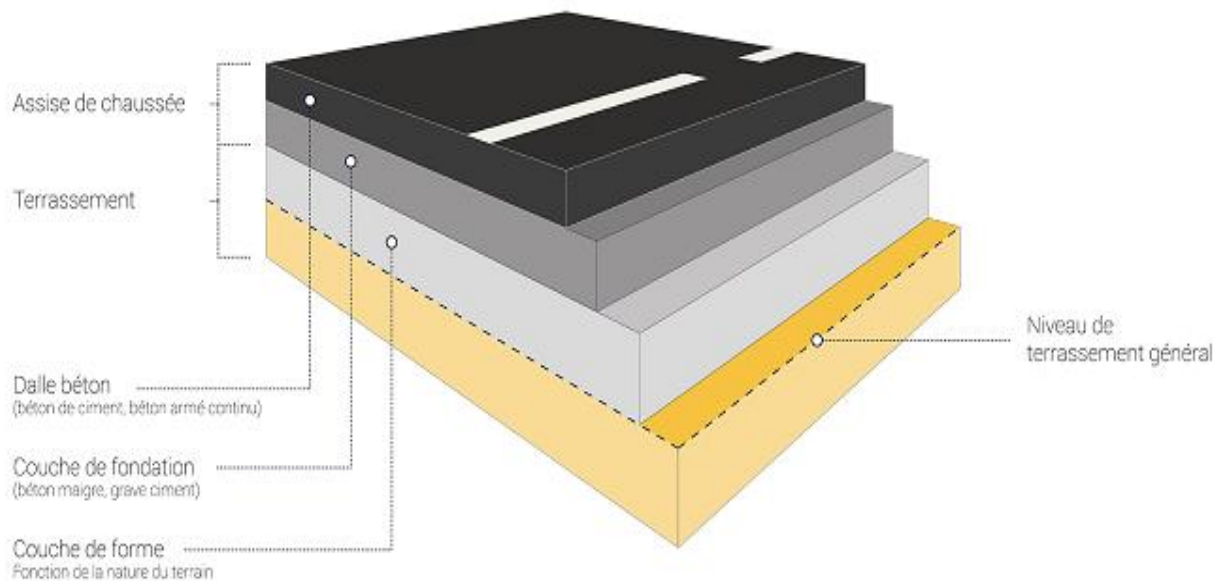
#### I.2.6.3 Dalles sans fondation :

Elles sont constituées de dalles en béton de ciment de 28 à 39 cm qui reposent sur une couche drainante en matériaux granulaires ou sur un géotextile.

#### I.2.6.4 Béton armé continu (avec aciers filants sur toute la longueur de voirie) :

**Type A :** Dalle de béton de ciment (16 à 24 cm), reposant sur une fondation en béton maigre de 12 à 14 cm.

**Type B :** Dalle de béton de ciment (18 à 24 cm), reposant sur une assise en matériaux bitumineux de 5 cm et une fondation en sable traité aux liants hydrauliques (50 à 60 cm).[2]



### Chaussée en béton

**Figure I.7 : Coupe d'une structure de chaussée en béton**

#### I.3 Les facteurs de dégradations :

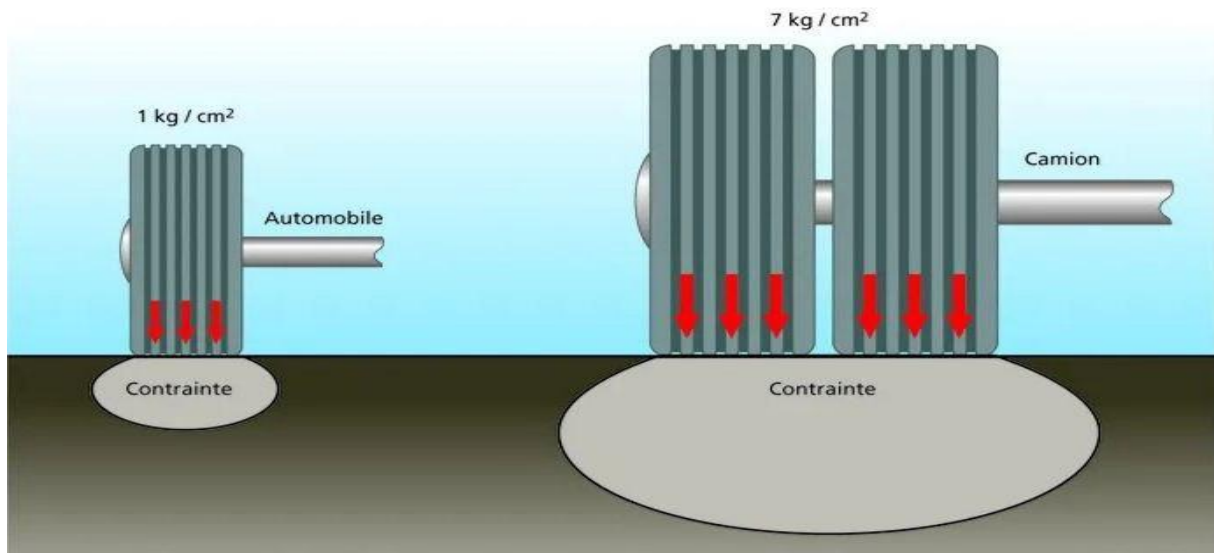
Il y a de nombreux facteurs qui peuvent affecter la détérioration des structures de chaussée et parmi ces facteurs on cite : le trafic, les conditions climatiques, les facteurs liés à la structure, les facteurs liés à la réalisation et les facteurs liés aux matériaux.

##### I.3.1 Le trafic :

C'est le principal facteur d'influence de la ruine des chaussées en générant les phénomènes de traction / extension par flexion dans les couches traitées et de compression / poinçonnement dans les couches non liées (sol support et GNT principalement).

Tout cela est dû à l'impact du trafic routier, en particulier des charges lourdes, qui sont considérées comme le principal ennemi. Le passage d'un essieu de 13 tonnes a autant d'impact sur la structure de la chaussée qu'un million de véhicules de tourisme. Les charges répétées exercent une contrainte globale sur la chaussée, ce qui entraîne sa détérioration. Le frottement des pneus en mouvement sur le chemin d'usure entraîne également l'usure. Les forces tangentielles et transverses, en particulier sur les chaussées de ronds-points, peuvent entraîner

une détérioration de la chaussée. Les vibrations entraînent également des affaissements de sol, le détachement des éléments composites et l'apparition de fissures. [3].



**Figure I.8 : Schéma de principe illustrant les agressivités**

### I.3.2 Les conditions climatiques :

L'eau superficielle (pluie) ou interne (source) , ainsi que le gel- dégel, sont à l'origine de nombreux problèmes. Comme tous les sols sont sensibles à l'eau, leur capacité portante diminue lorsqu'ils sont humides. L'eau peut atteindre le sol par le haut (infiltrations d'eau de pluie à travers la route), par les côtés (infiltrations d'eau par les accotements ou les fossés) et par le bas (nappes phréatiques et sources). Lorsque les températures baissent, l'eau en profondeur gèle et se transforme en glace, entraînant une absorption d'eau des couches inférieures vers le haut. La quantité de glace à la surface de la route et dans le sol porteur augmente. De plus, l'expansion de la glace provoque le gonflement de la surface de la route.

La hausse des températures accélère la fonte de la glace, et cet excès d'eau réduit considérablement la capacité portante du sol porteur, rendant la surface de la route extrêmement fragile. Pendant la période nécessaire à l'évacuation de cet excès d'eau, les fluctuations de température affectent le vieillissement des enrobés bitumineux et des revêtements routiers.[3].

### **I.3.3 Facteurs liés à la structure :**

La structure étant le principal support de la route, elle constitue la base qui permet la répartition de la charge des charges lourdes sur le plancher porteur, constitué de la couche de base et de la couche de fondation. Si l'épaisseur des couches structurelles n'est pas correctement calculée pour supporter les charges prévues, ou si l'adhérence entre les deux couches est insuffisante, cela entraîne des contraintes excessives, des fissures et des déformations prématurées.[3]. [4].

### **I.3.4 Facteurs liés à la réalisation :**

La dureté d'un matériau de pavage dépend de l'utilisation de matériaux répondant aux spécifications techniques en termes de résistance, de durabilité, de pureté et de granulométrie. Elle dépend également de son taux de compactage, car chaque matériau nécessite un certain niveau de compactage pour garantir sa dureté et sa résistance à la fatigue. Tout manque de compactage affecte la dureté du matériau, entraînant une augmentation des contraintes dues au passage de charges lourdes, réduisant ainsi la durée de vie de la route. Un choix de matériau inadéquat peut également entraîner des modifications de la structure granulaire sous l'effet du trafic.[3]. [4].

### **I.3.5 La qualité des matériaux :**

La qualité des matériaux est un facteur crucial pour la durabilité de l'infrastructure routière. Des matériaux bien choisis, adaptés aux conditions climatiques et correctement appliqués, peuvent résister aux pressions du trafic et aux intempéries pendant des décennies.

Les dommages peuvent être causés par des matériaux de mauvaise qualité en raison : d'une granulométrie incorrecte, d'une dureté insuffisante des agrégats : risque de fissuration du bitume trop mou dans les climats chauds : risque d'affaissement et de renflement présence de matériau argileux dans les matériaux instables : risque accru de fissures. [3].

### I.4 Les différents types des dégradations et leurs causes :

D'une manière générale, les dégradations observées dans les chaussées peuvent être répertoriées en quatre principales familles qui sont : [3]. [4]. [5]. [6].

- Les déformations
- Les fissurations
- Les arrachements
- Les remontées

Pour chaque type des dégradations sont énumérés trois niveaux de sévérité qui incluent les notions suivantes :

- **Faible** : Ce niveau correspond au stade initial de la dégradation : les premiers indices apparaissent parfois de façon intermittente sur un segment de route et l'évaluateur doit être attentif pour y déceler les symptômes de détérioration. Ce niveau est souvent difficile à percevoir pour un observateur se déplaçant en véhicule à une vitesse de l'ordre de 50 km/h. À la vitesse maximale permise, le confort au roulement n'est pas altéré ou l'est très peu.
- **Moyen** : Ce niveau désigne une dégradation continue et facilement perceptible pour un observateur se déplaçant à une vitesse de l'ordre de 50 km/h. À la vitesse maximale permise, le confort au roulement est sensiblement diminué par la plupart des dégradations.
- **Majeur** : Ce niveau indique que la dégradation est accentuée et évidente, même pour un observateur se déplaçant à la vitesse maximale permise. Le confort au roulement est généralement diminué et, dans certains cas, la sécurité à la vitesse maximale permise peut être compromise.

#### I.4.1 Les déformations :

Ces déformations qui prennent naissance dans le corps de la chaussée affectent en générale les couches inférieures pour atteindre ensuite la couche de roulement et peuvent se distinguer selon leur forme ou leur localisation comme suit :

### I.4 .1 .1Affaissement de rives :

Tassement de la chaussée en rive formant parfois une cuvette accompagnée sur le bord de la chaussée d'un bourrelet de matériaux.

#### Cause:

Fatigue de la chaussée due à une épaisseur ou une qualité des matériaux ou calage en rive insuffisants. Dégradation souvent aggravée par la présence d'eau en rive qui reste piégée dans la cuvette.

#### Evolution :

Apparition de faïençage et de bourrelet au droit de l'affaissement.

### A. Gravité et étendue

- **Faible** : il est défini par une dénivellation dont la profondeur est inférieure à 20 mm sous la règle de 3 m. À la vitesse maximale permise, la sécurité n'est pas compromise et l'effet sur le confort au roulement est négligeable.
- **Moyen** : ici la dénivellation a une profondeur se situant entre 20 et 40 mm sous la règle de 3 m. À la vitesse maximale permise, la sécurité est peu compromise et le confort au roulement est modérément diminué.
- **Majeur** : il correspond à une dénivellation dont la profondeur est supérieure à 40 mm sous la règle de 3 m. À la vitesse maximale permise, la sécurité est compromise et le conducteur doit ralentir. Le confort au roulement est fortement diminué.
- **Etendue** : c'est le % de la surface totale atteinte par rapport à la surface de la section de relevé.



**Figure I.9 : Affaissement de rives**

### **I.4 .1 .2Flache :**

Tassement en pleine chaussée, souvent de forme arrondie.

#### **+ Cause:**

**Pour les chaussées souples** : fatigue due à un défaut de portance localisé du sol (poche d'argile humide).

**Pour les chaussées traitées aux liants hydrauliques** (ciment, laitier, etc.) : mauvaise qualité localisée des matériaux de l'assise.

#### **+ Evolution :**

Faïençage puis départ des matériaux formant nid de poule.

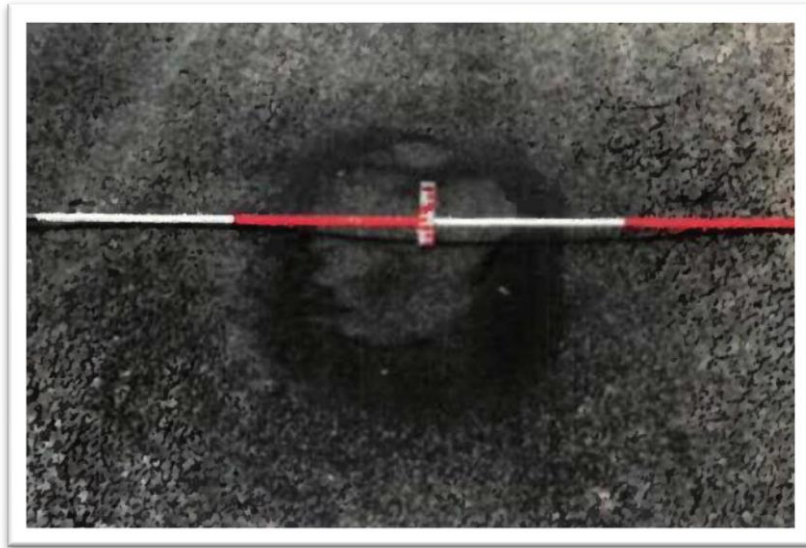


Figure I.10 : Flache

### I.4.1.3 Ornière rayon :

Dépression longitudinale simple, double et parfois triple, de l'ordre de 250 mm de largeur, située dans les pistes de roues. Le profil transversal de ces dépressions est souvent similaire à des traces de pneus simples ou jumelés.

#### + Cause:

- Soit fatigue de la chaussée par tassement des couches inférieures due à un défaut de portance du sol. (Ornière grand rayon).
- Soit mauvaise stabilité d'un enrobé mou dans les fortes pentes ou rampes ou dans les zones de freinage, (ornière petit rayon).

#### + Evolution :

Faïençage dans les ornières et bourrelets, (ornière grand rayon). Augmentation de la profondeur, (ornière petit rayon).

### A. Gravité et étendue

- **Faible** : Profondeur de l'ornière inférieure à 10 mm.
- **Moyen** : Profondeur de l'ornière de 10 à 20 mm.
- **Majeur**: Profondeur de l'ornière supérieure à 20 mm.
- **Etendue** : c'est le % de la surface totale atteinte par rapport à la surface de la section de relevé.



Faible

Moyen

Majeur

Figure I.11 : Ornière à grand rayon

### I.4 .2 Les fissurations :

#### I.4.2.1 Les fissurations longitudinales :

Rupture du revêtement relativement parallèle à la direction de la route, excluant les fissures de gel, en dehors des pistes de roues.

#### ✚ Cause:

Il existe plusieurs causes possibles :

- fatigue de la chaussée due à une structure insuffisante vis-à-vis du trafic, ou d'une portance insuffisante du sol.
- défauts de construction par exemple : élargissement, ou Joints défectueux d'enrobé, ou mouvements du sol (tassement, glissement).
- retrait du sol argileux à la suite d'une longue période de sécheresse.

#### ✚ Evolution :

Faiénçage et départ des matériaux.

### A. Gravité et étendue

- **Faible** : fissures simples et intermittentes dont les ouvertures sont inférieures à 5 mm. Les bords sont en général francs et bien définis. Les fissures avec scellement en place en bonne condition sont incluses dans ce niveau de sévérité ou elles peuvent aussi être comptabilisées à part selon l'usage qui sera fait de l'information.
- **Moyen** : fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de 5 à 20 mm. Les bords sont parfois érodés et un peu affaissés.
- **Majeur** : fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de plus de 20 mm. Les bords sont souvent érodés et il y a affaissement ou soulèvement au gel au voisinage de la fissure.
- **Etendue** : % de surface totale de la zone atteinte par rapport à la surface de la section du relevé.



Figure I.12 : Les fissurations longitudinales

### I.4.2.2 Les fissurations transversales :

Rupture du revêtement relativement perpendiculaire à la direction de la route, généralement sur toute la largeur de la chaussée.

#### Cause:

- Retrait dû à la prise de l'assise traitée aux liants hydrauliques (ciment, laitier, ...) ; sous l'effet des variations de température, la fissure remonte au travers de la couche de surface.
- L'ouverture varie selon la saison ; elle s'accroît davantage en hiver.
- Défaut de construction d'un joint de reprise de tapis d'enrobés.

#### Evolution :

D'abord fines, les fissures peuvent s'épaissir et évoluer vers des faïençages, flaches et départ de matériaux.

### A. Gravité et étendue

- **Faible** : fissures simples et intermittentes dont les ouvertures sont inférieures à 5 mm. Les bords sont en général francs et bien définis. Les fissures avec scellement en place en bonne condition sont incluses dans ce niveau de sévérité ou elles peuvent aussi être comptabilisées à part selon l'usage qui sera fait de l'information.
- **Moyen** : fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de 5 à 20 mm. Les bords sont parfois érodés et un peu affaissés.
- **Majeur** : fissures simples ou fissures multiples le long d'une fissure principale, celle-ci étant ouverte de plus de 20 mm. Les bords sont souvent érodés et il y a affaissement ou soulèvement au gel au voisinage de la fissure.
- **Etendue** : % de surface totale de la zone atteinte par rapport à la surface de la section du relevé.



Faible

Moyen

Majeur

**Figure I.13 : Les fissurations transversales**

### I.4.2.3 Faiençage :

Ensemble de fissures plus ou moins rapprochées formant un maillage.

#### + Cause:

Fatigue de la couche de roulement ou de la totalité de la chaussée, due à une structure insuffisante vis-à-vis du trafic supporté ou à une portance insuffisante du sol.

#### + Evolution :

Ouverture progressive des fissures, arrachement des matériaux et déformations.

#### A / Gravité et étendue :

Le niveau de sévérité du faiençage dépend de l'évolution des fissures qui le composent Cette évolution est caractérisée par une extension progressive du phénomène en surface qui définit le dernier stade avant désordres graves.

**Etendue :** Pourcentage de la surface totale atteinte par rapport à la surface de la section du relevé.



**Faible**

**Moyen**

**Majeur**

**Figure I.14 : Faièncage**

### I.4.3 Les arrachements :

#### I.4.3.1 Nid de poule :

Le Nid de poule est le stade final d'un faièncage ou d'une flache, désagrègation localisée du revêtement sur toute son épaisseur formant des trous de forme généralement arrondie, au contour bien défini, de taille et de profondeur variables.

#### Cause :

Désagrègation et départ de matériaux dus à une mauvaise qualité de la chaussée, à une pollution par remontée d'argile dans le corps de la chaussée, à une forte perméabilité de la couche de roulement.

#### Evolution :

- Augmentation en nombre et taille des trous.
- Ruine totale de la chaussée.

#### A. Gravité et étendue :

- **Faible** : il est décrit par le nid-de-poule dont le diamètre est moins de 200 mm.
- **Moyen** : dans ce cas le nid-de-poule possède un diamètre de 200 à 300 mm.
- **Majeur** : à ce niveau le nid-de-poule a diamètre de plus de 300 mm.

- **Etendue** : elle est évaluée par le nombre de nids de poule par section du relevé.



**Faible**

**Moyen**

**Majeur**

**Figure I.15: Nid de poule**

### I.4.3.2 Pelade :

Etat d'un enduit présentant des manques par plaques.

✚ **Cause:**

❖ **Pour les enrobés :**

Trop faible épaisseur de la couche de roulement (1 à 2 cm) avec collage défectueux (absence ou insuffisance de la couche d'accrochage) qui, sous l'action des efforts horizontaux dus au trafic, se décolle du support.

❖ **Pour les enduits :**

Mauvais collage au support, arrachements provoqués par le ressuage, surdosage de gravillons en première grille dans le cas d'enduit superficiels pré gravillonné.

✚ **Evolution :**

Arrachement progressif de la couche de surface.

#### A. Gravité et étendue :

- **Faible** : Pelade dont la surface d'arrachement est inférieure à  $0,5 \text{ m}^2$ .
- **Moyen** : Pelade dont la surface d'arrachement est de  $0,5$  à  $1,0 \text{ m}^2$ .
- **Majeur** : Pelade dont la surface d'arrachement est supérieure à  $1,0 \text{ m}^2$ .

- **Etendue** : elle est évaluée par le nombre de nids de poule par section du relevé.



**Faible**

**Moyen**

**Majeur**

**Figure I.16: Pelade**

### **I.4.3.3 Plumage :**

Etat d'un enduit dont la mosaïque est rendue non jointif par départ de granulats.

#### **+ Cause:**

- sous dosage en liant d'un enduit superficiel.
- mise en œuvre dans des conditions atmosphériques défavorables : température trop basse, pluie... ;
- utilisation de gravillons sales.
- compactage insuffisant.
- épandage de liant inadapté.
- remise trop rapide sous circulation. Cette dégradation se rencontre souvent dans les zones humides ou ombragées. (Surdosage en liant nécessaire).

#### **+ Evolution :**

Arrachement progressif de la totalité des gravillons.



**Figure I.17: plumage**

### **I.4.4 Les remontées :**

#### **I.4.4.1 Ressuage :**

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

##### **+ Cause:**

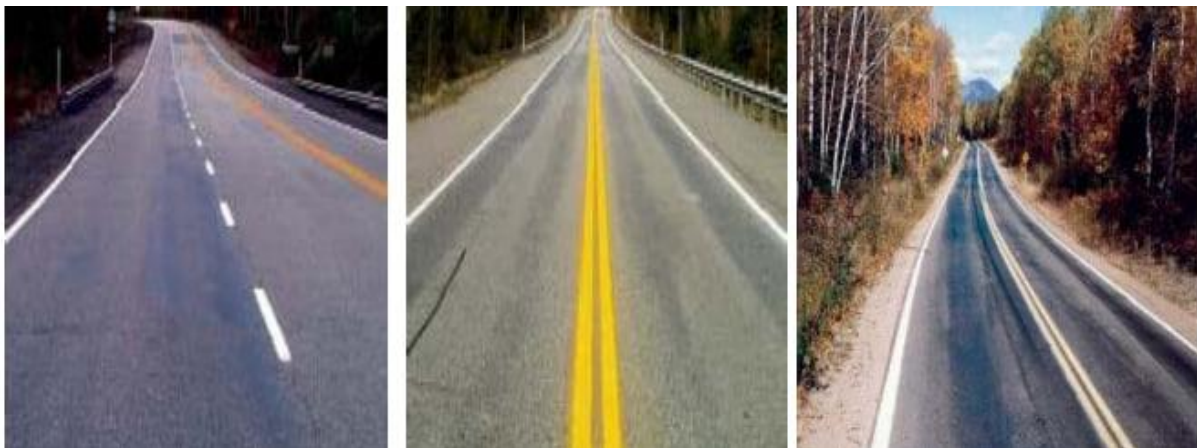
- Surdosage de bitume sur des emplois partiels à l'émulsion ou sur des enduits.
- Enfouissement des granulats dans un support bitumineux trop « mou » ou trop « gras » (enrobé trop riche en mastic).
- Délai insuffisant entre les réparations localisées à l'émulsion et la réalisation de l'enduit.

##### **+ Evolution :**

Ces phénomènes sont aggravés par forte chaleur sous circulation, l'ensemble de la couche de roulement peut être arraché par les véhicules par collage aux pneumatiques (pelade).

### A. Gravité et étendue :

- ✚ **Faible** : le ressuage est surtout détectable dans les pistes de roues par l'apparition d'une bande de revêtement plus foncée et lorsque moins de 25 % de la surface de la chaussée est affectée. On distingue encore bien les gros granulats.
- ✚ **Moyen** : les pistes de roues sont bien délimitées par la couleur noire du bitume et moins de 50 % de la surface de la chaussée est affectée. Les gros granulats sont difficilement visibles.
- ✚ **Majeur** : aspect humide et brillant de la plus grande partie de la surface. La texture de l'enrober est impossible à discerner. Le bruit des pneus est similaire à celui produit sur un revêtement mouillé. La plus grande partie de la surface est affectée.
- ✚ **Etendue** : le pourcentage de longueur cumulée des zones affectées par le désordre par rapport à la longueur totale de la section du relevé.



**Faible**

**Moyen**

**Majeur**

**Figure I.18: Ressuage**

### I.5 Les processus de dégradation selon le type de chaussées :

Les processus de dégradations des chaussées sont des phénomènes bien connus mais difficile à décrire ou à maîtriser. Le comportement des différents types de structures, sous l'action des sollicitations, vient favoriser ou réduire les risques de dégradations des chaussées. Cela contribue à avoir pour chaque type de chaussée son propre processus de dégradation. [7].

### I.5.1 Les chaussées souples :

#### I.5.1.1 Fonctionnement :

Étant donné la faible épaisseur de matériaux traités, ces structures de chaussées transmettent les contraintes engendrées par la circulation en ne les atténuant que faiblement. Dans ces conditions, la répétition de ces contraintes va entraîner une déformation plastique de l'assise granulaire ou du sol et se traduire par des déformations permanentes en surface.

En période pluvieuse ou de dégel on peut observer une élévation de la teneur en eau du support localisée sur les bords de chaussée dans le premier cas, généralisée dans le second. La faible rigidité de ces chaussées les rend sensibles à la réduction de portance due à l'élévation de la teneur en eau du support qui en résulte. La couverture bitumineuse reposant sur un support peu rigide est sollicitée à sa base par des efforts de traction-flexion. Leur répétition peut conduire à sa rupture.

#### I.5.1.2 Mode de dégradation :

L'évolution caractéristique des chaussées souples comporte donc :

- L'apparition de déformations permanentes (flaches, affaissements de rive et ornière à grand rayon) qui croissent en gravité (amplitude verticale) et en étendue, l'apparition d'une fissuration longitudinale dans les bandes de roulement, qui se ramifie, se dédouble et évolue vers un faïençage à mailles fines.
- La fissuration favorise les infiltrations d'eau qui amplifient la réduction de portance du support en période pluvieuse, donc aggravent les déformations permanentes ; ces infiltrations d'eau accélèrent également l'évolution de la fissuration en provoquant l'épaufrure des bords de fissure, des arrachements puis des nids de poule.
- En période de dégel, l'augmentation très rapide des déformations permanentes peut conduire à la ruine de ce type de chaussée si des mesures de restriction du trafic poids lourds ne sont pas prises.

### I.5.2 Les chaussées bitumineuses épaisses :

#### I.5.2.1 Fonctionnement :

La rigidité et la résistance en traction des couches d'assise permettent de diffuser, en les atténuant fortement, les contraintes verticales engendrées par le trafic et transmises au support de l'assise. Celui-ci est donc en général suffisamment protégé pour ne pas subir de déformations plastiques significatives (entraînant des déformations permanentes de la structure) en dehors de circonstances exceptionnelles comme le dégel ou les périodes très pluvieuses. En contrepartie, les efforts induits par le trafic sont repris en traction-flexion par les couches bitumineuses. En général c'est la couche bitumineuse la plus profonde qui subit les allongements les plus importants et se rompt par fatigue. Une couche située au-dessus d'une interface décollée peut également se rompre par fatigue.

#### I.5.2.2 Mode de dégradation :

L'évolution caractéristique des chaussées bitumineuses épaisses comporte donc, en dehors des phénomènes spécifiques à l'usure et au vieillissement de leur couche de roulement, les phases suivantes :

- L'apparition dans les bandes de roulement d'une fissuration longitudinale qui se ramifie, se dédouble et évolue vers un faïençage de plus en plus fin ;
- L'apparition de déformations permanentes dans des conditions exceptionnelles (dégel en particulier).
- Pour la première phase qui constitue le processus normal de dégradation des chaussées bitumineuses épaisses, la fissuration favorise les infiltrations d'eau. Ces infiltrations provoquent l'épaufrure des bords de fissure et accélèrent les dés enrobage des matériaux bitumineux. Elles sont donc à l'origine de l'aggravation du faïençage puis des arrachements et des nids de poule.

### I.5.3 Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques :

#### I.5.3.1 Fonctionnement :

La grande rigidité de ces assises s'accompagne d'une faible capacité à se déformer qui les rend sujettes à la fissuration transversale sous l'effet des retraits de prise et thermique. Pour les chaussées à assise traitée non pré fissurées et suivant le type de climat et les matériaux, l'espacement normal des fissures est compris entre 7 et 15 m.

En raison de leur grande rigidité, ces structures atténuent fortement les contraintes verticales transmises au sol support. Les risques de déformation plastique de celui-ci sont donc inexistant, tant que l'intégrité de la structure est conservée. En revanche, l'assise traitée subit des contraintes de traction flexion élevées. Dans le cas d'assise réalisée en deux couches, les techniques de traitement des matériaux et la mise en œuvre des couches déterminent les conditions d'adhérence entre couches ; suivant que cette adhérence est ou non assurée, seule la couche de fondation travaille de façon significative ou les deux couches sont sollicitées en traction.

L'interface couche de roulement-couche de base et la partie supérieure de la couche de base constituent une zone sensible qui supporte des contraintes normales et de cisaillement important et qui peut présenter des caractéristiques plus faibles que le reste de la structure en raison des conditions de mise en œuvre celles-ci entraînent une plus grande sensibilité de cette zone aux agressions du trafic et du climat (des siccation ou humidification excessives).

#### I.5.3.2 Mode de dégradation :

L'évolution caractéristique des chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques suit trois schémas principaux qui peuvent se présenter séparément ou simultanément. En l'absence de colmatage des fissures transversales l'eau pénètre dans la structure, ce qui a pour conséquences :

- Une diminution de la qualité du collage entre la couche de roulement et l'assise qui conduit à une aggravation de la fissuration puis à la dégradation de la partie supérieure de l'assise ces phénomènes s'accompagnent de remontées de boues puis d'affaissements et de nids de poule ;
- Une attrition des lèvres de fissures qui diminue l'engrènement entre les dalles et réduit donc les transferts de charge cette dégradation induit un accroissement des contraintes de traction

## Chapitre I : État des Lieux des Chaussées

---

transversales à la base de l'assise en bord de fissure ainsi qu'une augmentation des contraintes verticales sur le support de l'assise.

- La répétition des contraintes de traction-flexion entraîne l'apparition d'une fissuration longitudinale dans les bandes de roulement ; elle se dédouble, se ramifie et évolue vers le faïençage si elle n'est pas colmatée. On peut noter une augmentation du nombre des fissures transversales dont l'intersection avec les fissures longitudinales conduit à la formation de dalots rectangulaires qui peuvent présenter des décalages de niveau entre eux.

Dans le cas de couches de surface bitumineuses peu épaisses et/ou perméables, la pénétration de l'eau à travers la couche de roulement aggrave l'effet du trafic (contraintes normales et de cisaillement). Celui-ci entraîne un feuilletage en haut de l'assise traitée qui est suivi de remontées de fines puis de faïençages, souvent de forme circulaire, de flaches et enfin de nids de poule. La faible capacité de déformation de ces assises les rend très sensibles aux mouvements, même faibles, de leur support qui conduiront à la fissuration de l'assise (tassements d'élargissement ou d'épaulement, retrait hydrique du sol, glissement...).

Enfin, certains liants, activant de prise ou granulats peuvent conduire à la formation de composants gonflant en présence d'eau et entraînant des gonfles à la surface de la chaussée.

### **I.5.4 Les chaussées à structure mixte :**

#### **I.5.4.1 Fonctionnement :**

La rigidité élevée de ces chaussées limite très fortement les contraintes transmises au sol support. Les risques de déformation plastique de celui-ci sont donc inexistant tant que l'intégrité de la structure est conservée. La rigidité de la couche de fondation la rend sujette à la fissuration transversale sous l'effet des retraits de prise et thermique. La protection thermique apportée par la couverture bitumineuse atténue les gradients thermiques supportés par la couche de fondation et conduit donc à une densité de fissures transversales, plus faible que sur les chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques, toutes choses étant égales par ailleurs.

La couverture bitumineuse atténue également les efforts transmis à la couche de fondation sous l'effet du trafic, La conjugaison de ces deux effets retarde la remontée des fissures transversales à la surface des chaussées de manière très sensible. Dans ce type de chaussée, le collage de la couche bitumineuse sur la couche de matériaux traités aux liants hydrauliques

évite que cette couche bitumineuse ne soit sollicitée en traction-flexion si ce n'est à proximité des fissures transversales de la couche support. Les efforts de flexion-traction sont donc supportés par la couche de fondation. Toutefois, les contraintes engendrées par le trafic et le climat (dilatation différentielle des couches bitumineuses et traitées aux liants hydrauliques) conduit à la dégradation progressive de l'adhérence entre ces couches ; les couches bitumineuses sont alors sollicitées en traction-flexion.

### **I.5.4.2 Mode de dégradation :**

L'évolution caractéristique des chaussées à structure mixte emprunte à la fois à l'évolution des chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques et à celle des chaussées bitumineuses épaisses.

- Les fissures transversales remontées à la surface des chaussées se dégradent sous l'effet de la pénétration de l'eau si elles ne sont pas colmatées.
- La diminution de la qualité du collage entre les couches bitumineuses et les couches de matériaux traités aux liants hydrauliques entraîne une ramification et un dédoublement de la fissuration transversale ; cette évolution peut conduire à la dégradation de la partie supérieure de la couche de fondation qui s'accompagne de remontées de boues, d'une fissuration en "delta" en bord de chaussée et d'arrachements.
- L'attrition des lèvres de fissures diminue l'engrènement entre les dalles et dégrade donc les transferts de charge ; cette dégradation entraîne un accroissement des efforts de traction-flexion à la base de la couche de fondation ainsi qu'une augmentation des contraintes verticales sur le support de l'assise.
- Par ailleurs, la répétition des contraintes de traction-flexion dans la couche de fondation, voire dans la couche de base, entraîne l'apparition d'une fissuration longitudinale dans les bandes de roulement qui évolue vers le faïençage.

### **I.5.5 Les chaussées à structure inverse :**

#### **I.5.5.1 Fonctionnement :**

La rigidité élevée de la couche de fondation assure la protection de son support contre les contraintes verticales engendrées par le trafic. Cette couche de fondation sera sujette à la fissuration transversale sous l'effet des retraits de prise et thermique. Comme pour les chaussées à structure mixte, la densité de cette fissuration transversale sera limitée par la présence de la couverture bitumineuse et de la couche en grave non traitée, Par ailleurs, cette couche de fondation travaillera en traction-flexion.

La couche de grave non traitée a pour fonction d'éviter la remontée des fissures de retrait thermique et de prise à la surface de la chaussée. Elle doit résister aux contraintes qu'elle subit et ses caractéristiques de rigidité doivent limiter le travail en flexion de la couverture bitumineuse, Pour garder sa rigidité elle doit être bien drainée. La couverture bitumineuse assure l'étanchéité et l'uni ; sa qualité et son épaisseur doivent lui permettre de supporter les efforts de traction-flexion aux quels elle est soumise en raison de la nature de son support.

#### **I.5.5.2 Mode de dégradation :**

Le développement des chaussées à structure inverse est récent et les observations des dégradations peu nombreuses. L'évolution caractéristique de ce type de chaussée devrait être voisine de celle des chaussées à structure mixte. Elle devrait s'en distinguer par une moindre remontée de la fissuration transversale qui, si elle se produit, devrait rester fine.

Ce type de chaussée pourrait également subir un léger orniérage provenant d'une déformation de aggrave. La pénétration et l'accumulation de l'eau dans le grave non traitée accélérera le processus d'endommagement.

### **I.5.6 Les chaussées en dalles de béton :**

#### **I.5.6.1 Fonctionnement :**

Le module d'élasticité élevé du béton de ciment explique que les efforts induits par le trafic sont essentiellement repris en flexion par la couche de béton. Les contraintes de compression transmises au sol sont donc faibles tant que les conditions d'appui des dalles restent bonnes. Le retrait de prise et le retrait thermique du béton sont contrôlés par les joints sciés formant des dalles de longueur suffisamment courte pour que le retrait n'engendre pas de contrainte

significative. Ces contraintes de traction sont d'autant plus faibles que la dalle est mieux désolidarisée de son support.

Les variations journalières de température induisent des gradients thermiques dans les dalles. Ces gradients ont tendance à déformer les dalles mais cette déformation est contrariée par le poids propre des dalles. Il en résulte à la fois une modification des conditions d'appui des dalles et un développement de contraintes qui amplifient les effets du trafic.

### **I.5.6.2 Mode de dégradation :**

Les chaussées en dalles de béton de ciment se dégradent essentiellement sous l'effet de l'accumulation des contraintes de traction par flexion à la base des dalles. Celle-ci induit une fissuration qui peut apparaître en coin de dalle, être longitudinale ou oblique.

La variation des conditions d'appui des dalles provoque leur battement qui, associé aux infiltrations d'eau, entraîne l'érosion du support. Cette érosion s'accompagne de rejets de pompage qui accentuent les battements de dalles et conduisent à un décalage des joints (mise en escalier).

En surface, les chaussées en dalles de béton de ciment se dégradent surtout par écaillage dû aux chocs thermiques ou mécaniques, ou à de mauvaises conditions de mise en œuvre du béton.

### **I.7 Conséquences des dégradations sur la sécurité et le confort :**

#### **I.7.1 Conséquences sur la sécurité :**

Les routes dégradées, qui présentent des nids de poule, des fissures et un revêtement irrégulier, augmentent le risque d'accidents graves car elles affectent la stabilité du véhicule et la maîtrise du conducteur. Un véhicule circulant sur une chaussée endommagée transmet des vibrations (d'intensité variable) par sa suspension et ses pneus, ce qui peut affecter la vision et la motricité du conducteur. Cela réduit également l'efficacité du freinage en accélérant l'usure des composants du véhicule et en réduisant l'adhérence des pneus, ce qui crée des risques importants pour la sécurité du conducteur.

Selon les statistiques de l'ONISR, en ce qui concerne les facteurs liés aux accidents mortels de l'année 2015, la part des accidents impliquant au moins un facteur infrastructure est de

26,92%. L'adhérence d'un véhicule diminue avec l'usure du revêtement de la chaussée, ce qui pourrait avoir un impact significatif sur la sécurité routière. [8]. [9].

### I.7.2 Conséquences sur le confort et les coûts :

Le mauvais état des routes endommage les pneus, les amortisseurs et les autres composants de la suspension des véhicules, provoquant des vibrations et du bruit dus au frottement des pneus sur la chaussée endommagée, réduisant ainsi le confort de conduite.

Un réseau routier en mauvais état augmente également les coûts d'entretien et de réparation des véhicules. Selon l'indice international de rugosité (IRI), une augmentation de la rugosité de la chaussée de plus de 4 mètres/km augmente les coûts de réparation et d'entretien des véhicules de 10 %. Et si est de 5 mètres/km, l'augmentation de ces coûts dépasse 40 % pour les voitures particulières et 50 % pour les poids lourds.

Il en résulte également une augmentation de la consommation de carburant et des émissions de dioxyde de carbone. Selon une étude menée par l'Association routière espagnole, rouler sur une route en mauvais état augmente les émissions de dioxyde de carbone des véhicules de 6 %. Plus précisément, si la chaussée est gravement endommagée et présente des dommages structurels (nids de poule, fissures, déformations, etc.), les véhicules légers peuvent émettre jusqu'à 9 % de dioxyde de carbone en plus, et les poids lourds, 6 % de plus. Si la surface de la route est modérément endommagée ou si les dommages sont superficiels, les émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules légers et lourds augmentent respectivement de 1 % et de 4 %. [8]. [9].

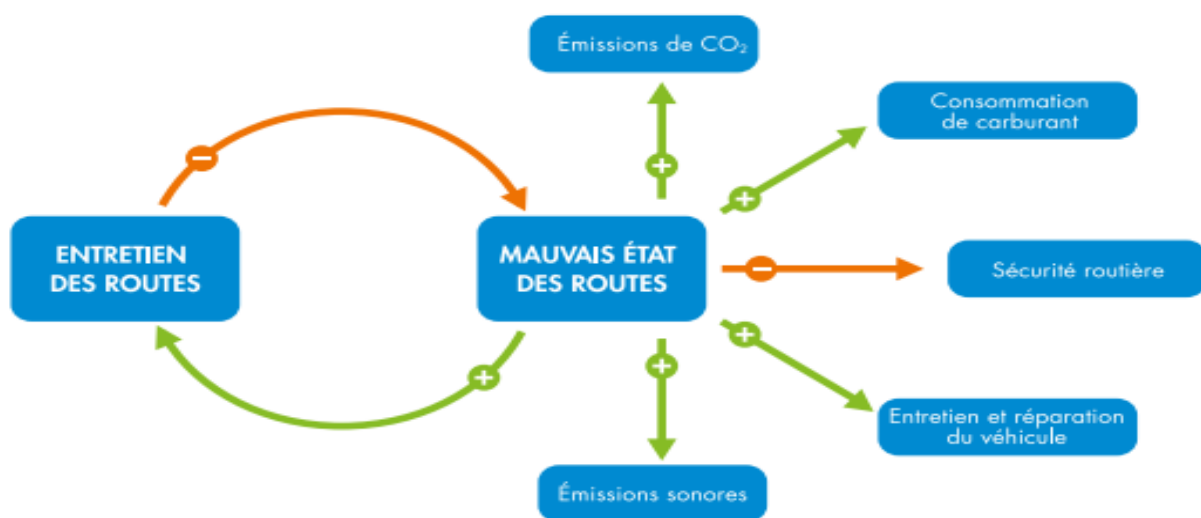


Figure I.19 : Interactions liées à l'état des routes

### I.8 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de décrire la structure générale des chaussées, constituées de trois couches superposées. Nous avons ensuite examiné les différents processus de détérioration, soulignant que les chaussées sont des structures qui se dégradent naturellement au fil du temps sous l'influence de plusieurs facteurs, notamment le trafic, notamment celui des poids lourds, les conditions climatiques telles que les cycles de gel-dégel, les précipitations et les températures extrêmes, ainsi que la qualité des matériaux utilisés. Ces dégradations ont un impact direct sur la sécurité des usagers en augmentant les risques d'accident et en réduisant le confort de conduite. Elles entraînent également une augmentation de la consommation de carburant et des coûts d'entretien. Par conséquent, une gestion efficace et un entretien régulier sont essentiels pour prolonger la durée de vie des routes et garantir des conditions de sécurité et de confort aux usagers.

# **Chapitre II**

## **Méthodologies de Diagnostic des Chaussées**

### II.1 Introduction

Avec le vieillissement des infrastructures et l'augmentation de l'utilisation des routes, la sécurité et l'entretien des systèmes de transport sont devenues nécessaires. Et que les routes sont soumises à de nombreux facteurs externes qui provoquent leur détérioration en plus des canaux d'égout des routes, qui sont exposées à l'érosion des sols en raison de leurs erreurs, tout cela constitue une préoccupation particulière. L'apparition de cavités dispersées le long des canaux de drainage sous les routes conduit également à une fuite d'eau, ce qui entraîne l'effondrement de la surface, ce qui représente une menace pour la sécurité et provoque de grands coûts de réparation.

La démarche sécurité des usagers sur les routes existantes (SURE) fait l'objet d'une collection de 4 guides : le guide "présentation et management" [10], destiné aux chefs de projets SURE (il s'agit, le plus souvent, des chefs de services en charge de l'entretien et de la gestion du réseau, que ceux-ci soient en collectivité territoriale ou dans la fonction publique d'État), regroupe toutes les informations et conseils nécessaires au bon pilotage de la démarche. Il explicite notamment l'historique et la philosophie de la démarche ;

- trois guides techniques relatifs à :
  - l'étude d'enjeux pour la hiérarchisation des itinéraires,
  - l'établissement du diagnostic de l'itinéraire et pistes d'actions [10].
  - la planification, l'élaboration, et réalisation des actions [11].

L'évaluation ne fait pas l'objet d'un guide spécifique. Elle est intégrée dans les guides "Présentation et management", "Diagnostic de l'itinéraire et pistes d'actions" et "Plan d'actions et réalisation des actions".

Les différentes opérations inhérentes à la démarche sont résumées dans le schéma directeur d'organisation ci-dessous (connaître l'accidentalité, la comprendre, la combattre puis évaluer les actions et la démarche dans son ensemble).

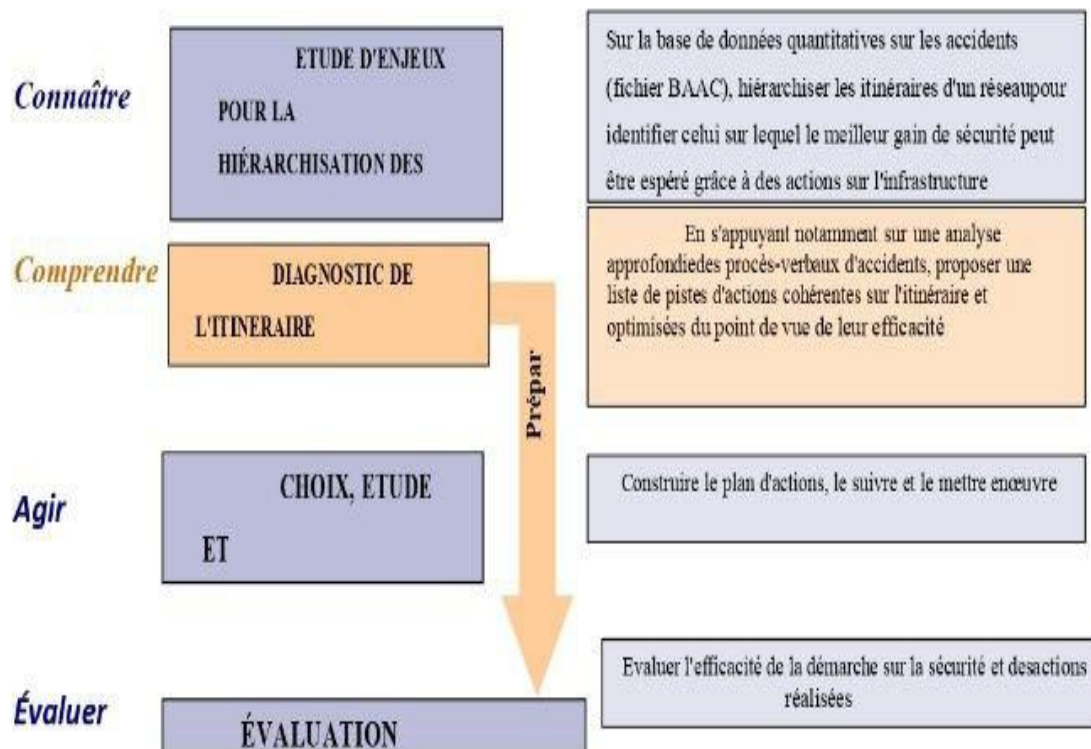


Figure II.1: Schéma de diagnostic et d'évaluation de la détérioration

### Des infrastructures routières

#### II.2 Méthodes d'observation et de classification des dégradations :

Les méthodes d'observation et de classification des dégradations des chaussées sont essentielles pour optimiser l'entretien des infrastructures routières. Ces processus combinent des techniques d'auscultation (évaluation technique) et des systèmes standardisés de catégorisation des défauts. [12].

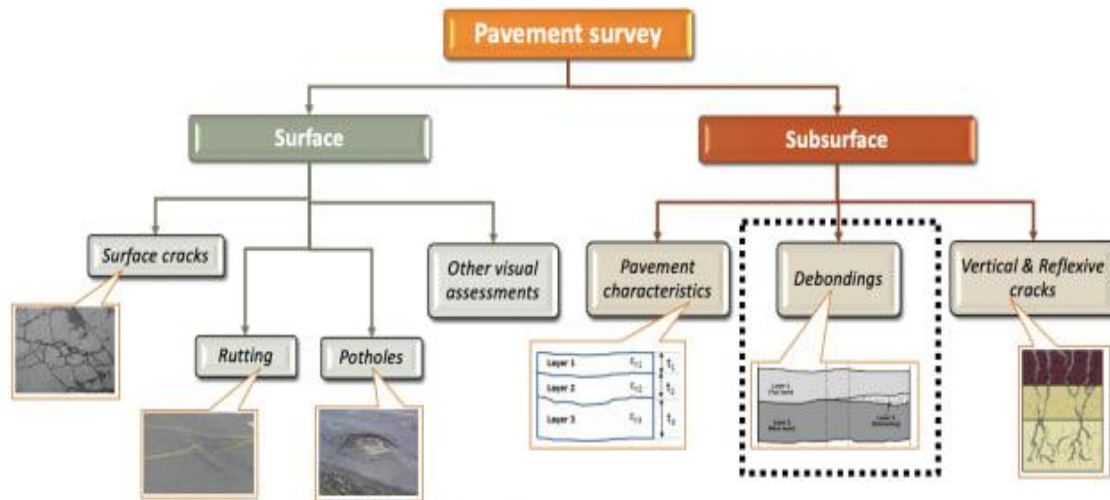


Figure II.2 : Evaluation de la chaussée en surface et en su surface

### II.2.1 Inspection visuelle sur site :

La saisie des dégradations se fait visuellement, à pied ou à bord d'un véhicule parcourant la chaussée à faible vitesse (entre 5 et 7 km/h). Les deux inconvénients majeurs de cette méthode sont la vitesse faible lors de l'inspection et l'insécurité pour les agents et les usagers de la route. L'idée est de leur apporter les images de la surface des chaussées dans leur laboratoire par l'intermédiaire de photos ou de vidéos. [12].



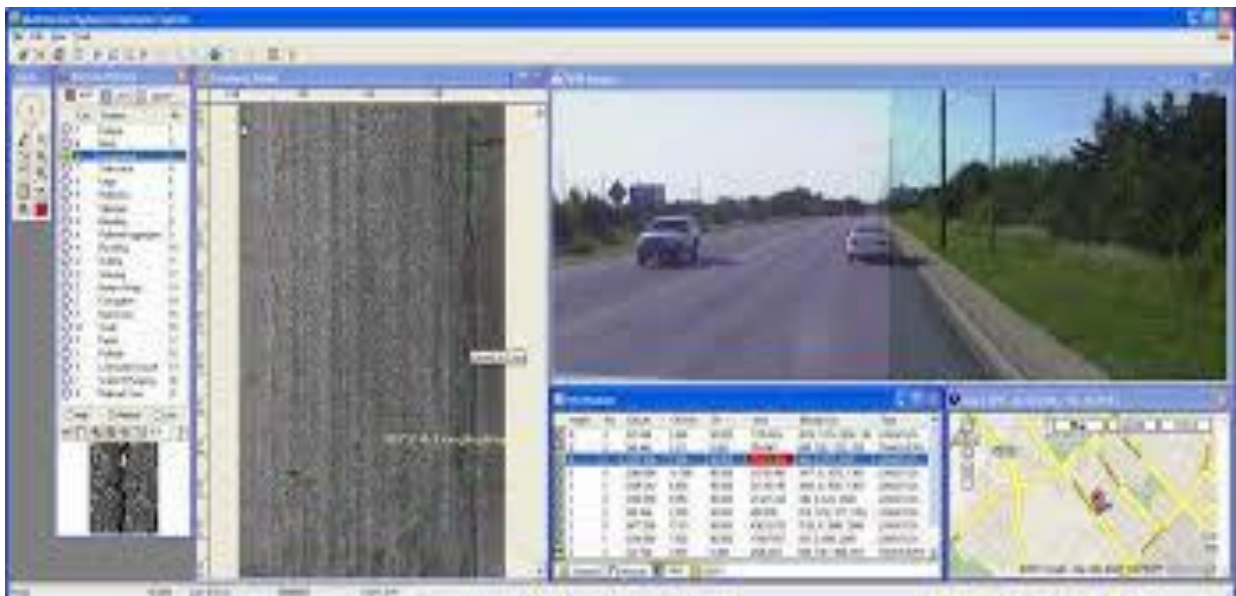
Figure II.3 : l'inspection visuelle des voiries

### II.2.2 l'inspection visuelle des voiries :

Cette deuxième méthode se décompose en deux étapes. La première consiste à acquérir et à sauvegarder les données de surface de la chaussée (photos ou vidéos). La deuxième étape, le relevé de dégradations, est effectuée en consultant ces données à l'aide d'un ordinateur et de logiciels permettant de visualiser et de noter les dégradations.

L'appareil SIRANO (Système d'Inspection des Routes par Analyses Numériques et Optiques) est le premier système utilisé en France pour acquérir des images de la surface de chaussées. Ce système utilise des caméras analogiques avec des pellicules argentiques. L'image est capturée de nuit avec un éclairage de scène artificiel et constant. Le SIRANO reste limité à des opérations nocturnes. De plus, son matériel devient obsolète. Il a été remplacé par l'Appareil Multifonction d'Auscultation des Chaussées (AMAC®).

Pour l'AMAC®, développé par la société Vectra, la partie prise d'images est réalisée à l'aide du système LRIS (Laser Road Imaging System) de l'Institut National d'Optique du Canada (INO). Cette solution permet l'acquisition d'images numériques de très haute résolution de la surface des chaussées indépendamment des conditions d'éclairage naturel.



**Figure II.4 : Exemple d'inspection manuelle en laboratoire**

Les conditions d'inspection sont grandement améliorées mais des inconvénients demeurent avec cette méthode. Ce travail nécessite une forte intervention humaine : la méthode est donc

coûteuse, subjective et peu rapide. En effet, chaque opérateur ne peut traiter qu'une vingtaine de kilomètres de chaussées par jour. De plus, la pénibilité de l'examen des images en laboratoire introduit une fatigue chez l'opérateur. Et, il est notable que l'exactitude et la fiabilité de l'inspection sont dépendantes de cet état de fatigue et de l'opérateur lui-même.

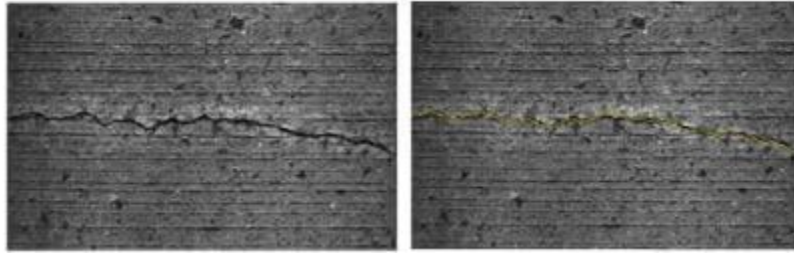
Malgré ces inconvénients, ce type d'inspection manuelle en laboratoire est la seule solution exploitée en France et la plus courante dans le monde. [12].

### II.2.3 Inspection automatique & semi-automatique :

Depuis la fin des années 80, beaucoup d'efforts ont été faits pour réaliser des systèmes capables de détecter et d'évaluer automatiquement les dégradations de chaussée. Une bonne étude de ces systèmes de par le monde a été présentée dans le rapport de Schmidt en 2003. Nous citons trois exemples de ces systèmes.

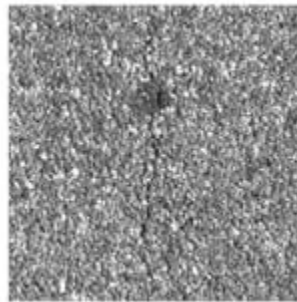
Le premier système automatisé dans le monde a été développé par la multinationale japonaise Komatsu à la fin des années 80 (Fukuyama). Ce système comprend un véhicule d'acquisition et un système informatique embarqué pour mesurer la fissuration. La résolution maximale, de 2048x2048, est obtenue à la vitesse de 10 km / h. Bien que novateur, il présentait des inconvénients. D'une part, il ne fonctionnait que la nuit (afin de contrôler les conditions d'éclairage) et d'autre part, il ne distinguait pas les types de fissures. Il a été utilisé pour les chaussées japonaises.

Le deuxième exemple est le système Road Crack, développé par le CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) et le RTA (Road and Traffic Authority). Ce système automatise la détection et la classification de défauts de type fissure. Il peut détecter des fissures à partir d'une largeur de 1 mm avec une vitesse moyenne du véhicule de l'ordre de 100km/h. Ces performances ont été obtenues sur des chaussées australiennes.



**Figure II.5 : Exemple d'une fissure sur une route australienne et résultat  
De sa détection par le système (Road Crack)**

Le troisième exemple, et le système développé par le groupe Road are (Canada). Il comprend un véhicule pour l'acquisition de données (l'ARAN : Automatique Road Analyser) et un logiciel de détection de fissure nommé Wisecrax. L'acquisition des données est faite avec l'ARAN à une vitesse moyenne de l'ordre de 80 km/h. Les fissures dont la largeur est supérieure à 3 mm sont détectées par traitement d'images après paramétrage par un opérateur. ARAN et Wisecrax ont été utilisés pour des chaussées d'Amérique du Nord.



**Figure II.6 : Exemple d'une fissure sur la chaussée française**

Dans ces trois systèmes, le Komatsu et le Road crack sont des systèmes d'inspection automatique, (sans l'intervention humaine) et en ligne (des données sont traitées "en ligne" sans sauvegarde). Cependant, la solution de Road are est semi-automatique (besoin d'une intervention humaine) et hors-ligne (sauvegarde de données, traitement en différé).

Le système idéal est un système qui n'a plus besoin de l'intervention humaine. Il doit pouvoir acquérir les images de chaussées à haute vitesse dans toutes les conditions d'éclairage naturel et par la suite, il doit être en mesure de détecter tous les types de dégradations de surfaces de chaussées possibles et sur toutes les natures de chaussées envisageables. [12].

### II.2.4 Classifications des dégradations :

Les dégradations sont classées selon leur nature, sévérité et impact structurel. [13].

#### II.2.4.1 Les dégradations structurelles (Type A) :

Elles caractérisent un état structurel de la chaussée, soit lié à l'ensemble des couches et du sol, soit seulement lié à la couche de surface. Ce sont des dégradations issues d'une insuffisance de capacité structurelle de la chaussée. On y trouve essentiellement les déformations et les fissurations par fatigue.

#### II.2.4.2 Les dégradations non structurelles (Type B) :

Encore appelées dégradations superficielles, elles engendrent des réparations qui généralement ne sont pas liées à la capacité structurelle de la chaussée. Leur origine est soit un défaut de mise en œuvre, soit un défaut de qualité d'un produit, soit une condition locale particulière que le trafic peut accentuer. Dans les dégradations de type B, on distingue : Les fissurations (hors fatigue), les arrachements et les mouvements de matériaux.

#### II.2.4.3 Typologie des dégradations (selon le MTQ) :

Ministère des Transports du Québec (MTQ) distingue principalement plusieurs types de dégradations observées sur les chaussées, avec une classification en trois niveaux de sévérité : faible, moyen et majeur. Ces niveaux se basent sur la visibilité et l'impact des dégradations [14].

**Tableau II.1: Synthétique des dégradations courantes**

Catégorie	Types de dégradations	Sévérité	Méthode de mesure
Fissuration	Transversales, longitudinales, en carrelage, de gel.	Faible (<3 mm), Moyen (3-10 mm), Majeur (>10 mm).	Longueur (m), largeur (mm).
Déformations	Ornières, affaissements, soulèvements.	Faible (prof. <10 mm), Majeur (prof.>25 mm).	Profondeur (mm).

Défauts superficiels	Nids de poule, pelade, ressuage.	Faible (surface < 0.1 m <sup>2</sup> ), Majeur (surface > 0,5 m <sup>2</sup> ).	Surface (m <sup>2</sup> )
Dégradations urbaines	Fissures autour des regards, dénivellations.	Impact sur la sécurité (ex. : dénivellation > 10 mm).	Niveau de dénivellation (mm)

### II.3 Techniques d'évaluation des performances des chaussées :

L'auscultation des chaussées constitue une étape cruciale pour évaluer l'état des infrastructures routières, diagnostiquer les dégradations, planifier les interventions d'entretien, et optimiser la durabilité des structures. Ces techniques se divisent en deux grandes catégories : les techniques destructives, qui impliquent une altération physique de la chaussée, et les techniques non destructives, qui permettent une évaluation sans dommages. Cette section décrit en détail les principales techniques d'auscultation, en distinguant les approches destructives et non destructives, avec une explication approfondie de leurs principes, applications, avantages et limites. [15]. [16].

#### II.3.1 Techniques Destructives :

Les techniques destructives sont employées lorsque des données précises sur les propriétés mécaniques ou la composition des matériaux de la chaussée sont nécessaires. Elles impliquent une intervention physique qui altère la structure, nécessitant souvent des réparations ultérieures. Ces méthodes, bien que coûteuses et invasives, offrent une fiabilité élevée pour les diagnostics approfondis, en particulier lorsqu'elles sont combinées avec des analyses en laboratoire. [15]. [16].

##### II.3.1.1 Le carottage :

Le carottage est une technique destructive largement utilisée pour analyser la composition et l'état des différentes couches de la chaussée. Elle consiste à prélever des échantillons cylindriques, appelés carotte, à l'aide d'une carotteuse rotative équipée d'un foret diamanté. Ces carottes permettent d'examiner l'épaisseur des couches (enrobés bitumineux, matériaux granulaires, ou fondation), de détecter des anomalies comme des vides, des déaminations, ou

## Chapitre II : Méthodologies de Diagnostic des Chaussées

---

des infiltrations d'eau, et d'évaluer la qualité des matériaux via des essais en laboratoire, tels que des tests de compression ou d'analyse granulométrique. Selon Créma (2005), le carottage est particulièrement adapté pour valider les résultats d'autres méthodes d'auscultation, comme le géo radar, en fournissant des données physiques concrètes. Ses principaux avantages résident dans la précision des résultats et la possibilité d'effectuer des analyses détaillées, mais elle présente des inconvénients significatifs un coût élevé, un impact localisé sur la chaussée nécessitant une réparation, et un temps d'intervention relativement long, surtout sur des routes à fort trafic. Pour illustrer cette technique. [15]. [16].



**Figure II.7 : Le carottage**

### II.3.1.2 L'essai de plaque :

Elle vise à mesurer la capacité portante de la chaussée ou des sols sous-jacents. Cette technique consiste à appliquer une charge statique ou dynamique sur une plaque métallique posée directement sur la surface de la chaussée, puis à enregistrer la déflexion (déformation) induite à l'aide de capteurs. Les données obtenues permettent d'estimer la rigidité des couches et d'évaluer leur aptitude à supporter les charges de trafic. Comme le souligne l'IDRRIM (2020), les essais de plaque sont particulièrement utiles pour vérifier la qualité des fondations ou des couches de base avant la mise en service d'une chaussée ou lors d'un diagnostic de dégradation. Cette méthode offre des résultats fiables et reproductibles, mais elle est invasive,

nécessitant une interruption temporaire de la circulation, et son coût peut être élevé en raison de l'équipement spécialisé requis. [15]. [16].



**Figure II.8 : L'essai de plaque**

### **II.3.1.3 Les tranchées d'inspection :**

Les tranchées d'inspection représentent une approche destructive plus radicale, utilisée pour un diagnostic approfondi des pathologies complexes. Cette méthode implique le creusement d'une tranchée à travers la chaussée pour observer directement les couches et identifier des anomalies telles que des fissures profondes, des dégradations dues à l'humidité, ou des défauts de compactage. Shani (2022) note que les tranchées sont particulièrement adaptées lorsque les autres méthodes, destructives ou non, ne permettent pas de comprendre pleinement l'origine des dégradations. L'avantage principal réside dans l'observation visuelle directe, qui offre une compréhension claire des problèmes structurels. Cependant, cette technique est très coûteuse, fortement perturbatrice pour le trafic, et entraîne des dommages importants nécessitant des réparations conséquentes. [15]. [16].



**Figure II.9 : Les tranchées d'inspection**

### **II.3.2 Les Techniques Non Destructives :**

Les techniques non destructives (TND) permettent d'évaluer l'état des chaussées sans altérer leur intégrité physique, offrant une solution rapide et économique pour couvrir de grandes surfaces. Elles reposent sur des technologies avancées, telles que les ondes, les lasers, ou les capteurs, et sont particulièrement adaptées au suivi régulier des infrastructures routières. [15]. [16].

#### **II.3.2.1 La réflectométrie :**

Souvent réalisée à l'aide d'un réflectomètre à masse tombante (Fuling Wight Réflectomètre), c'est une technique non destructive de référence pour évaluer la portance des chaussées. Cette méthode consiste à appliquer une charge impulsive sur la chaussée en laissant tomber une masse sur un dispositif équipé d'une plaque, puis à mesurer les déflexions induites à l'aide de capteurs géophones disposés à différentes distances. Ces mesures permettent d'estimer la rigidité des couches, de détecter des vides sous la chaussée, ou d'évaluer la capacité portante globale. La réflectométrie est largement utilisée pour le contrôle qualité des chaussées neuves et le diagnostic des chaussées existantes, notamment sur les autoroutes ou les routes à fort trafic (Créma, 2005). Ses avantages incluent une couverture rapide, des données fiables, et une bonne reproductibilité, mais elle nécessite un équipement spécialisé coûteux et une expertise pour interpréter les résultats, qui peuvent être influencés par des facteurs comme la température ou l'hétérogénéité des matériaux. [15]. [16].



**Figure II.10: La réflectométrie**

### **II.3.2.2 Le géo radar :**

Le géo radar (Ground Penetrating Radar) est une autre technique non destructive qui utilise des ondes électromagnétiques pour cartographier les couches internes de la chaussée. En émettant des impulsions radar à haute fréquence, le géo radar détecte les interfaces entre les couches (par exemple, entre l'enrobé et la couche de base) et identifie des anomalies telles que des vides, des fissures, ou des zones humides. IFSTTAR (2014) souligne que cette méthode est particulièrement efficace pour mesurer l'épaisseur des couches et détecter des défauts invisibles en surface, ce qui en fait un outil précieux pour les campagnes d'auscultation à grande échelle. Le géo radar offre l'avantage d'être non invasif, de couvrir de vastes surfaces rapidement, et de s'adapter à différents types de matériaux (bitumineux, béton, ou granulaires). Cependant, son coût initial est élevé, et l'interprétation des profils radar nécessite une expertise technique pour distinguer les signaux pertinents des bruits parasites. [15]. [16].



**Figure II.11: Géo radar**

### **II.3.2.3 La profilométrie :**

Les mesures d'uni, ou profilométrie, sont utilisées pour évaluer la planéité de la chaussée, un paramètre clé pour le confort de conduite et l'adhérence des véhicules. Cette technique non destructive repose sur des profilométrie laser montés sur des véhicules, qui mesurent les irrégularités de la surface en enregistrant les variations d'altitude à haute fréquence. D'après le Créma (2005), les mesures d'uni sont particulièrement importantes pour vérifier la qualité des chaussées neuves ou réhabilitées et pour détecter des déformations dues à l'usure ou aux charges répétées. Cette méthode est rapide, non invasive, et fournit des données objectives, souvent exprimées sous forme d'indices comme l'IRI (International Rognes Index). Toutefois, elle est limitée à l'évaluation de la surface et ne permet pas de diagnostiquer les pathologies internes. [15]. [16].



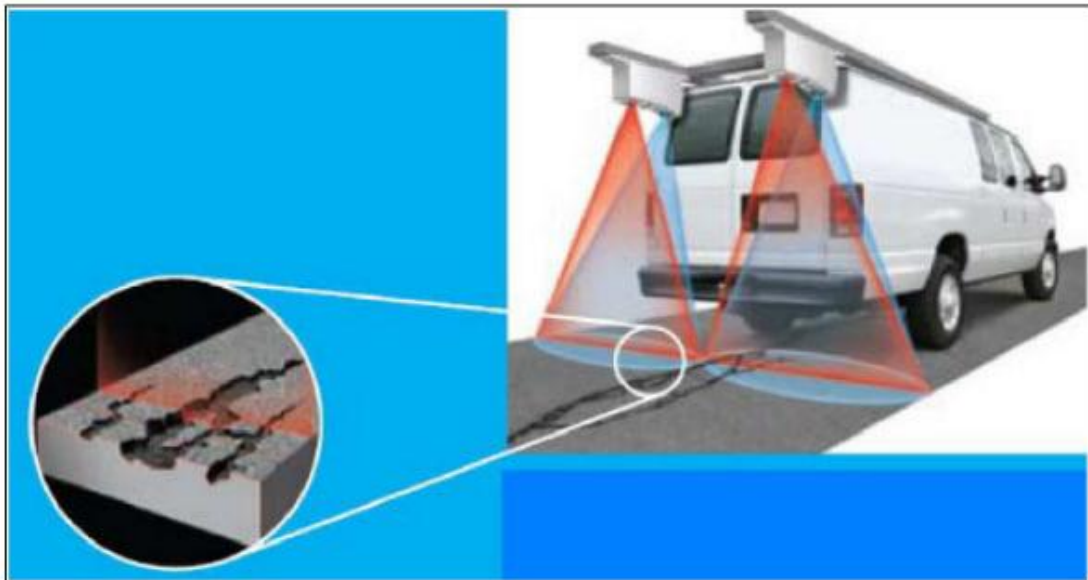
**Figure II.12:Évaluation du nivellement de la surface de la route**

### **II.4 Utilisation des technologies modernes :**

Les nouvelles technologies d'auscultation des chaussées rendent indispensable l'élaboration d'une méthode de relevé adaptée. Les multiples informations nouvelles et automatisées à disposition grâce à ces capteurs constituent une véritable rupture avec les méthodes traditionnelles. Cela nécessite à la fois de redéfinir précisément ce qu'est une dégradation, car elles ne sont pour l'instant définies que visuellement, et de tirer parti des nouvelles grandeurs disponibles pour une meilleure connaissance de l'état de la chaussée et Cela conduit finalement à de meilleurs budgets d'entretien. [17]. [18]. [19]. [20].

### II.4.1 Captations par laser (3D señor) :

Généralement, les défauts de la surface de la chaussée présentent des caractéristiques tridimensionnelles, les chercheurs ont pour cette raison accordé une attention particulière au développement des systèmes qui permettent de reconstruire les chaussées. Les capteurs lasers tridimensionnels (3D señor) permettent de capter les fissurations, nids de poule, le rapiécage, orniérage, et les failles qu'ils détectent sur les trois axes x, y et z. Ces capteurs 3D comprennent plusieurs techniques parmi lesquelles les profileurs laser sont les plus courants. En outre, plusieurs capteurs 3D offrent une approche de détection intégrale en utilisant des mesures de profondeur en combinaison avec l'imagerie et permettent l'acquisition d'images sans l'influence d'éclairage. Ceux-ci peuvent fonctionner jour et nuit, cependant, ils nécessitent que la surface soit sèche. Le gros inconvénient est que cet équipement est très coûteux, cependant les résultats, en pratique, sont irréprochables. La technique mentionnée ci-dessus fournit un profil transversal, cependant, pour plusieurs détériorations, comme par exemple l'IRI, le profil longitudinal est beaucoup plus utile. La figure II.11 présente un exemple des systèmes tridimensionnels, le système LCMS (Laser crack measurement system). [17]. [18]. [19]. [20].



**Figure II.13: System LCMS (Laser crack measurement system)**

### II.4.2 Captations par Lidar :

Similaire à la technologie RADAR, le Lidar (Light Détection And Rangions) capture des détails en éclairant une zone à l'aide de la lumière infrarouge (environ  $1,0 \mu\text{m}$ ) et mesure le temps écoulé entre la transmission du signal et sa réflexion ou a diffusion, la lumière infrarouge est généralement émise à 5000 impulsions par seconde. Cela se traduit par ennuage de points précis à trois dimensions x, y et z.

En raison de la grande vitesse de la lumière, cet équipement est très sensible. Cette méthode est parfaitement adaptée lorsque non seulement la route doit être analysée et qu'un programme de gestion des infrastructures plus complet est envisagé, comprenant par exemple l'analyse de l'état des écrans antibruit, des panneaux de signalisation et des barrières. Le Lidar est souvent utilisé en topographie et dans la création de modèles d'élévation numériques. Lorsqu'il est monté sur un véhicule en mouvement, les surfaces routières peuvent être cartographiées à l'aide du nuage de points 3D. Contrairement à d'autres techniques, le Lidar n'est pas limité par l'angle la lumière et peut être utilisé de jour ou de nuit. Le Lidar peut être utilisé pour évaluer la condition de la chaussée, et permet d'estimer le volume de dégradations afin de calculer la quantité de matériaux de remplissage nécessaire. Les modèles Lidar 3D peuvent être utilisés pour identifier les zones sensibles aux problèmes de drainage et d'inondation avec une précision de 2 cm. [17]. [18]. [19]. [20].



**Figure II.14: Détection des dégâts routiers à l'aide de capteurs LIDAR**

### II.4.3 Rapid Pavement Tester (Raptor):

Le RAPTOR est un appareil d'auscultation non destructif pour l'évaluation de la surface et de la structure de chaussée. Cet appareil, de la famille des RWD, roule entre 2 et 100 km/h. Il s'intègre parfaitement dans le trafic et offre une collecte de données en continu.

Cet appareil détermine la déflexion de la chaussée à l'aide de 9 à 24 lasers disposés entre 3.6 m avant la charge et 1.5 m après son passage. En utilisant la corrélation croisée normalisée sur les images collectées à partir des lasers, il est capable de déterminer la déflexion. La technique de calibration des lasers du Raptor est très précise et ne nécessite que quelques minutes. [17]. [18]. [19]. [20].



**Figure II.15: Raptor**

### II.4.4 La dyn plaque :

L'essai Dyn plaque permet de déterminer le module sous charge dynamique d'une plate-forme, fournissant ainsi des informations sur sa capacité portante. Il est particulièrement utile dans l'évaluation des sols compactés des infrastructures routières, permettant de vérifier leur aptitude à supporter des charges de service.

Cette méthode s'applique aux matériaux classés avec une granulométrie maximale  $D_{max} \leq 200$  mm. Elle ne mesure pas directement le degré de compactage, mais la capacité portante de la plate-forme, c'est-à-dire son aptitude à supporter des charges sans déformation excessive.

L'essai consiste à appliquer au sol trois charges dynamiques successives à travers une plaque rigide de 600 mm de diamètre. La charge est générée par la chute libre d'une masse, qui percute la plaque avec un élément amortisseur viscoélastique (dans le cas de Dyn plaque 2) ou

## Chapitre II : Méthodologies de Diagnostic des Chaussées

par des ressorts métalliques (dans le cas de Dyn plaque 1). À partir du troisième impact, on calcule le module sous charge dynamique (EDYN), qui caractérise la rigidité de la plateforme. [17]. [18]. [19]. [20].



Figure II.16: Appareil Dyn plaque

Tableau II.2: Différence l'essai à la plaque et l'essai à la dyn plaque

Critère	Essai à la plaque statique	Essai à la dyn plaque (dynamique)
Type de chargement	Statique (charge constante)	Dynamique (charge par chocs)
Norme	NF P94-117-1	NF P94-117-2
Fréquence d'essais	Jusqu'à 10 par heure	Jusqu'à 60 par heure
Profondeur d'influence	1 à 2 m	1 à 2 m
Représentativité	Moins proche des conditions	Simule mieux le passage

	réelles	d'essieux lourds
Modules mesurés	20 à 250 MP	20 à 250 MP

Les deux méthodes donnent des résultats similaires en termes de coefficient de cohésion, mais le test dyn plaque est plus rapide et plus adapté pour simuler des conditions réelles de charge du sol, notamment dans les projets routiers. [17]. [18]. [19]. [20].

### II.5 Conclusion

Dans tous les cas, les routes se dégradent sous l'effet du trafic et des conditions climatiques. Ce travail est exclusivement consacré au diagnostic des causes et à la sélection des tests permettant de confirmer leur présence ou leur absence. L'outil de diagnostic développé permet de confirmer les causes spécifiques des défauts de surface, en réalisant des tests visant à caractériser la structure exposée au mécanisme de détérioration.

La collecte et l'analyse des données liées au trafic, à l'état visuel et à la capacité de déformer différentes couches sont nécessaires pour développer un diagnostic fiable. Ce diagnostic aide à concevoir des solutions de maintenance ou de renforcement appropriées, ce qui contribue à améliorer la durabilité des trottoirs.

Par conséquent, les méthodologies de diagnostic actuelles, en fonction des outils avancés et des critères spécifiques, sont essentielles pour gérer les actifs routiers de manière optimale tout en réduisant les coûts d'entretien et en assurant la sécurité et le confort des usagers de la route. Il permet la transition de la simple collecte d'informations à une analyse en profondeur de la performance structurelle des chaussées, qui est une base indispensable pour mettre en œuvre des interventions permanentes.

Cette étape intégrée et progressive reflète les développements qui ont été faits pour comprendre le comportement mécanique des chaussées et pour développer des solutions techniques efficaces pour leur maintenance et leur renouvellement.

**Chapitre III**  
**REPARATIONS ET ENTRETIEN**  
**DES DEGRADATIONS**

### **III.1 Introduction**

Ce chapitre vise à familiariser le lecteur avec l'état et l'entretien des routes. Une description précise des perturbations existantes est sans aucun doute un élément à prendre en compte lors de l'établissement d'un diagnostic, notamment en ce qui concerne les besoins de renforcement et le choix des techniques d'entretien. L'entretien et la réparation des dommages causés aux chaussées sont des mesures essentielles pour garantir la sécurité, le confort et la durabilité des infrastructures routières. Sous l'influence du trafic, des conditions climatiques et du vieillissement des matériaux, les chaussées subissent diverses dégradations, qui peuvent rapidement s'aggraver si elles ne sont pas traitées. Ces interventions permettent non seulement de restaurer la fonctionnalité et l'imperméabilité de la surface, mais aussi de prévenir des dommages plus graves, qui nécessiteraient des réparations coûteuses. Selon la nature et la gravité des défauts, les interventions peuvent aller de simples réparations locales à une réhabilitation complète, utilisant des technologies modernes et innovantes qui améliorent la durabilité et réduisent les coûts.

### **III.2 Objet de l'entretien :**

Le but de l'entretien est de préserver le bien, non de l'améliorer. Contrairement aux grands travaux routiers, les travaux d'entretien doivent être effectués régulièrement. L'entretien des routes comprend « les activités visant à maintenir le revêtement, les accotements, les talus, les équipements de drainage et toutes les autres structures et installations situées sur l'emprise des routes dans un état aussi proche que celui qui était le leur au moment de leur construction ou de leur remise en état ». En font partie toutes les réparations mineures et les améliorations en vue d'éliminer les causes des défauts et imperfections et d'éviter une répétition excessive des travaux d'entretien. À des fins de gestion et d'exploitation, on établit une distinction entre l'entretien courant, l'entretien périodique et l'entretien d'urgence. [21].

### III. 3 Les différentes typologies d'entretien :

En fonction du moment d'intervention pour la réalisation de l'entretien - avant que des défauts significatifs ne surviennent, lorsque des défauts graves sont observés ou lorsque les défauts ont conduit à une détérioration sérieuse du corps de chaussée - celui-ci sera plus ou moins lourd. La classification suivante est proposée. [22]. [23]. [24].

#### III. 3. 1 Entretien préventif :

L'entretien préventif est par définition le plus économique s'il est pratiqué au bon moment, ni trop tôt, ni trop tard. Il existe de nombreuses techniques d'entretien préventif, qui doivent être choisies en fonction des enjeux de chaque site afin d'optimiser le coût par an, en prenant en compte le coût au m<sup>2</sup> et la fréquence d'entretien. Un entretien préventif réalisé trop tardivement peut s'avérer inefficace et aboutir à la nécessité d'un entretien curatif à court terme. Il s'agit en général d'un entretien programmé. Il permet de maintenir un niveau de service satisfaisant tout en préservant la structure de la chaussée. [22]. [23]. [24].

##### III. 3. 1. 1 Revêtements superficiels :

Les revêtements superficiels (Enduits superficiels d'Usure (ESU), Matériaux Bitumineux Coulés à Froid (MBCF) et Revêtements Superficiels Combinés (RSC)) sont trois types de revêtement réalisés in situ en couche très mince, de l'épaisseur du gravillon utilisé. Ils permettent d'assurer la sécurité et l'imperméabilisation de la chaussée sans nécessiter de fraisage préalable. Ces revêtements présentent un caractère particulièrement peu coûteux au m<sup>2</sup>.

C'est notamment sur le réseau départemental et communal que les revêtements superficiels (ESU, MBCF et RSC) trouvent tout leur intérêt technique (imperméabilité et adhérence), dès lors que l'assise de la chaussée n'est pas atteinte. Si les revêtements superficiels sont d'abord préconisés pour traiter les problèmes de surface, ils peuvent également constituer des solutions d'attente pour préserver une assise de chaussée atteinte dans l'attente de la mise en œuvre de solutions d'entretien plus lourdes.

Ces trois techniques ont en effet des domaines d'emploi très voisins et le choix s'effectuera après avoir analysé les paramètres suivants :

## Chapitre III : Réparations et entretien des dégradations

- Les objectifs visés : étanchéité, adhérence, limitation du bruit, aspect de surface, limitation du rejet ;
- Contraintes liées au site (agglomération et hors agglomération) et au trafic (faible à élevé) ;
- Limites d'emploi : Caractéristiques et état du support (homogénéité, déformations, niveau de déflexion par rapport aux classes de trafic, fissuration). [22]. [23]. [24].

**Tableau III. 1 : Techniques de revêtement superficiel**

	ESU	MBCF	RSC
<b>Définition</b>	Enduit Superficiel d'Usure. Monocouche, bicouche ou prégravillonnés (plus « épais »).	Matériau Bitumineux Coulé à Froid. Revêtement à froid de faible épaisseur en une ou deux couches.	Revêtement Superficiel Combiné. Association d'une couche type Enduit Superficiel et d'un MBCF.
<b>Domaine d'emploi / trafic</b>	Toutes chaussées, le plus souvent sous faible et moyen trafic	Toutes chaussées, le plus souvent sous faible et moyen trafic	Toutes chaussées, le plus souvent sous faible et moyen trafic
<b>Imperméabilisation</b>	Très efficace durablement	Bonne efficacité	Très efficace durablement
<b>Adhérence</b>	Très bonne	Bonne	Bonne
<b>Amélioration de l'uni</b>	Non	Reprofilage d'ornièrre jusqu'à 1 cm, en bicouche	Non
<b>Durée de vie</b>	13 à 15 ans	8 à 9 ans Monocouche 8 à 14 ans en bicouche	Technique récente : supérieure à 10 ans
<b>Avantage spécifique</b>	Technique très économique, forte imperméabilisation et forte macrotexture, capacité de reprise de certaines hétérogénéités du support pour les ESU « épais » pré-gravillonnés	Technique très économique à faible rejet. Aspect enrobé. Revêtement superficiel moins bruyant que les ESU.	Technique économique. Imperméabilisation apportée par l'ES et aspect des MBCF. Faible rejet. Bon niveau d'adhérence à terme. Revêtement superficiel moins bruyant que les ESU.
<b>Limites d'emploi</b>	Revêtement bruyant. Précautions à la remise en service. Risque de rejet au jeune âge.	Déformabilité du support : imperméabilisation peu durable en cas de fissuration active. Peu adapté aux fortes sollicitations hivernales.	Précautions à la remise en service. Peut générer un glaçage sous très fort trafic : adapter qualité du liant et dosages.
<b>Ordre de grandeur des coûts *</b>	2 à 4 €/m <sup>2</sup>	3 à 4 €/m <sup>2</sup> en monocouche 4 à 6 €/m <sup>2</sup> en bicouche	5 à 8 €/m <sup>2</sup>

## Chapitre III : Réparations et entretien des dégradations

### III. 3. 1. 2 Enrobés bitumineux à chaud :

Les enrobés bitumineux à chaud, également réalisables à température abaissée (tiède), sont largement employés en entretien, en rechargement ou après fraisage. Les BBM, BBSG et BBS permettent un certain reprofilage et une contribution structurelle selon leur épaisseur moyenne. Les BBTM et BBUM sont à réserver à des chaussées en très bon état structurel. Ils apportent des caractéristiques d'adhérence, de drainabilité et phonique pour les 0/6. [22]. [23]. [24].

**Tableau III.2: Techniques d'enrobés bitumineux à chaud**

	BBUM	BBTM	BBM	BBSG	BBS
<b>Définition</b>	Béton Bitumineux Ultra Mince	Béton Bitumineux Très Mince	Béton Bitumineux Mince	Béton Bitumineux Semi Grenu	Béton Bitumineux Souple
<b>Domaine d'emploi / trafic</b>	25 à 40 kg/m <sup>2</sup>	20 à 30 mm	30 à 50 mm	50 à 90 mm	Épaisseur variable, 4 à 12 cm
<b>Imperméabilisation</b>	Nécessité d'imperméabiliser le support (couche d'accrochage fortement dosée ou revêtements superficiels selon le cas)	Nécessité d'un support imperméabilisé (couche d'accrochage fortement dosée ou revêtements superficiels selon le cas)	Bonne efficacité	Bonne efficacité	Bonne efficacité durablement
<b>Adhérence</b>	Très bonne adhérence	Très bonne adhérence	Bonne adhérence durablement	Acceptable	Acceptable
<b>Amélioration de l'uni</b>	Non	Déformation maximale 10 mm	Déformation maximale 15 mm	Déformation maximale 20 mm	Fort pouvoir de reprofilage
<b>Durée de vie</b>	8 à 10 ans Bitume modifié recommandé Sensibles à l'affinité liant granulat et météorologie	≥ 8 ans avec bitume pur ≥ 12 ans avec bitume modifié Sensibles à l'affinité liant granulat et météorologie	13 à 20 ans Bitume modifié Recommandé pour trafic ≥ T2	13 à 20 ans	14 à 16 ans
<b>Avantage spécifique</b>	Economique pour restaurer une forte adhérence	Revêtement peu bruyant à forte adhérence pour fort trafic	Allie les qualités d'imperméabilisation, d'adhérence et de reprofilage, avec un niveau de bruit limité Peut contenir une proportion de recyclé	Bonne capacité de reprofilage et d'imperméabilisation, apport structurel. Peut contenir une forte proportion de recyclé	Bien adapté aux supports souples et aux climats rigoureux Peut contenir une forte proportion de recyclé
<b>Limites d'emploi</b>	Nécessité d'un support en très bon état (planéité et absence de fissuration)	Inadapté aux supports de mauvaise qualité (planéité, fissuration)	--	--	Inadapté aux trafics ≥ T2. Macrotecture faible
<b>Ordre de grandeur des coûts</b>	Environ 6 €/m <sup>2</sup>	8 à 10 €/m <sup>2</sup>	10 à 12 €/m <sup>2</sup>	14 à 20 €/m <sup>2</sup> selon épaisseur	12 à 14 €/m <sup>2</sup>

## Chapitre III : Réparations et entretien des dégradations

### III. 3. 1. 3 Enrobés bitumineux à l'émulsion :

Les bétons bitumineux à l'émulsions (BBE) sont encore très inégalement développés sur le territoire. Certaines régions ont acquis une forte expérience avec ces techniques. Leur efficacité sous des trafics moyens a ainsi été démontrée et leur durée de vie est proche des techniques à chaud lorsque la maîtrise du produit est bonne.

Les bétons bitumineux à l'émulsion présentent une très grande flexibilité d'emploi, une bonne capacité de reprofilage et s'accommodent bien des supports souples ainsi que des climats montagneux.

Ils permettent de couvrir la gamme d'épaisseur allant de très mince (TM, 2 à 3 cm) à mince (M, 3 à 5 cm) et épais (E, 5 à 8 cm) avec des granularités allant de 0/6 à 0/14. Les BBE de type 1 (TM ou M) sont très souples et sont limités en utilisation au trafic T3.

Les BBE de type 2 (TM, M ou E) ont des caractéristiques mécaniques supérieures et peuvent être employées jusqu'au trafic T2. [22]. [23]. [24].

Tableau III.3: Techniques d'enrobés bitumineux à l'émulsion

	DÉFINITION	DOMAINE D'EMPLOI	DURÉE DE VIE	IMPERMÉABILISATION	AVANTAGE SPÉCIFIQUE	COÛT	LIMITES D'EMPLOI
BBE	Béton Bitumineux à l'émulsion	20 à 80 mm	Durée de vie supérieure à 10 ans pour une mise en œuvre dans de bonnes conditions Dépend du trafic et de la formulation	Bonne	Correction des déformations modérées et nouvelle couche de roulement	8 à 12 €/m <sup>2</sup>	Inadapté aux trafics > T2 et aux efforts tangentiels importants

### III. 3. 2 Entretien curatif (ou palliatif) :

L'entretien curatif consiste à réparer la chaussée lorsque les dégradations apparues par défaut d'entretien préventif ou du fait d'une autre cause deviennent inacceptables, soit pour des raisons de sécurité, soit pour des raisons économiques ou sociales. A ce niveau, la durée de vie résiduelle de la chaussée est déjà réduite et les travaux à entreprendre dépassent l'entretien préventif et sont significativement plus coûteux. Cependant, lorsque les niveaux de services attendus sont modérés, les entretiens curatifs peuvent être satisfaisants pour un coût limité. Attendre l'apparition de certains désordres pour réaliser un entretien peut être parfois un choix pour des chaussées de très faible importance. Dans certains cas, un entretien curatif peut rendre une durée de vie relativement longue à des chaussées à trafic modéré, ceci permettant de différer une réhabilitation lourde. Une bonne évaluation des causes des désordres, du trafic et des objectifs est nécessaire. [22]. [23]. [24].

#### III. 3. 2. 1 Enrobés à chaud :

Une large palette de produit est disponible pour l'entretien curatif. L'étude de la chaussée en place et la connaissance du trafic permettent de sélectionner la solution optimale. Dans un certain nombre de cas, cette étude conduit à des solutions en enrobés à chaud épaisses en une ou deux couches. Les enrobés à chaud comme les BBM, BBSG, et BBS sont donc fréquemment utilisés en entretien curatif (se référer au tableau 2).

Il peut être nécessaire de précéder leur mise en œuvre par un reprofilage en grave bitume (GB). [22]. [23]. [24].

#### III. 3. 2. 2 Enrobés à l'émulsion :

Des solutions plus économiques sont souvent possibles pour des trafics faibles ou moyens avec des produits à l'émulsion tels que les BBE (se référer au tableau 3), la grave émulsion de reprofilage (GE R) ou la grave émulsion structurante (GE S) revêtues d'une couche de roulement de type revêtement superficiel (voir tableau 1).

Le développement de ces produits est encore inégal sur le territoire français et des écarts de prix ou de disponibilité peuvent être encore constatés en fonction des régions. L'augmentation

de la demande permettra d'homogénéiser les pratiques sur le territoire. En outre, ces techniques à l'émulsion ont une empreinte carbone réduite par rapport aux produits chauds.

Leur utilisation constitue une contribution à l'effort sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre. [22]. [23]. [24].

### III. 3. 2. 3 Revêtement superficiel combiné :

La technique des RSC permet d'imperméabiliser les chaussées fatiguées et fissurées et de constituer une couche de roulement homogène à moindre coût et en très faible épaisseur. Les petits défauts de profil sont également corrigés. Cette technique ne présente pas de pouvoir de renforcement structurel à proprement parler mais en imperméabilisant efficacement la chaussée, elle améliore la portance du support et améliore ainsi la qualité de l'assise. Sur des chaussées fortement fissurées, des RSC armés de fibres (par exemple de verre) devront être employés. Ils permettent de différer un entretien curatif beaucoup plus coûteux dans bon nombre de cas et ainsi étaler la dépense en cas de budget insuffisant. [22]. [23]. [24].

### III. 3. 2. 4 Retraitement en place :

Les retraitements en place sont également de bonnes solutions d'entretien curatif présentant un fort caractère environnemental. Ils permettent de restaurer l'assise de la chaussée tout en rétablissant la qualité du profil en travers. En fonction des désordres, de la constitution de la chaussée et du trafic à supporter, il est possible d'avoir recours au retraitement à l'émulsion, au liant hydraulique ou à une solution mixte. Ces matériaux retraités nécessitent généralement un enduit de scellement (ou de cure) suivi par une couche de roulement bitumineuse imperméabilisante en protection. Le choix de cette couche de roulement se fait parmi les revêtements superficiels ou les enrobés bitumineux présentés dans les chapitres précédents, en fonction des objectifs sur les caractéristiques de surface.

Dans certains cas, le recyclage en place à l'émulsion permet de renouveler simplement la couche de roulement. De plus, il permet de gérer le cas où les matériaux en place contiennent des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) à un taux qui nécessiterait leur mise en installations de stockage de déchets dangereux ou non dangereux (ISDD ou ISDND) selon leur concentration. [22]. [23]. [24].

## Chapitre III : Réparations et entretien des dégradations

Tableau III.4: première partie : Solutions de rechargement et de retraitement

	ENROBÉS DE REPROFILAGE	GE R	GE S	RETRAITEMENT EN PLACE AU LIANT HYDRAULIQUE	RETRAITEMENT EN PLACE À L'ÉMULSION	RETRAITEMENT EN PLACE MIXTE
<b>Définition</b>	Grave bitume (GB2 ou GB3) ou béton bitumineux	Grave émulsion de reprofilage	Grave émulsion structurante	Recyclage in situ du corps de chaussée au liant hydraulique	Recyclage in situ à l'émulsion de bitume	Recyclage in situ du corps de chaussée au liant hydraulique et à l'émulsion
<b>Domaine d'emploi / trafic</b>	Chaussées très déformées (profils en travers et longitudinal) Réalisation de purges Tous trafics	Chaussées très déformées (profils en travers et longitudinal) Réalisation de purges Tous trafics < T2	Chaussées déformées et fatiguées. Réalisation de purges Tous trafics ≤ T1	Chaussées très fatiguées, augmentation de trafic / renforcement Tous trafics	Couches bitumineuses décollées ou très vieilles, augmentation de l'épaisseur la base bitumineuse Trafic ≤ T1	Selon la proportion des liants : domaine du retraitement aux liants hydrauliques ou à l'émulsion
<b>Imperméabilisation</b>	Partielle Nécessite une couche d'accrochage et une couche de roulement	Oui mais nécessite une couche de roulement	Partielle Nécessite une couche d'accrochage et une couche de roulement : ESU, MBCF, RSC	Non. Corps de chaussée à recouvrir par un enduit de cure et au moins un revêtement bitumineux épais imperméabilisant Prévoir système anti-fissure	Partielle. Cette assise ou liaison est à recouvrir par un enduit de scellement et une couche de surface imperméable : ESU, MBCF, RSC, BBE, BBSG ou BBS	Idem retraitement aux liants hydrauliques ou à l'émulsion selon le liant prédominant
<b>Amélioration de l'uni</b>	Très efficace	Très efficace	Très efficace	Très efficace avec la couche de roulement épaisse	Très efficace (dépend cependant du type d'atelier et de la couche de roulement)	Très efficace avec une couche de roulement épaisse

## Chapitre III : Réparations et entretien des dégradations

Tableau III.4: deuxième partie : Solutions de rechargement et de retraitement

	ENROBÉS DE REPROFILAGE	GE R	GE S	RETRAITEMENT EN PLACE AU LIANT HYDRAULIQUE	RETRAITEMENT EN PLACE À L'ÉMULSION	RETRAITEMENT EN PLACE MIXTE
<b>Durée de vie (sous réserve d'un éventuel entretien courant ou préventif)</b>	Longue > 15 ans Selon état structurel Risque de rupture si déflexions trop fortes	Longue > 15 ans Très souple, s'adapte aux déformations futures	Longue > 15 ans Très souple, s'adapte aux déformations futures	Longue > 15 ans	Longue > 15 ans	Longue > 15 ans
<b>Avantage spécifique</b>	Forte capacité de reprofilage, durabilité	Très souple supporte déformations, fissuration et climats rigoureux Ne fissure pas Passage à zéro en épaisseur ; version possible avec 100% de recyclage d'agrégats	Reprofilage et apport structurel Supporte déformations, fissuration et climats rigoureux. Ne fissure pas	Fort apport structurel avec un minimum d'apport extérieur de matériaux	Restructuration des chaussées souple avec un minimum d'apport extérieur de matériaux. Se satisfait d'une couche de roulement à l'émulsion	Idem retraitement aux liants hydrauliques ou à l'émulsion selon liant prédominant
<b>Limites d'emploi</b>	Nécessite une épaisseur minimale Zone montagneuse : préférer la GE R	Limitée aux trafics moyens	Nécessite une épaisseur minimale	Etude préalable nécessaire (auscultation, sondages, formulation) Fissuration de retrait à gérer	Etude préalable nécessaire (auscultation, sondages, formulation)	Etude préalable nécessaire (auscultation, sondages, formulation)
<b>Ordre de grandeur des coûts</b>	80 à 100 €/t	40 à 50 €/t	45 à 55 €/t	10 à 12 €/m <sup>2</sup>	Environ 12 €/m <sup>2</sup>	Environ 12 €/m <sup>2</sup>

### III. 3. 3 Entretien courant :

Des désordres de petite ampleur ne reflétant pas l'état global d'une section ou d'un itinéraire peuvent apparaître progressivement ou de manière inopinée. L'entretien courant a pour vocation à traiter ces désordres de façon programmée ou urgente, selon la gravité et le risque pour la sécurité des usagers. Ce type d'entretien est souvent réalisé sur des chaussées en état médiocre à mauvais, il ne permet pas d'améliorer son état global mais d'attendre un entretien curatif général.

Les deux tableaux suivants présentent les principales techniques employées pour l'entretien courant. [22]. [23]. [24].

## Chapitre III : Réparations et entretien des dégradations

Tableau III.5: Techniques d'imperméabilisation et de restauration de l'adhérence

	POINT À TEMPS	PONTAGE DE FISSURES	HYDRORÉGÉNÉRATION ET GRENAILLAGE
<b>Définition</b>	Epandage d'émulsion et de gravillons pour des réparations localisées, réalisable en manuel ou préférentiellement de façon automatisée et synchrone	Gamissage de la fissure avec un mastic, mélange de sable et bitume. Finition sablée nécessaire.	Projection sur la surface à décaper pour éliminer les souillures, enlever l'excédent de liant et/ou de mastic et aspiration des déchets. Restauration de la macrotexture ou de la microtexture.
<b>Domaine d'emploi - Trafic</b>	Tout trafic	Tout trafic	Tout trafic
<b>Imperméabilisation</b>	Bonne efficacité	Bonne efficacité dans le cas de dégradations linéaires	Non
<b>Adhérence</b>	Régénération locale	Non	Bonne efficacité
<b>Amélioration de l'uni</b>	Non	Non	Non
<b>Durée d'usage</b>	De quelques mois à 4 ans suivant le trafic	De 5 à 15 ans selon le trafic	De 1 à 3 ans
<b>Avantage spécifique</b>	Réparations localisées	Colmatage de fissures	Amélioration de l'adhérence
<b>Limites d'emploi</b>	Dans le cas de dégradations non linéaires, légères et sur des surfaces étendues (pour lesquelles il convient d'envisager un revêtement superficiel dans une démarche d'entretien préventif). Risque de rejet à gérer.	Etat du support et type de fissures	A réaliser par temps sec et frais (hors périodes de gel). Technique risquant de vieillir prématurément le revêtement, à utiliser avec précaution.
<b>Ordre de grandeur des coûts</b>	2 à 3 €/m <sup>2</sup> traité	1 à 2 €/ml	2 à 5 €/m <sup>2</sup>

## Chapitre III : Réparations et entretien des dégradations

Tableau III.6: Techniques de bouchage de nids de poule et défilochage localisé

	ENROBÉS STOCKABLES	ENROBÉS STOCKABLES À PERFORMANCES AMÉLIORÉES*	ENROBÉS PROJETÉS	PURGES
<b>Définition</b>	Enrobé bitumineux stockable, en vrac ou conditionné	Enrobé stockable, conditionné à prise rapide et résistant au trafic	Projection d'enrobés à l'émulsion de bitume	Substitution de tout (purges profondes) ou partie (purges superficielles) des matériaux du corps de chaussée par des matériaux de meilleure qualité
<b>Domaine d'emploi - Trafic</b>	Pour des trafics faibles à moyen	Pour des trafics moyens à forts	Tout trafic. À privilégier pour des trafics faibles à moyens	Tout trafic
<b>Imperméabilisation</b>	Scellement de surface nécessaire pour imperméabilisation	Bonne efficacité	Bonne efficacité	Bonne efficacité
<b>Adhérence</b>	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
<b>Amélioration de l'uni</b>	Localement	Localement	Localement	Localement
<b>Durée d'usage</b>	Faible mais dépend du trafic. Meilleure durabilité avec des produits denses	De 2 à 5 ans selon trafic	De 2 à 5 ans selon le trafic et l'état du support	Longue si correctement réalisée
<b>Avantage spécifique</b>	Adapté pour la reprise de dégradations ponctuelles d'une couche de roulement	Adapté pour la reprise de dégradations ponctuelles d'une couche de roulement. Limite le nombre d'interventions et donc les risques sous circulation.	Adapté pour la reprise de dégradations ponctuelles d'une couche de roulement	Permet de réparer un défaut ponctuel de la chaussée
<b>Limites d'emploi</b>	Ne convient pas aux forts trafics. Emploi ponctuel	Emploi ponctuel	Emploi ponctuel – faible rejet de gravillons	A adapter au trafic
<b>Ordre de grandeur des coûts</b>	Vrac : 90 à 100 €/t Conditionné : environ 20 € par 25 kg	En seau : environ 30 € par 25 kg	Travail à la journée, coût au m <sup>2</sup> dépend du rendement	3 à 5 €/m <sup>2</sup> /cm selon dimension et technique de mise en œuvre

### III. 3. 4 Réhabilitation lourde :

La réhabilitation lourde sort du domaine de l'entretien et notamment de l'entretien économique. Elle consiste à une remise en état profonde et durable de la voie. Elle est coûteuse et doit correspondre à des enjeux stratégiques forts. [22]. [23]. [24].

### III. 3. 5 Stratégies d'entretien :

La figure III.1 représente schématiquement les différents types d'entretien à réaliser en fonction du niveau de dégradation de la chaussée et les différents scénarios possibles. La fréquence d'entretien préventif varie en fonction du type de technique retenue et du trafic supporté par l'itinéraire. [22]. [23]. [24].

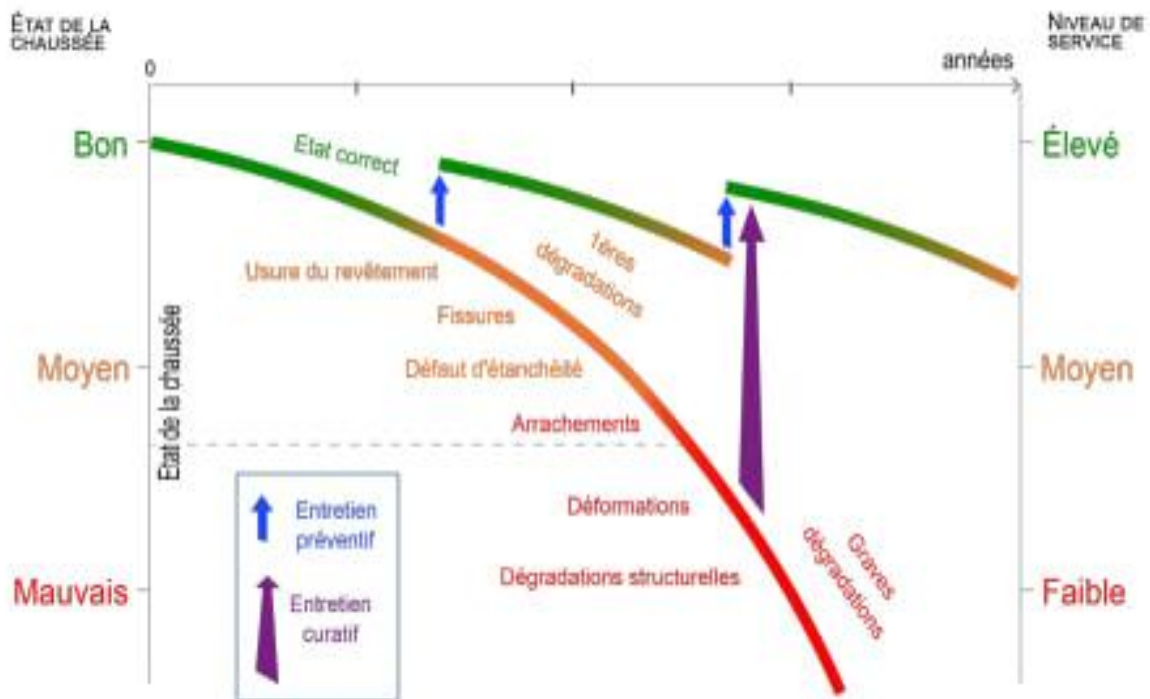


Figure III. 1: Schéma d'évolution de l'état et du niveau de service d'une chaussée neuve avec un entretien régulier et sans entretien.

## Chapitre III : Réparations et entretien des dégradations

---

### III. 4 Les Réparations et entretien des dégradations :

Les travaux de réparation et d'entretien des dommages concernent principalement l'entretien, la restauration et la continuité des infrastructures routières. Ils comprennent : [25]. [26]. [27].

#### III. 4. 1 Techniques d'entretien courant généralement utilisées :

##### III. 4. 1.1 Affaissement de rives :

Route du 1 er groupe

Route du 2 émet groupe

1 er cas : Affaissement de l'ordre de 2 à 5 cm

• Reprofilage avec des matériaux bitumineux.

• Surveillance.  
• Reprofilage si un enduit est programmé l'année suivante.

2ème cas : Affaissement de l'ordre de 5 à 10 cm.

• Reprofilage avec des matériaux bitumineux.

• Reprofilage localisé,

Purge profonde s'il y a présence d'argile.

Dans tous les cas, vérifier l'assainissement et le drainage.



Figure III. 2: Réparations d'affaissement

### III. 4. 1.2 Flache :

Route du 1er groupe

Route du 2ème groupe

1 er cas : Flache de 2 à 5 cm

- Purge superficielle sur l'épaisseur des matériaux désagrégés et pollués.
- Surveillance.

- Reprofilage si un enduit est programmé l'année suivante.

2ème cas : Flache de plus 5 cm

- Purge superficielle sur l'épaisseur.

- Reprofilage localisé des matériaux dégradés.

Purge profonde s'il y a présence d'argile.

Dans tous les cas, vérifier l'assainissement et le drainage.



**Figure III. 3: Réparations de Flache**

### III. 4. 1. 3 Orniérage :

Route du 1er groupe

Route du 2ème groupe

1 er cas : Orniérage de 2 à 5 cm

- Surveillance, pas d'entretien courant.
- L'intervention relève de l'entretien général programmé.

- Surveillance.
- Reprofilage si un enduit est programmé.

2ème cas : Orniérage de plus de 5 cm

- Sans autre dégradation :
- Reprofilage dans les ornières avec des matériaux bitumineux.

- Reprofilage localisé.

## Chapitre III : Réparations et entretien des dégradations

---

-Avec d'autres dégradations (burrelet, faïençage, ressuage) :

- Pas d'entretien courant, rechargement général nécessaire. Dans ce cas en attendant le rechargement, reprofilage dans les ornières aux matériaux bitumineux ou fraisage des burrelets.



**Figure III. 4: Réparations d'Orniérage**

### III. 4. 1. 4 Fissures longitudinales :

Route du 1er groupe

Route du 2ème groupe

1 er cas : Fissures fines (moins de 2 mm d'ouverture)

- Pas d'entretien courant : suivre l'évolution.

2ème cas : Fissures larges (plus de 2 mm d'ouverture)

a) Sans désordre secondaire.

- Pontage à chaud avec mastic spécial.

## Chapitre III : Réparations et entretien des dégradations

---

b) Avec désordres secondaires (ramifications des fissures, faïençage, départs de matériaux ...)

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Imperméabilisation localisée de la surface.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Imperméabilisation de surface localisée si aucun traitement général de la chaussée n'est envisagé.</li></ul> |
|---|--|



**Figure III. 5: Réparations des Fissures longitudinales**

### III. 4. 1. 5 Fissures transversales :

Toutes catégories de routes

- Pas d'entretien courant (surtout pas d'imperméabilisation localisée à l'émulsion de bitume).
- Pontage à chaud avec un mastic spécial dans le cadre d'une opération programmée.



**Figure III. 6: Réparations des Fissures transversales**

### III. 4. 1.6 Faïençage :

Route du 1er groupe

Route du 2ème groupe

1 er cas : Faïençage fin (fissures de moins de 2 mm d'ouverture)

- Néant (imperméabilisation de surface inutile et nuisible) dans programmé. Imperméabilisation cadre de l'entretien courant.

- Néant, si un enduit est programmé. Imperméabilisation de surface s'il y a risque d'évolution (ouverture de la fissure, arrachement).

2ème cas : Faïençage ouvert avec départs de matériaux

- Scellement et Imperméabilisation de surface.



**Figure III. 7: Réparations de Faïençage**

### III. 4. 1.7 Nid de poule :

#### Route du 1er groupe

- Intervention d'urgence : bouchage avec enrobés à froid ou spéciaux conditionnés.
- Entretien ultérieur si nécessaire : purge superficielle aux enrobés à chaud.

#### Route du 2ème groupe

- Intervention d'urgence : bouchage immédiat.
- Entretien ultérieur : imperméabilisation de surface si la réparation a tenu ou purge superficielle et bouchage.



**Figure III. 8: Réparations de Nid de poule**

### **III. 4. 1.8 Pelade :**

Toutes catégories de routes

- Sur enduits : pas d'entretien courant, sauf s'il y a une autre dégradation.
- Sur enrobés : il faut attendre pour voir si la dégradation se généralise.
- Si oui, pas d'entretien courant : entretien général par lenrobé.
- Si non, bouchage aux enrobés adaptés précédé d'une couche d'accrochage à l'émulsion.



**Figure III. 9: Réparations de pelade**

### **III. 4. 1.9 Plumage :**

Toutes catégories de routes

- Pas d'intervention manuelle en entretien courant, surveiller révolu timon. S'il y a généralisation du plumage, les reprises éventuelles de scellement de surface doivent être mécanisées.

NOTA : dès qu'un enduit présente des signes de plumage il convient de réaliser dès que possible un nouvel enduit monocouche de scellement pour stopper révolution.



**Figure III. 10: Réparations de plumage**

### III. 4. 1.10 Ressuage :

Toutes catégories de routes

- Intervention d'urgence (ressuage lors de fortes chaleurs) : gravillonnage au 4/6, 6/10. Ne jamais employer de sable fileries 0/2 ou 0/4 (risque d'arrachement).
- Entretien ultérieur :
  - cloutage avec des granulats chauds ;
  - enduit pré gravillonné ;
  - fraisage superficiel.



**Figure III. 11: Technique de brûlage par choc thermique**

### III. 5 Le choix des matériaux d'entretien de chaussée

Le choix des matériaux d'entretien de chaussée repose principalement sur plusieurs critères clés. [28]. [29]. [30].

- Les propriétés mécaniques du matériau (résistance à la traction, à la compression, à la déformation, rigidité, résistance à la fatigue)
- Les propriétés physiques (conductivité thermique, densité, stabilité dimensionnelle)
- La durabilité, notamment la résistance aux conditions environnementales telles que la corrosion ou les contraintes climatiques
- La disponibilité et le coût locaux, qui impactent le budget et la logistique du projet
- L'esthétique et l'intégration dans la conception globale
- Les exigences spécifiques au projet, telles que l'entretien, l'apparence et les restrictions d'utilisation

Le choix des matériaux s'effectue toujours en fonction des caractéristiques de la route, des conditions d'utilisation et des objectifs souhaités afin d'atteindre un équilibre entre performances techniques, coût et durabilité.

### III. 6 Conclusion

La réparation et l'entretien des chaussées dégradées jouent un rôle essentiel dans gestion efficace, fondée sur un diagnostic précis et des interventions appropriées, contribue à atténuer les dommages et à réduire les coûts à long terme. Il est donc essentiel d'adopter une approche proactive combinant un entretien régulier et des technologies modernes pour garantir la durabilité des infrastructures et la satisfaction des usagers. En résumé, un bon entretien des routes prolonge non seulement leur durée de vie, mais améliore également l'efficacité globale du système de transport.

L'entretien des chaussées dégradées est également essentiel pour garantir la sécurité routière, la durabilité des infrastructures et la fluidité du trafic. Des interventions rapides (comme le comblement des nids de poule) et des stratégies préventives (traitements de surface, drainage efficace des eaux) réduisent les coûts à long terme et préviennent l'aggravation des dommages. Les autorités locales et les gestionnaires des routes doivent prioriser ces mesures afin de préserver le patrimoine routier, de réduire les risques pour les usagers et d'optimiser les ressources publiques. Investir dans l'entretien des routes, c'est investir dans la mobilité, l'économie et la sécurité de tous.

## **Conclusion Générale**

## **Conclusion Générale**

---

### **Conclusion Générale**

---

L'un des objectifs de ce mémoire était de créer un registre facilitant l'identification de tous les dommages potentiels aux routes et leur classification selon leur fréquence. Il visait également à faciliter l'accès aux causes profondes grâce à une enquête approfondie, ce qui permettrait d'éviter des traitements inappropriés, coûteux et inefficaces à long terme.

En fin de compte, nous avons pu préparer un document décrivant tous les cas de dégradation les plus courantes. Cela ne signifie pas que les cas de dégradation proposés dans ce mémoire soient les seuls existants. Le diagnostic et le traitement des chaussées reposent sur une approche systématique qui commence par une évaluation minutieuse des dommages visibles, de la fluidité du trafic, de la déformabilité et des caractéristiques des couches de chaussée. Ce diagnostic, essentiel pour identifier des conditions telles que les fissures, les déformations, l'érosion et les affaissements, ainsi que leurs causes, permet d'identifier les solutions de réparation ou de renforcement appropriées. L'évaluation s'appuie sur des mesures visuelles, géotechniques et élastiques, souvent à l'aide d'outils d'inspection et d'analyse modernes. Une bonne compréhension des processus de vieillissement et de leurs effets mécaniques, ainsi que l'utilisation de méthodes normalisées, garantissent une conception et un entretien optimaux des chaussées afin de prolonger leur durée de vie et de garantir leur sécurité et leur fonctionnalité.

Par conséquent, la conclusion générale est qu'un diagnostic précis et un traitement approprié des chaussées sont essentiels pour assurer leur durabilité. Ils permettent de planifier des interventions ciblées et efficaces en fonction de la nature des dommages détectés et des conditions de circulation, tout en optimisant l'utilisation des ressources allouées à l'entretien routier.

## **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

### Références bibliographiques

[1] FRANCO Olivier. (1999). manuel Mais in Michot pratique de formation pour cadre des techniques de bureau d'études, Genève, 1999, tome 1.

[2]: SETRA, LCPC, (1998). Catalogue des structures-types de chaussées neuves.

[3] p. bordes, g.guinaro, and glairent, (1996). entretien courant des chaussées, service d'étude technique des routes et autoroutes, 1996.

[4] Association des ingénieurs municipaux du Québec (AIMQ), (2002). « Manuel d'identification des dégradations des chaussées souples.» Québec 2002

[5] LCPC, (1998). Méthode d'essai n°52, complément à la méthode d'essai n°38-2

Catalogue des dégradations de surface des chaussées. République Française, Ministère de l'équipement, des transports et du logement, version 1998, 98p.

[6]: LCPC, (2001). Documentation technique La maîtrise de la fissuration des graves hydrauliques. Supplément routes n ° 77 - septembre 2001, 10p.

[7] Bertrand, L., Boutonnait, M., Caze neuve, J., Chabrol, J., Daurat, M., Grise lin, J. F., ... & Seifert, M. (1998). Catalogue des dégradations de surface des chaussées-Version 1998. techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées-méthode d'essai l pc, complément de la méthode d'essai no 38-2, (52).

[8] Bartoli, A. (2018). Pour un entretien routier durable: prise en compte des conséquences de l'interaction chaussée-véhicule dans l'aide à la décision des politiques de surfacage illustration par un cas autoroutier français (Doctoral dissertation, Université Paris Est).

[9] Fadette, N., Doré, G., Fadette, N., Guy, D. O. R. E., & Pierre, P. (2005). Étude des conséquences de la détérioration de l'uni des chaussées sur le comportement des véhicules et la sécurité des usagers de la route (Doctoral dissertation, Université Laval).

[10] Démarche SURE – Présentation et management – Guide méthodologique - (document à l'étude)

[11] Démarche SURE - Etude d'enjeux pour la hiérarchisation des itinéraires - Guide méthodologique – (document à l'étude)

## Références bibliographiques

---

- [12] Nguyen, T. S. (2010). Extraction de structures fines sur des images texturées: application à la détection automatique de fissures sur des images de surface de chaussées (Doctoral dissertation, Université d'Orléans).
- [13] Lo, S., & Diane, M. (2009). Elaboration d'un catalogue des dégradations des chaussées au Sénégal. Génie Civil, 125.
- [14] Morin, É. (2012). Optimisation de la Gestion de L'information Météo-Routière pour le Ministère des Transports du Québec Direction de l'Estrie. Mémoire de Maîtrise.
- [15] Larvée, B. (2001). Evaluation du comportement des chaussées suivi au sein du C-SHRP. National Library of Canada= Bibliothèque nationale du Canada, Ottawa.
- [16] Wurckler, S. (2010). Développement de techniques d'auscultation de chaussées (Doctoral dissertation, INSA de Strasbourg). le 8 novembre 2018, 57p.
- [17] JTR 2020, intervention de Sébastien Waser dans la session 3
- « Endommagement des chaussées ».
- [18] Khoderagha, N. (2019). Outil innovant pour la gestion des routes (Doctoral dissertation, École de technologie supérieure).
- [19] Le Boursicaut, V. (2018). Nouvelles utilisations des mesures de bassins de déflexion pour caractériser l'état structurel des chaussées (Doctoral dissertation, École centrale de Nantes).
- [20] Ortiz, D. B. (2025). Étude comparative de techniques de contrôle de compactage des matériaux granulaires (Doctoral dissertation, Université Laval).
- [21] OPÉRATIONNELLES, D. TRANSPORT NOTES.
- [22] Perrot, J. L. Congrès de l'IDRRIM. Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la mobilité (IDRRIM).
- [23] Barillet, F. (2006). Projet européen FORMAT: quantification de la gêne causée par les chantiers d'entretien'. Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées, 261-262.
- [24] de BORTOLI, A. (2018). POUR UN ENTRETIEN ROUTIER DURABLE (Doctoral dissertation, Ecole des Ponts Paris Tech). le 21 décembre 2018, 41p

## Références bibliographiques

---

- [25] Rêche, M. (2004). Effet des travaux d'entretien sur les lois d'évolution des dégradations de chaussées. THESE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITE, SPECIALITE: GENIE CIVIL.
- [26] Tari, R. (2016). Mécanismes et modélisations de dégradation et décollement des interfaces de couches de chaussées (Doctoral dissertation, Université de Limoges).
- [27] Bertrand, L., & Lepertel, P. (1997). Relevé des dégradations de surface des chaussées. techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées-méthode d'essai I pc.
- [28] DE PILLOT, B., ROSE, F., GELIN, D., & BOUEY, D. (1998). L'ENTRETIEN COURANT DE L'ASSAINISSEMENT DE LA ROUTE.
- [29] Brochard, D., & Lefort, M. (2000). Les guides techniques pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France. REVUE GENERALE DES ROUTES (RGRA), (781).
- [30] Corte, J. F., Laurent, G., & Lafond, J. F. (1999). Les matériaux de reprofilage des chaussées. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, (116), 116-122.