

République Algérienne Démocratique et Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



**Ecole Nationale Supérieure  
des Travaux Publics**

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية

*Mémoire*

*Pour l'Obtention du Diplôme de MASTER*

*Filière : TRAVAUX PUBLICS*

*Spécialité : INFRASTRUCTURES DE BASE*

# Thème

**Étude du phénomène de l'orniérage sur les  
chaussées bitumineuses**

***Encadré par :***

**M. KARA Benchohra**

***Présenté par :***

**HALIMI Hamza**

***Promotion 2015***

***Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics. Garidi. Kouba.***



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# Remerciement

*Nous remercions avant tous Allah tout puissant de nous avoir donné la force, le courage et la volonté pour arriver au bout de ce travail*

*En préambule de ce mémoire, je souhaitais adresser mes remerciements les plus sincères à mes très chers parents et mon chère frère Bakri qui ont toujours été là pour moi vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance.*

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur M.KARA je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé*

*Je remercie l'ingénieur Fadli karim .*

*Je remercie aussi toute ma famille, et tous ceux et celles qui ont de près ou de loin collaboré à la réalisation de ce modeste travail.*

*Un grand merci pour tous les enseignants de l'ENSTP, pour leur assistance technique indispensable et leurs précieux conseils*

*Enfin je remercie tous mes amis que j'aime tant, mes collègues et toute la promotion 2015.*

## Dédicace



Je remercie *ALLAH* le tout Puissant, clément et Miséricordieux de m'avoir motivé à réaliser ce modeste travail, ensuite je remercie infiniment *mes parents*, qui m'ont encouragé et aidé à arriver à ce stade de formation.

Je dédie ce modeste travail à *ma très chère mère*, qui m'a accompagné durant les moments les plus pénibles de ce long parcours de mon éducation, celle qui a fait preuve de ces plus copieux desseins pour me permettre de goûter le fardeau de ce monde et de chercher la voie de ma vie avec ces précieux conseils, donc je devais incessamment être de grande compétence et motivation. Cependant. Je prie Dieu le Miséricordieux qu'il te portera récompense, car la mienne ne sera guère complète,

*Et te protège et te garde en bonne santé.*

*A mon père* qui a sacrifié sa vie afin de me voir grandir et réussir dans le parcours de l'enseignement. Celui qui a toujours resté à mes côtés dans les moments rudes de ma vie.

*A mes brave frères : Bakri (mon père et mon frère ), Walid, Kamel, Rachid.*

*A mon chère frère : Walid .*

*A mes sœurs sur tout doumia et nawal*

*A ma femme khadra*

*A mon ami d'enfance et A mes amis : dr.bouchrdoud ahmed,  
,hamza, khairou, ninou, samir, hani,..*

*A mes confrères : Loka, Seyf,  
Nabil, Sassi, Rahal, Soufiane. Fakhri, Zaki, Souhaib. raid. youcef. issam .*

*A tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation  
de ce mémoire.*

*...Et a tous ceux qui portent l'Algérie dans leurs cœurs et  
veulent la construire.*

*Enfin, à tous ceux qui m'aiment.*

**Hamza...**



## RESUME

### Français :

L'objectif principal de cette étude est de pouvoir prédire, à plus ou moins long terme, le risque d'orniérage d'une chaussée à partir des caractéristiques du revêtement bitumineux, de la charge de trafic, de la vitesse moyenne des poids lourds et des conditions climatiques du site. Le trafic est constitué de la charge de trafic lourd, exprimé en essieux équivalents, qui a sollicité la chaussée au cours de sa période de service. Le revêtement bitumineux est pris en compte par le paramètre de résistance à l'orniérage du matériau mesuré au simulateur de trafic LPC.

### Mot clés :

l'orniérage, revêtement bitumineux.

### English:

The main objective of this study is to predict, more or less long term, the risk of rutting of a roadway from the characteristics of the asphalt pavement, the traffic load, the average speed of heavy vehicles and the site's climatic conditions. The traffic consists of heavy traffic load, expressed in equivalent axles, which requested the floor during his period of service. The road surface is taken into account by setting the resistance to rutting of the measured material LPC traffic simulator.

### Keywords:

Rutting, The road surface.

### ملخص:

الهدف الرئيسي لهذه الدراسة هو التنبؤ أكثر او اقل على المدى الطويل بخطر التحدد للرصيف من حيث خصائص الخرسانة الاسفلتية، حركة المرور، السرعة المتوسطة للمركبات ذات الوزن الثقيل و الظروف المناخية للمنطقة. كثافة المرور تقاس بكثافة المركبات ذات الوزن الثقيل و التي تقاس بالمحور المكافئ التي تفسد الطريق خلال فترة عملها. الخرسانة الاسفلتية تأخذ بعين الاعتبار المعيار المقاوم للتحدد من خلال المواد المقاسة لمعلومات كثافة المرور LPC

### الكلمات الاستدلالية:

التحدد، الخرسانة الاسفلتية.

# Table des matières

## INTRODUCTION GENERALE

### Chapitre I : étude bibliographique

I-Structure de chaussée :.....	1
I-1-Intoduction.....	1
I-2- Généralités sur les routes : .....	1
I-2-1- Définitions : .....	1
I-3- Constitution et rôle d'une chaussée : les différentes couches : .....	1
I-4- les différentes structures de chaussées :.....	3
I-4-1.Chaussée souple:.....	4
I-4-2.Chaussée bitumineuse épaisse:.....	4
I-4-3.Chaussée semi-rigide:.....	5
I-4-4- Les chaussées à structure mixte :.....	6
I-4-5-Chaussées rigides.....	6
I-4-6- les chaussées à structures inverse :.....	7
I-4-7- les chaussées à structures composite :.....	7
I-5 Dimensionnement de la structure de chaussée :.....	8
I-5-1 Method C.B.R (California – Bearing – Ratio).....	8
I-5-2- Méthode A.A.S.H.O .....	9
I-5-3- Méthode d'ASPHALT INSTITUTE.....	9
I-5-4- Méthode du catalogue des structures .....	9
I-5-5- Méthode LCPC (laboratoire central des ponts et chaussées).....	10

I-5-6-Méthode du catalogue des structures algérien.....	10
---	----

## **Chapitre II : Les enrobés bitumineux**

II-1- Introduction :.....	11
II-2- Les enrobés :.....	11
II-2-1- Définition :.....	11
II-2-2- Constitution :.....	11
II-2-3-Familles d'enrobés bitumineux :.....	13
II-2-3-1-Produit à chaud :.....	13
II-2-3-2- Produits à froid : .....	14
II-2-4-Fabrication des enrobés :.....	14
II-2-5- Teneur en liant dans un enrobé :.....	15
II-2-6- Influence des actions appliquées à la chaussée sur les enrobés bitumineux :.....	16
II-2-6-1- Effet du trafic :.....	16
II-2-6-2- Effet de la température.....	17
II-2-7- Étude des liants hydrocarbonés :.....	18
II-2-7-1- Les goudrons :.....	18
II-2-7-2- Les liants naturels (bitume naturel ou roche asphaltique) :.....	19
II-2-7-2-1- L'asphalte naturel :.....	19
II-2-7-2-2- Bitume naturel :.....	19
II-2-7-3- Les bitumes « bitume brut dérivé du pétrole » :.....	20
II-2-7-3-1- Fabrication des bitumes : .....	20
II-2-7-3-2- Essais appliqués sur le bitume :.....	20
II-2-7-3-3- Classification des bitumes :.....	24
II-2-7-3-4-Les types de bitumes .....	24

## II.2.7.3-5-Avantage et inconvénient d'utilisation des bitumes...25

### Chapitre III: Dégradation des chaussées

III-1-Introduction .....	26
III-2- Dégradations des chaussées bitumineuses .....	26
III-2-1- Les arrachements .....	26
III -2-1-1- Le décollement :.....	26
III -2-1-2 – Plumage :.....	27
III -2-1-3- Dés enrobage :.....	28
III -2-1-4-Pelade :.....	29
III -2-1-5- Têtes de chat :.....	30
III -2-1-6- Nids de poule :.....	31
III-2-2- Les fissurations.....	32
III -2-2-1- Les fissures :.....	32
III -2-2-2- Le faïençage :.....	35
III -2-2-3- Les épaufrures :.....	37
III-2-3- les Remontées .....	38
III -2-3-1- Remontées (d'eau ou d'argile) :.....	38
III -2-3-2- Ressuage :.....	39
III -2-3-3-Boursouffure :.....	40
III-2-4- Les déformations .....	41
III-2-4-1- L'affaissement .....	41
III-2-4-2- Le bourrelet (gonflement) .....	42
III-2-4-3-Flache .....	42
III-2-4-4- la tôle ondulée .....	44

III-2-4-5-L'orniérage .....	44
III-2-4-5-1-Orniérage des couches support .....	45
III-2-4-5-2- Orniérage des couches bitumineuses .....	46
III-2-4-5-3-Mécanismes de l'orniérage .....	47
III-2-4-5-4- Types d'orniérage .....	51
III-2-4-5-5- Les facteurs influençant l'orniérage .....	52
III-2-4-5-6-Quelques essais utilisés.....	60
III-2-4-5-7- Étapes de l'atténuation de l'orniérage .....	6
III -2-4-5-7-1- L'évaluation des problèmes de tenue de la chaussée et la détermination de la cause de tout orniérage :.....	66
III -2-4-5-7-2- La vérification du caractère adéquat de la structure de la chaussée :....	67
III -2-4-5-7-3- Le choix de la mise en pratique d'une approche rentable et techniquement fiable de.....	67
III -2-4-5-7-4- Le recours aux techniques de construction appropriées prévoyant l'assurance de la qualité :.....	67
III -3- Conclusion :.....	67

#### **Chapitre IV : Auscultation des chaussées**

IV-1- Introduction : .....	68
IV-2- Définition d'auscultation:.....	68
IV-3- Objectifs de l'auscultation : .....	68
IV-4- Procédure par étapes : .....	68
IV-5- Etape 1 : Inventaire des données : .....	69
IV-5-1- Données générales : .....	69
IV-5-1-1- Nature de la liaison :.....	69
IV-5.1.2- Les localités traversées :.....	70
IV-5.2- Historique :.....	70

<b>IV-5.3- Le trafic :</b> .....	<b>70</b>
<b>IV-5.4- Données géotechniques :</b> .....	<b>71</b>
<b>IV-5.4-1- Nature de la plateforme :</b> .....	<b>71</b>
<b>IV-5.4-2- Sondages sous-chaussées et sous accotements :</b> .....	<b>72</b>
<b>IV-5.5- Données géométrique :</b> .....	<b>73</b>
<b>IV-5.6- Données sur l'assainissement :</b> .....	<b>73</b>
<b>IV-5.7- Auscultation visuelle :</b> .....	<b>73</b>
<b>IV-5.7-1- Procédé du relevé :</b> .....	<b>73</b>
<b>IV-5.7-2- Évaluation de l'orniérage :</b> .....	<b>73</b>
<b>IV-5.8- Auscultation automatique :</b> .....	<b>74</b>
<b>IV-5.8-1- Mesure de déflexion :</b> .....	<b>74</b>
<b>IV-5.8-1-1- Mode d'acquisition du paramètre « Déflexion » :</b> .....	<b>74</b>
<b>IV-5.8-1-1-1- De manière continue :</b> .....	<b>74</b>
<b>IV-5.8-1-1-2- De manière ponctuelle :</b> .....	<b>77</b>
<b>V-8- Conclusion :</b> .....	<b>80</b>

## Liste des figures

Fig.I.1 : profil en travers .....	1
Fig.I.2: Les différentes couches qui constituent la structure de la chaussée.....	2
Fig.I.3: Structure type d'une chaussée souple.....	4
Fig.I.3.1: Structure type d'une Chaussée bitumineuse épaisse.....	4
Fig.I.4 : Structure type d'une chaussée semi-rigide.....	5
Fig.I.4.1: chaussées à structure mixte.....	4
Fig.I.5 : Structure type d'une chaussée rigide.....	6
Fig.I.6 : Chaussées à structure inverse [LCPC, 1994].....	7
Fig.I.7 : Béton de ciment mince collé (BCMC).....	7
Fig.I.8 : Béton armé continu sur Grave bitume (BAC/GB).....	8
Fig.II.1:Matériaux bitumineux.....	11
Fig.II.2: Sollicitations induites par le trafic [Di Benedetto et Corté, 2005].....	16
Fig.II.3: Sollicitations induites par la température [Di Benedetto et Corté, 2005].....	17
Fig.II.4 : Genèse de produit de base.....	18
Fig.II.5 : Essai de pénétrabilité pour le bitume.....	21
FigII.6 : Test de TBA.....	21
Fig.II.7: Principe de l'essai Fraass .....	22
Fig.II.8: Essai RTFOT.....	23
Fig.III.1: Décollement.....	26
Fig.III.2: plumage.....	27
Fig.III.3: Désenrobage.....	28
Fig.III.4: Pelade.....	29
Fig.III.5: Tête de chat .....	30
Fig.III.6: Nids de poule.....	31
Fig.III.7: Fissures transversales.....	33

<b>Fig.III.8: Fissures en piste de roues.....</b>	<b>33</b>
<b>Fig.III.9: Fissures longitudinales.....</b>	<b>34</b>
<b>Fig.III.10: Fissures de rives.....</b>	<b>34</b>
<b>Fig.III.11: Fissures de gel.....</b>	<b>35</b>
<b>Fig.III.12: Faïençage .....</b>	<b>35</b>
<b>Fig.III.13: Les épaufrures .....</b>	<b>37</b>
<b>Fig.III.14: la remontée (a) d'argile (b) d'eau.....</b>	<b>38</b>
<b>Fig.III.15: Ressuage.....</b>	<b>39</b>
<b>Fig.III.16: Boursouflure .....</b>	<b>40</b>
<b>Fig.III.17: Affaissement .....</b>	<b>41</b>
<b>Fig.III.18: Le bourrelet .....</b>	<b>42</b>
<b>Fig.III.19: Le flache .....</b>	<b>43</b>
<b>Fig.III.20: Tôle ondulée.....</b>	<b>44</b>
<b>fig.III.21 : Orniérage du sol support.....</b>	<b>45</b>
<b>Fig.III.22: Différentes tailles d'ornières à grand rayon.....</b>	<b>46</b>
<b>Fig.III.23: Différentes tailles d'ornières à petit rayon.....</b>	<b>47</b>
<b>Fig.III.24: Etats de contrainte générés dans les couches bitumineuses d'une chaussée, à L'aplomb d'une roue simple (Di Benedetto et Corté, 2005).....</b>	<b>48</b>
<b>Fig.III.25: Chemins de contraintes à différentes profondeurs dans une couche Bitumineuse de chaussée [Di Benedetto et Corté, 2005].....</b>	<b>49</b>
<b>Fig.III.26: Angle des directions principales des contraintes avec la verticale en fonction De la distance de la charge au point considéré [Di Benedetto et Corté, 2005].....</b>	<b>50</b>
<b>Fig.III.27: Types d'ornières.....</b>	<b>51</b>
<b>Fig.III.28: Influence de l'épaisseur de la couche de surface sur la déformation verticale Au-dessus de la couche de base et de plate-forme support (Ekdahl, 1999).....</b>	<b>52</b>

<b>Fig.III.29: Influence de la nature du liant [Vanelstraete et Francken, 1994].....</b>	<b>53</b>
<b>Fig.III.30: Influence de la teneur en liant au niveau d'ornière [Grimaux, 1977].....</b>	<b>54</b>
<b>Fig.III.31: Propriétés internes en fonction de la teneur en liant</b>	
<b>[Christensen et Bonaquist, 2002].....</b>	<b>55</b>
<b>Fig.III.32: Influence de la granularité [Grimaux, 1977].....</b>	<b>56</b>
<b>Fig.III.33: Influence de la forme des granulats [Vanelstraete et Francken, 1994].....</b>	<b>56</b>
<b>Fig.III.34: Effet de l'angularité et du pourcentage de vides sur la rigidité en compression du mélange (Uge,P et P.J.Van de Loo/1974).....</b>	<b>57</b>
<b>Fig.III.35: influence de la température sur la profondeur d'ornière.....</b>	<b>58</b>
<b>Fig.III.36: Influence de la vitesse du trafic [Aussedat, 1977].....</b>	<b>59</b>
<b>Fig.III.37: influence de variations saisonnières sur l'orniérage (White, 1999).....</b>	<b>60</b>
<b>Fig.III.38: Profondeur d'ornière en fonction de la rigidité Marshall (S/F) .....</b>	<b>61</b>
<b>Fig.III.39: Schéma d'essai de fluage cyclique (Neifar et Di Benedetto,2000).....</b>	<b>62</b>
<b>Fig.III.40: Exemple des résultats d'essai de fluage dynamique.....</b>	<b>62</b>
<b>Fig.III.41: principe de l'essai d'orniérage.....</b>	<b>63</b>
<b>Fig.III.42: Influence de la nature du liant sur la profondeur d'ornière</b>	
<b>(essai à l'ornière LPC).....</b>	<b>64</b>
<b>Fig.III.43: Dispositif expérimental.....</b>	<b>65</b>
<b>Fig.IV.1 : les phases d'auscultation.....</b>	<b>69</b>
<b>Fig.IV.2 : Vu en plan de l'emplacement des sondages.....</b>	<b>72</b>
<b>Fig. IV.3 : coupe d'un sondage.....</b>	<b>72</b>
<b>Fig.IV.4 : paramètres « étendue et gravité » dans une ornière.....</b>	<b>74</b>
<b>Fig.IV.5: Défectographe.....</b>	<b>75</b>
<b>Fig.IV.6: poutre de mesure.....</b>	<b>76</b>
<b>Fig.IV.7 : Curviamètre.....</b>	<b>77</b>
<b>Fig.IV.8: Poutres Benkelman .....</b>	<b>78</b>
<b>Fig.IV.9: Analyseur de profil en long (APL).....</b>	<b>79</b>



## **Liste des tableaux**

<b>Tab. I.1 : Coefficients d'équivalence pour chaque matériau.....</b>	<b>9</b>
<b>Tab. I.2 : Détermination de la classe du sol.....</b>	<b>9</b>
<b>Tab. II.1: Catégorie de bitume.....</b>	<b>24</b>
<b>Tab.III.1: Profondeurs d'ornièrre en mm, obtenues après 100 000 chargements, sur le BB de référence pour des vitesses et des trains de roulement différent.....</b>	<b>59</b>
<b>Tab.IV.1: Définition des classes de trafic.....</b>	<b>71</b>
<b>Tab.IV.2: Importance de l'orniérage en fonction de l'étendue et la gravité.....</b>	<b>74</b>

**INTRODUCTION**  
**GENERALE**

---

## INTRODUCTION GENERALE

D'une manière générale, le réseau routier d'un pays constitue l'un des patrimoines qui revêt une importance capitale dans son développement. En effet, la route assure le lien entre les zones d'économie complémentaire, de production, d'importation, d'exportation et de consommation au sein des états mais aussi entre les états. Aussi, elle assure des liaisons humaines et sociales d'une importance inestimable car elle permet l'établissement d'échanges culturels, sociaux, politiques et administratifs qui s'avère aussi être un des éléments promoteur à tout développement.

L'un des principaux effets du développement économique d'un pays est sans aucun doute d'accroître les échanges de telle façon que les infrastructures de transport se trouvent, d'un moment à un autre, sollicitées au-delà de leur capacité. En particulier les routes sont appelées à écouler des trafics de plus en plus élevés. Elles subissent ainsi des contraintes qui atteignent leur limite de résistance. D'où l'apparition de plusieurs types de dégradations, notamment l'orniérage (dépressions longitudinales et bourrelets dans les traces des roues) qui pose des problèmes de la tenue de la chaussée et de la sécurité routière quand il atteint des profondeurs critiques.

L'orniérage est une déformation permanente qui présente un mode fondamental de défaillance possible des enrobés bitumineux. Les lourdes charges par roue associées aux véhicules poids lourds, en particulier lorsque ces véhicules circulent lentement ou sont stationnaires, de même que par temps chaud, soumettent les revêtements en béton bitumineux à contraintes susceptibles de produire des ornières.

**CHAPITRE I :**

**ETUDE**

**BIBLIOGRAPHIQUE**

## I-Structure de chaussée :

### I-1-Introduction

De tout temps, on a eu besoin de circuler. Mais, les routes ne furent guère que des pistes plus ou moins sommaires permettant de joindre des villes, villages ou hameaux sans empiéter sur les prairies ou terre cultivées. La route ne déférait alors pas tellement des surfaces qui la bordaient.

### I-2- Généralités sur les routes :

#### I-2-1- Définitions :

La route est une voie aménagée pour la circulation des véhicules automobiles ou autres ainsi que des piétons. A l'intérieur des agglomérations, la route prend le nom de rue, avenue, boulevard...etc.

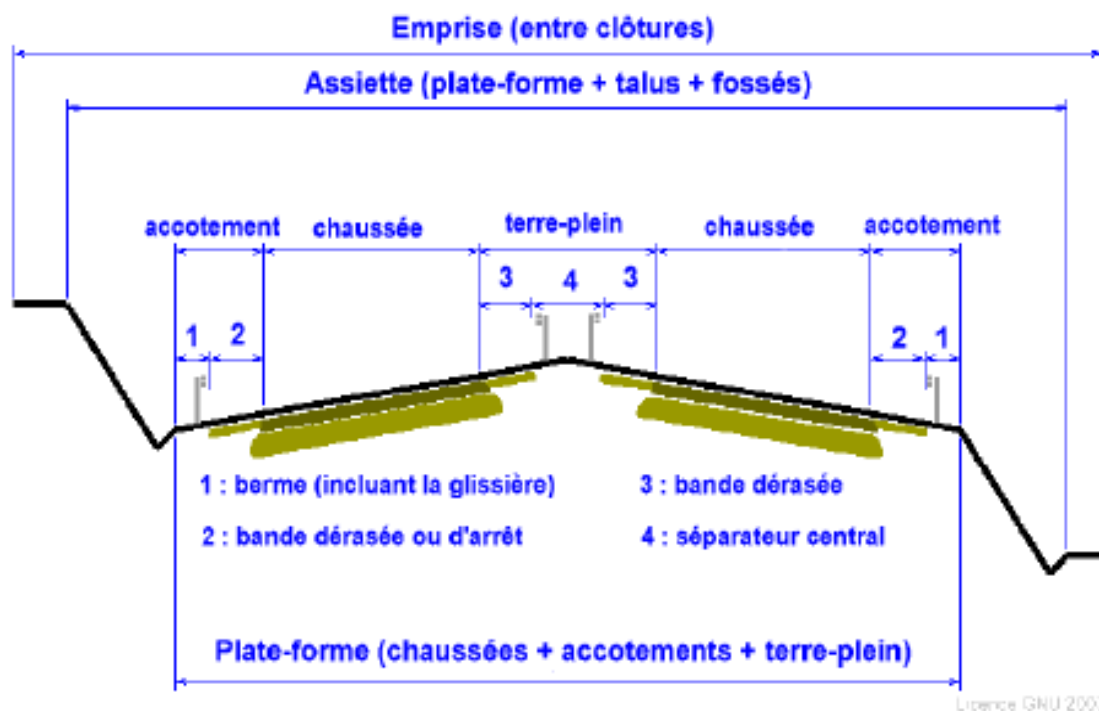
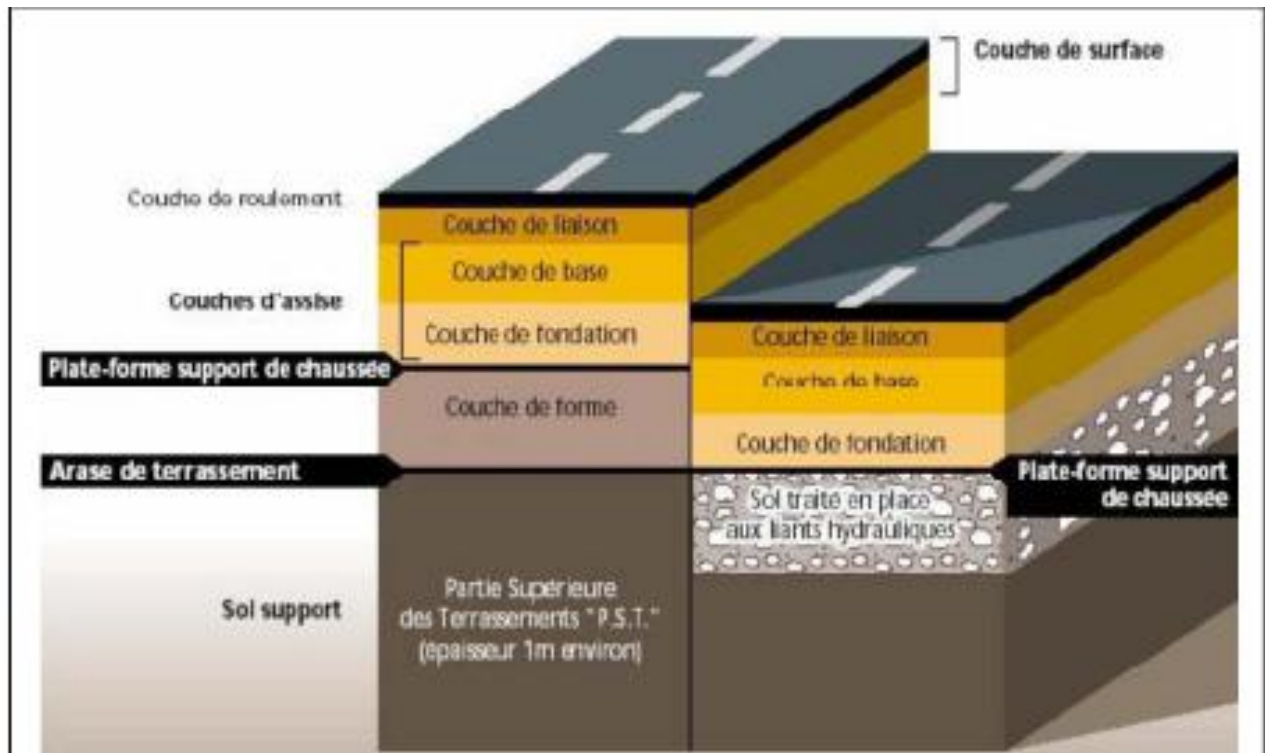


Fig.I.1 : Profil en travers

### I-3- Constitution et rôle d'une chaussée : les différentes couches :

**Vue leur rôle;** les chaussées, se présentent comme des structures multicouches dont les épaisseurs doivent être suffisantes de manière à supporter sans dégradation la pression verticale transmise au sol. Comme la pression dans la couche granulaire décroît régulièrement en profondeur, on peut constituer une chaussée par la superposition de couches de caractéristiques mécaniques croissantes. En général, on rencontre les couches suivantes à partir du sol :



**Fig.I.2: Les différentes couches qui constituent la structure de la chaussée**

**a- Le sol support :** est généralement surmonté d'une couche de forme pour former un ensemble appelé plate-forme support de chaussée. Cette dernière sert, comme son nom l'indique, de support au corps de chaussée.

**a-1 La Partie Supérieure des Terrassements (P.S.) :**

Représentée par les sols en place (déblai) ou les matériaux rapportés (remblai) .Elle a une épaisseur d'environ 1,00 m. La surface de la P.S.T. est appelée l'arase terrassement (AR).

**b- Couche de forme :**

La couche de forme est un élément de transition qu'on l'introduit entre le sol support et les couches de sol afin d'améliorer et d'uniformiser la portance du sol. Cette couche, ne fait pas partie intégrante de la chaussée, elle peut constituer soit de matériaux grenus roulés ou concassés, soit de matériaux traités aux liants hydrauliques. Elle a plusieurs fonctions :

- Lors des travaux, elle protège le sol support, contribue au nivellement et permet la circulation des Engins de chantier
- Elle permet de rendre plus homogènes les caractéristiques du sol tassé et de protéger ce dernier du gel.

**c- Les couches d'assise :**

L'assise de chaussée se décompose en deux sous-couches : la couche de fondation, surmontée de la couche de base.

- **Couche de fondation** : elle est constituée de gravier concassé 0/40 d'une épaisseur de 20 cm. Elle répartit les pressions sur le support, afin de maintenir les déformations.
- **Couche de base (G.B)** : elle est constituée de gravier 0/25 et bitume elle est d'une épaisseur de 20 cm. cette couche supporte exactement l'action des véhicules à l'intérieur de laquelle les pressions élevées s'atténuent avant d'être transmise à la couche de fondation.

**d- La couche de surface :**

A son tour la couche de surface a généralement une structure bicouche :

- **La couche de roulement** : c'est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat. On lui demande des qualités d'usage précises à savoir : une forte adhérence, une bonne dérivabilité, un bon niveau d'uni et une Réduction du bruit de roulement des véhicules. Selon les besoins, on utilise soit la technique des enrobés épais, soit celle des enrobés minces ou bien celle des enrobés très minces voire ultra minces.
- **La couche de liaison** : l'apport structurel de cette couche est secondaire (sauf les chaussées à assise granulaire dont la couche de surface est la seule couche liée), elle est tributaire de la pérennité de la chaussée.

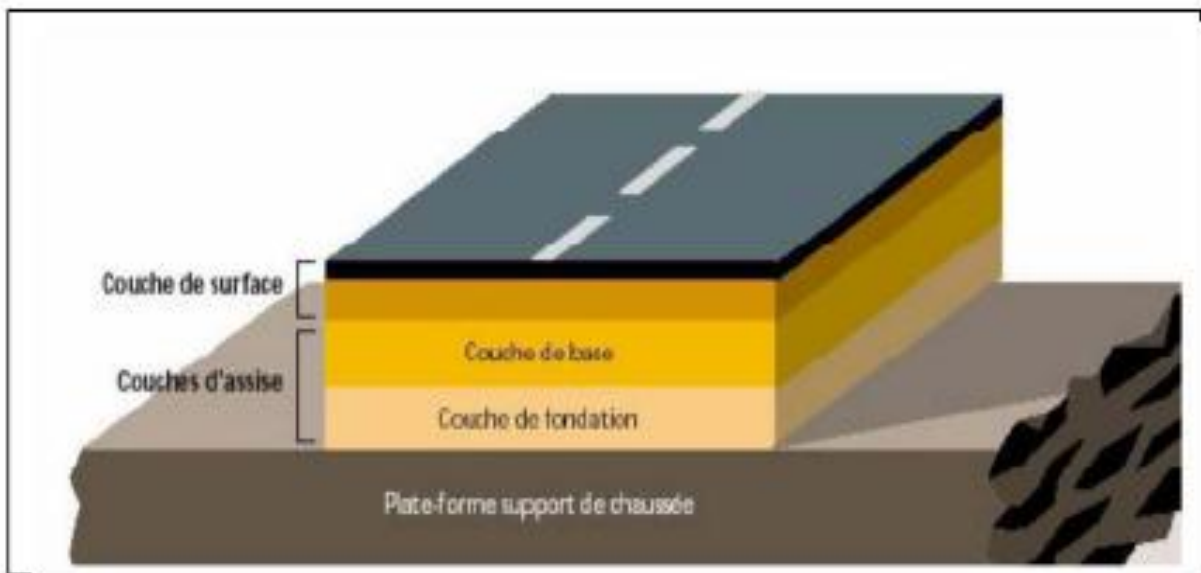
**I-4- Les différentes structures de chaussées :**

Les structures de chaussées sont classées selon la nature des matériaux, leur localisation dans la structure de chaussée et l'intensité du trafic (SET 94, Gidel, 2001), en :

- Les chaussées souples;
- Les chaussées bitumineuses épaisses;
- Les chaussées semi-rigides;
- Les chaussées à structure mixtes;
- Les chaussées à structure inverse;
- Les chaussées rigides.

### I-4-1. Chaussée souple:

Elle comporte une couverture bitumineuse mince (moins de 15cm), parfois réduite à un simple enduite superficiel, reposant sur où plusieurs couches de matériaux granulaires non traitée (30 à 60cm). L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 30 à 60 cm.

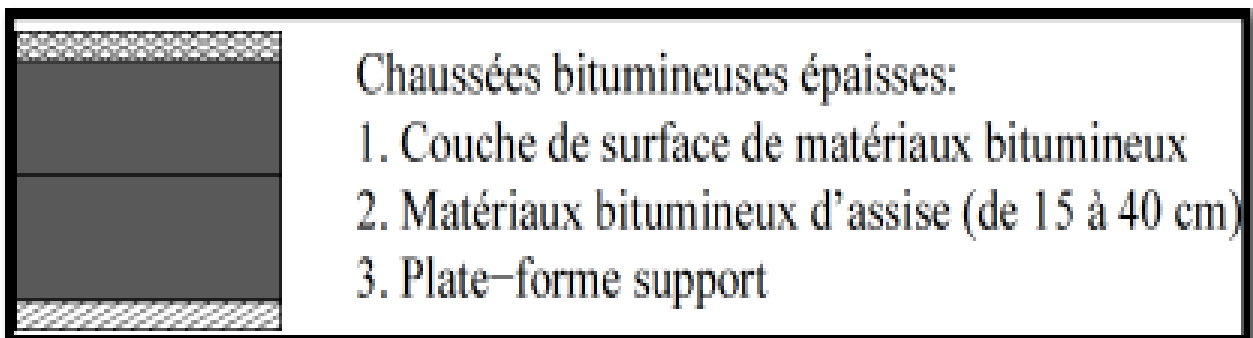


**Fig.I.3: Structure type d'une chaussée souple**

### I-4-2. Chaussée bitumineuse épaisse:

Elle comporte une couche de roulement bitumineuse (4 à 8cm) d'épaisseur, sur un corps de chaussée en matériau traité aux liants hydrocarbonés (15 à 40cm), fait d'une ou deux couches (base et fondation).

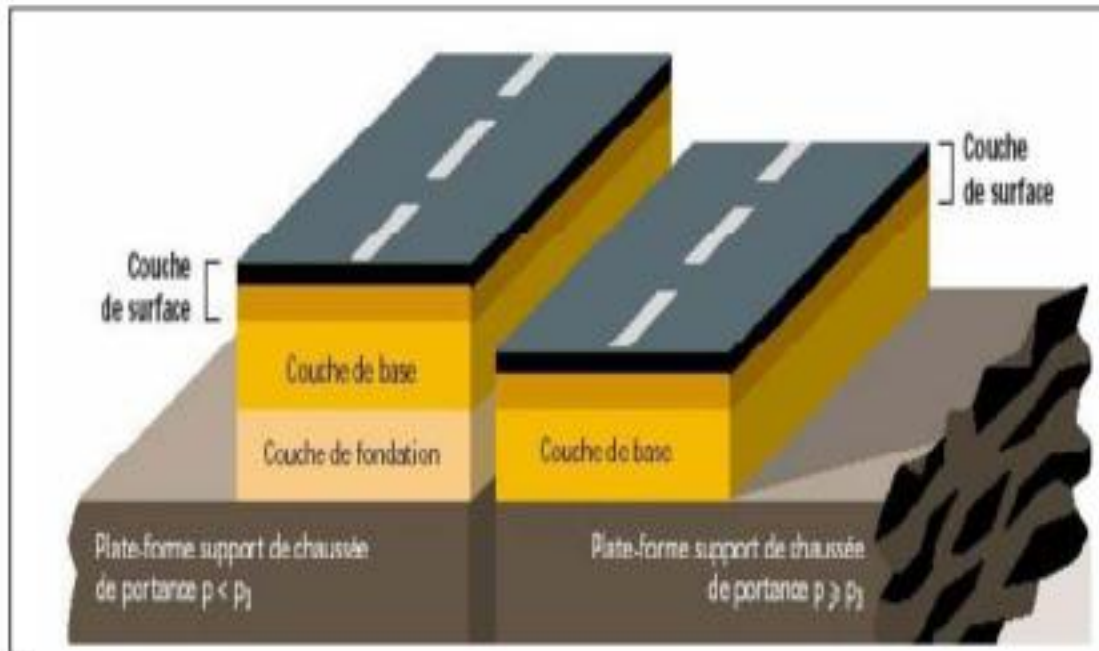
L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 20 et 50cm



**Fig.I.3.1: Structure type d'une Chaussée bitumineuse épaisse**

**I-4-3. Chaussée semi-rigide:**

Assise traitée aux liants hydrauliques de 20 à 50 cm avec une couche de surface en matériaux hydrocarbonés d'épaisseur 6 à 14 cm.



**Fig.I.4 : Structure type d'une chaussée semi-rigide**

**I-4-4- Les chaussées à structure mixte :**

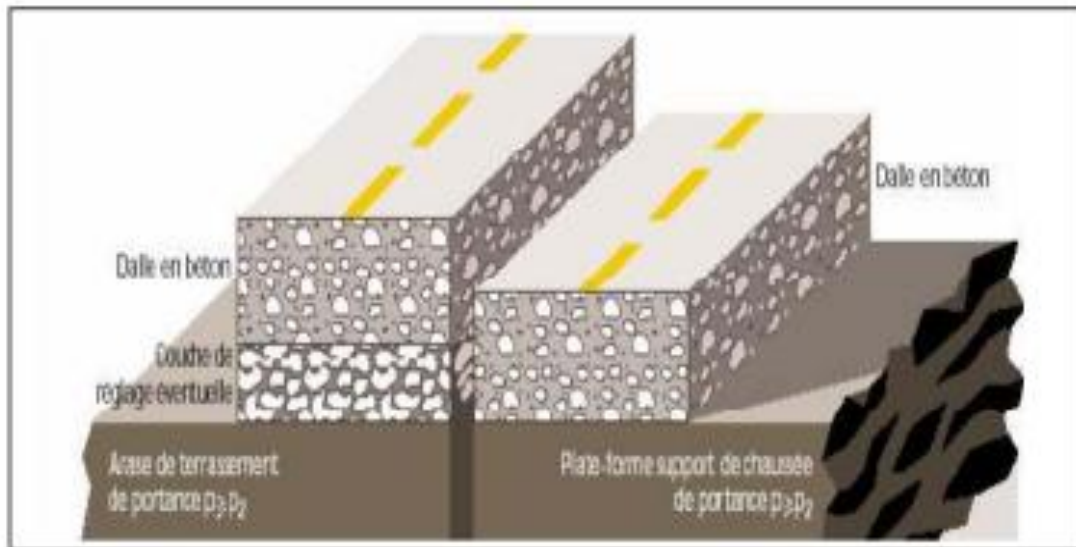
Comportent une couche de surface et une couche de base en matériaux bitumineux (10 à 20 cm) sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 40 cm). De plus, le rapport de l'épaisseur de matériaux bitumineux à l'épaisseur totale de la chaussée est de  $\frac{1}{2}$ .



**Fig.I.4.1: chaussées à structure mixte**

### I-4-5-Chaussées rigides

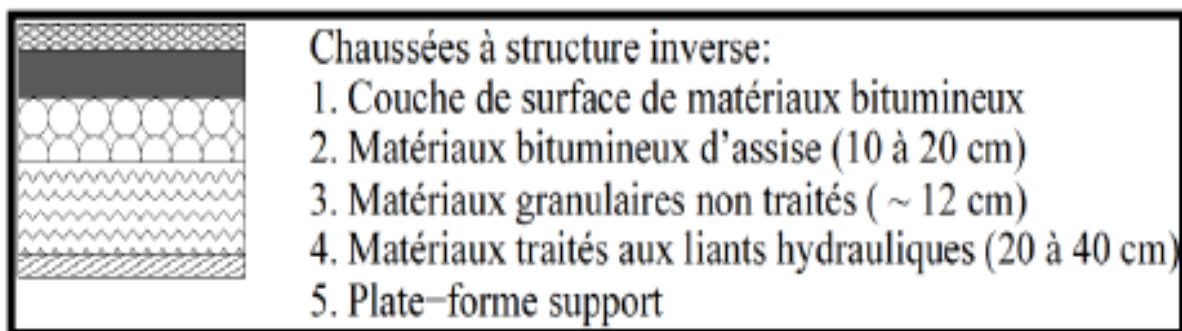
Une chaussée rigide est constituée d'un revêtement en béton de ciment pervibré ou fluide. En règle générale, une chaussée en béton comporte, à partir du sol, les couches suivantes : une couche de forme, couche de fondation, et couche de roulement en béton de ciment. la couche de fondation n'est pas nécessaire. La dalle en Béton de Ciment peut ainsi être réalisée directement sur l'arase terrassement ou sur la plate-forme support de chaussée (Fig. 1.8). Dans la chaussée rigide, la couche de surface et la couche de base sont confondues.



**Fig.I.5 : Structure type d'une chaussée rigide**

### I-4-6- les chaussées à structures inverse :

En les comparant aux structures mixtes, les chaussées inverses comportent une couche supplémentaire de matériaux granulaires non traités d'environ 12cm. Cette couche est introduite entre la couche bitumineuse de 15 cm d'épaisseur et la couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques. L'épaisseur totale de la structure est comprise entre 60 et 80 cm.



**Fig.I.6 : Chaussées à structure inverse [LCPC, 1994]**

La couche intermédiaire en matériaux granulaires non traités est relativement déformable dans le sens horizontal, elle a pour fonction de limiter les fissures. La dégradation de ces structures est provoquée par des orniérages limités et des fissures transversales de fatigue. La mise en œuvre est plus sensible aux imperfections que celles pourvues de couche collées, elles sont particulièrement sensibles à l'eau. En effet, la circulation de l'eau dans la couche intermédiaire conduit rapidement à la ruine des couches supérieures

#### I-4-7- les chaussées à structures composite :

C'est une structure qui a été l'objet d'une étude technico-économique au début des années 1990. Cette étude a pour but d'assembler la qualité de durabilité des bétons de ciment avec les qualités souplesse et capacité d'adaptation des matériaux bitumineux. Deux nouvelles structures ont été développées :

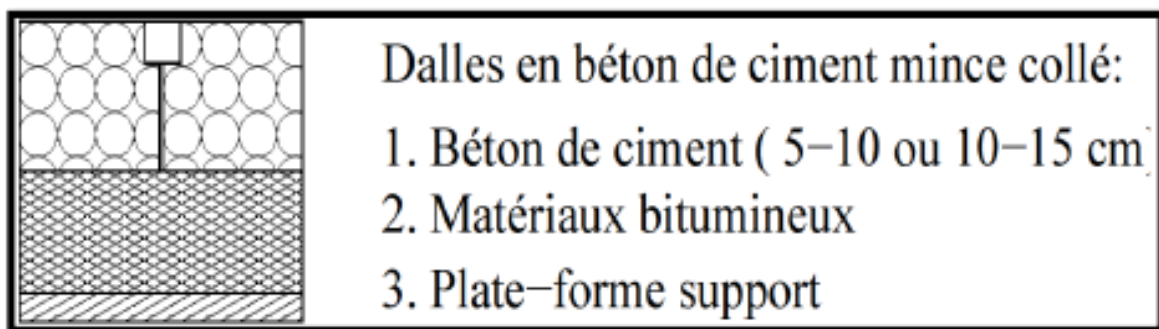


Fig.I.7 : Béton de ciment mince collé (BCMC)

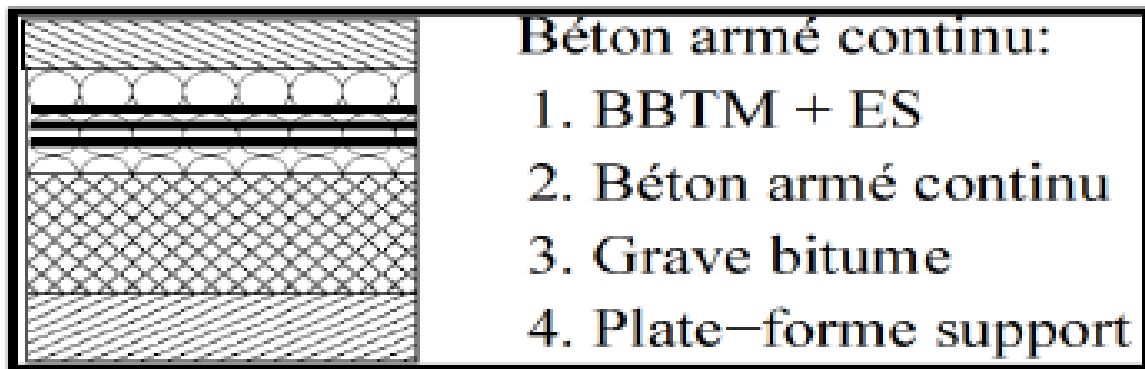


Fig.I.8 : Béton armé continu sur Grave bitume (BAC/GB)

## I-5 Dimensionnement de la structure de chaussée :

### I-5-1 Method C.B.R (California – Bearing – Ratio)

C'est une méthode (semi-empirique), elle se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon de sol support en compactant les éprouvettes de (90 à 100°) de l'O.P.M. les abaques qui donnent l'épaisseur «e» des chaussées en fonction des pneus et du nombre de répétitions des charges, tout en tenant compte de l'influence du trafic.

L'épaisseur de la chaussée, obtenue par la formule CBR améliorée, correspond à un matériau bien défini (grave propre bien graduée).

Pour ce matériau, le coefficient d'équivalence est égal à 1. Et pour les qualités différentes, il faudra utiliser le coefficient (ei), tel que :  $e = \sum a_i e_i$

$a_i$  : coefficient d'équivalence de chacun de matériau à utiliser.

Les coefficients d'équivalence pour chaque matériau sont présentés dans le tableau .1.2

**Tab. I.1: coefficients d'équivalence pour chaque matériau**

Matériaux utilisé	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux –enrobé dense	2.00
Grave bitume	1.70
Grave ciment –grave laitier	1.50
Sable ciment	1.00 a 1.20
Grave concassé ou gravier	1.00
Grave roulée –grave sableuse-TVO	0.75
Sable	0.50
Grave bitume	1.60a1.70
TUF	0.60

### I-5-2- Méthode A.A.S.H.O

Cette méthode empirique est basée sur des observations du comportement, sous trafic des chaussées réelles ou expérimentales. Chaque section reçoit l'application d'environ un million des charges roulantes qui permet de préciser les différents facteurs :

- L'état de la chaussée et l'évolution de son comportement dans le temps.
- L'équivalence entre les différentes couches de matériaux.
- L'équivalence entre les différents types de charge par essai.

- L'influence des charges et de leur répétition.

### I-5-3- Méthode d'ASPHALT INSTITUTE

Basée sur les résultats obtenus des essais «AASHO » on prend en considération le trafic composite par échelle de facteur d'équivalence et utilise un indice de structure tenant compte de la nature des diverses couches. L'épaisseur sera déterminée en utilisant l'abaque de l'asphalte institutes.

### I-5-4- Méthode du catalogue des structures

Catalogue des structures type neuf est établi par «SETRA » Il distingue les structures de chaussées suivant les matériaux employés (GNT, SL, GC, SB).

Il considère également quatre classes de trafic selon leur importance, allant de 200 à 1500 Véh/J.

Il tient compte des caractéristiques géotechniques du sol de fondation.

Il se présente sous la forme d'un jeu de fiches classées en deux paramètres de données :

- Trafic cumule de poids lourds à la 20 ème année Tj. Les caractéristiques de sol (Sj).

**Tab. I.2: Détermination de la classe du sol**

Classe de sol	Indice C.B.R
S1	25-40
S2	10-25
S3	05-10
S4	<05

### I-5-5- Méthode LCPC (laboratoire central des ponts et chaussées)

Cette méthode est dérivée des essais A.A.S.H.O, elle est basée sur la détermination du trafic équivalent donnée par l'expression :

$$Teq = [ TJMA. a [(1+Z) n -1] . 0.75. P. 365 ] / [(1+z) -1] .$$

Avec :

- Teq : trafic équivalent par essieu de 13t.
- TJMA : trafic à la mise en service de la route.
- a : coefficient qui dépend du nombre de voies.
- Z : taux d'accroissement annuel.
- n : durée de vie de la route.
- p : pourcentage de poids lourds.

---

Une fois la valeur du trafic équivalent est déterminée, on cherche la valeur de l'épaisseur équivalente  $e$  (en fonction de  $T_{eq}$ , ICBR) à partir de l'abaque L.C.P.C.

L'abaque L.C.P.C est découpé en un certain nombre de zones pour lesquelles, il est recommandé en fonction de la nature et la qualité de la couche de base.

#### **I-5-6-Méthode du catalogue des structures algérien**

Cette méthode découle du règlement algérien en B60 – B61, et elle consiste à déterminer la classe du trafic des poids lourds à la 20ème année et de la classification du sol support. Une grille combinant ces deux paramètres permet au projecteur de trouver le type de chaussée qu'il devire suivant la disponibilité des matériaux aux environs.

## **CHAPITRE II :**

# **LES ENROBES BITUMINEUX**

## II-1- Introduction :

Le bitume rentre dans la composition des enrobés qui sont des mélanges complexes dont les caractéristiques et les propriétés mécaniques sont transmises par ce liant.

Dans les structures routières, les matériaux bitumineux subissent des sollicitations de trafic et de température qui sont à l'origine de modifications de leur comportement d'une part, et de différents types de dégradations d'autre part.

Ces deux notions font objet de ce chapitre ou nous abordons les différents types et caractéristiques de chaque une.

## II-2- Les enrobés :

### II-2-1- Définition :

Un enrobés (ou enrobé bitumineux) est une appellation générique qui désigne le revêtement de voirie. C'est un mélange de gravier, de granulats concassés, de sable et d'un liant hydrocarboné appelé bitume (enrobé bitumineux environ 5 %) appliqué en une ou plusieurs couches pour constituer la chaussée des routes.

### II-2-2- Constitution :

Un enrobé bitumineux est constitué de différents matériaux, que chacun d'entre eux doit présenter les caractéristiques recommandées par les textes en vigueur.

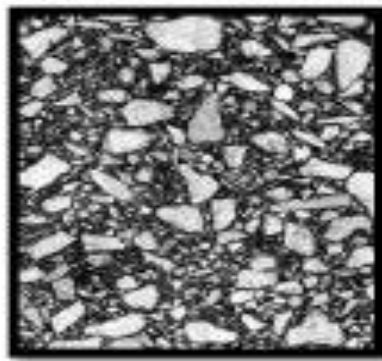


Fig.II.1:Matériaux bitumineux

### a- Granulats :

La granularité du squelette des enrobés est définie par les dimensions extérieures des éléments qui la composent. Ces granularités sont généralement de classe 0/6, 0/10, 0/14.

Ces éléments solides peuvent être :

- grenue** : le pourcentage en gravillons est élevé contrairement à celui du sable ;
- semi-grenue** : le dosage gravillon-sable est particulièrement étudié ;
- discontinue** : une des fractions granulaires est absente dans le mélange exp : petit gravillon ;
- continue** : toutes les fractions granulaires sont présentes.

Ils doivent répondre aux exigences de la norme française NFP 18-321 granulats routiers et aux spécifications complémentaires qui figurent dans les documents en vigueur pour chaque technique considérée.

- La forme donnée par le coefficient d'aplatissement à la courbe granulométrique ;
- La propreté donnée par la mesure de l'équivalent de sable et la valeur au bleu ;
- L'angularité exprimée par le rapport de concassage ;
- La résistance aux chocs ;
- La résistance à l'usure par frottement ;
- La résistance au polissage mesurée par le coefficient de polissage accéléré (CPA).

#### **b- Fines :**

Particules fines (poussière) de diamètre  $< 0,08$  mm, présentes naturellement dans les granulats.

Lorsque leur teneur en fines apportée naturellement est insuffisante ; il faut prévoir l'ajout des fines d'apport.

Le rôle de ces éléments est réalisation de l'enrobage du liant avec les granulats.

#### **c- Les dopes et les activateurs :**

Leur rôle est de renforcer la résistance des enrobés face à l'action des agents extérieurs (eau, sels de déverglaçage).

#### **d- Liants hydrocarbonés :**

Constitués essentiellement de bitume, ils doivent présenter certaines propriétés physiques qui sont :

- La résistance aux différentes sollicitations (traction, compression, cisaillement.....) ;

- Eviter la susceptibilité thermique (ne devient plus rigide par temps froid et plus mou par temps chaud) ;
- L'adhésivité entre le liant et le granulat ;
- La résistance au vieillissement sous l'influence de l'oxygène de l'air.

### **II-2-3-Familles d'enrobés bitumineux :**

Il existe plusieurs formules d'enrobés qui sont caractérisés par :

- Leur granulométrie
- Le type de liant et la teneur en liant
- La procédé de fabrication (chaud ou froid)
- L'adjonction éventuelle de matériaux particuliers.

#### **II-2-3-1-Produit à chaud :**

Il s'agit des enrobés fabriqués à chaud (aux alentours de 180°C) et appliqués à chaud (aux alentours des 150°C).

- **Béton bitumineux :**

Enrobé riche en bitume, utilisé principalement pour les couches de roulement, ils sont classés en fonction de leur granulométrie :

##### **a- Béton Bitumineux Ultra Mince (BBUM) :**

Epaisseur de couche de 2 cm, utilisé pour les couches de roulement particulières où une macro texture importante est recherchée ou dans le cas de travaux d'entretien de surface.

##### **b- Béton Bitumineux Très Mince (BBTM) :**

Utilisé pour les couches de roulement. Epaisseur de couche de 2,5 cm. elle permet de réaliser une couche d'usure qui, après quelques années, pourra être rabotée et refaite ou pour des points particuliers où une forte macro texture est recherchée.

##### **c- Béton Bitumineux Mince (BBM) :**

Appliqués en épaisseur de l'ordre de 4cm.

##### **d- Béton Bitumineux Semi-Grenu (BBSG) :**

Utilisé pour les couches de roulement. Epaisseur de couche d'environ 6 cm.

- **Grave bitume :**

Enrobé à plus faible teneur en liant destiné aux couches de fondation ou de base. L'épaisseur est comprise entre 8 et 14cm

On distingue également d'autres formules:

- Enrobé à Module Elevé (EME) : pour les couches d'assise
- Enrobé drainant : pour couche de roulement
- Enrobé avec adjonction de colorant
- Enrobé avec adjonction de polyéthylène
- Enrobé avec adjonction de verre pilé
- Enrobé avec adjonction de matériau local.

### III-2-3-2- Produits à froid :

Il s'agit d'enrobés fabriqués et appliqués à froid, par adjonction d'émulsion de bitume garantissant la malléabilité du matériau.

- Enrobé froid : enrobé de faible granulométrie (0/4 ou 0/6 en principe) avec une forte teneur en liant et en fines, généralement utilisé de manière temporaire pour permettre la circulation de véhicules sur des voies en cours de travaux, ou encore pour reboucher des petites tranchées, trous, et nids de poules sur des chaussées déformées. Cet enrobé est très utilisé au printemps en période de dégel, pour réparer les détériorations de la chaussée dus au gel.
- **Grave émulsion** : mélange de grave avec une faible proportion d'émulsion de bitume.
- Il existe aussi des enrobés bitumineux à froid qui sont destinés à la réalisation de couches de roulement. Ce sont des enrobés hydrocarbonés à froid (non stockables) ou tous les granulats sont recouverts de liant.

### II-2-4-Fabrication des enrobés :

Les enrobés sont fabriqués par une centrale d'enrobage (ou poste d'enrobage), à froid ou à chaud.

Il existe des centrales fixes, situés généralement à proximité d'une carrière, ou mobiles, principalement utilisées lors des grands travaux tels que la construction d'une autoroute.

Le processus de fabrication d'enrobé suit les étapes suivantes :

- **Alimentation** : remplissage de trémies (« pré doseurs ») avec les différentes coupures de granulats, à l'aide d'un chargeur.
- **Adjonction éventuelle de fillers contenu dans un silo.**
- **Convoyage** : le pré doseurs déversent leur contenu à des vitesses différentes correspondant à la proportion désirée par coupure de matériau (en fonction de la formule d'enrobé à produire), sur un tapis convoyeur.

- **Séchage** : les matériaux sont enfournés dans le tambour malaxeur de la centrale, qui est un cylindre pouvant mesurer plus de 10 mètres de long et 2 m de diamètre, animé par des galets provoquant sa rotation, et disposant à l'autre extrémité d'un brûleur (généralement alimenté au fioul lourd), dont la flamme peut mesurer plusieurs mètres. À l'entrée du tambour, et tout au long de leur progression à l'intérieur de celui-ci, les matériaux sont séchés par la température de la flamme.
- **Malaxage** : tout au long de leur progression, les matériaux sont mélangés grâce à la rotation du tambour et des lames placées à l'intérieur.
- **Adjonction des fines de recyclage** : les fumées issues du séchage sont filtrées et les fines contenues dans ces fumées sont réinjectées dans le tambour afin de respecter la granulométrie initiale.
- **Adjonction du bitume** : les matériaux parvenant à l'autre extrémité du malaxeur sont « enrobés » avec le bitume injecté à l'aide d'une pompe selon la teneur désirée, et un dernier malaxage est effectué.
- **Stockage** : l'enrobé produit est ensuite stocké en trémies, soit à l'aide d'un chariot (ou skip) dans lequel on déverse l'enrobé en sortie du malaxeur par gâchées, soit en continu à l'aide de tapis adaptés.
- **Chargement** : l'enrobé stocké est ensuite chargé dans les camions qui se placent sous les trémies de stockage, ou se trouve une bascule.

#### II-2-5- teneur en liant dans un enrobé :

Afin d'assurer la cohésion d'un enrobé et l'enrobage de tous les grains, il faut définir une teneur en liant optimale.

Au pourcentage de liant, on peut relier la notion de module de richesse qui caractérise l'épaisseur moyenne du film de bitume qui entoure les granulats :

$$P = K\alpha \sqrt[3]{S}$$

**P** : teneur en liant ;

**$\alpha$** : Coefficient de correction pour prendre en compte la masse volumique

Réelle des granulats

( $\alpha = 2,65 / \text{masse volumique réelle des granulats}$ ) ;

**K**: module de richesse variant de 2,75 pour les enrobés donnant le maximum de résistance, à 3,5 pour les enrobés les plus souples.

**S** : surface spécifique des granulats (m<sup>2</sup>/kg) c.à.d. la surface développée qu'auraient les granulats assimilés à des sphères.

Pour un mélange granulométrique donné, la formule suivante permet d'avoir une approximation de la surface spécifique  $S$  :

$$100S = 0,17G + 0,33g + 2,3S + 12s + 135f \text{ Avec :}$$

$G$  : pourcentage de gros gravillons ( $\emptyset > 11$ )

$g$  : pourcentage de petits gravillons ( $\emptyset > 6/11$ )

$S$  : pourcentage de gros sable ( $\emptyset > 0,3/6$ )

$s$  : pourcentage de sable fin ( $\emptyset > 0,08/0,3$ )

$f$  : pourcentage de filler ( $\emptyset < 0,08$ )

Puisque le pourcentage de filler est prépondérant en ce qui concerne la surface spécifique et donc la teneur en liant, on utilise parfois la formule suivante :

$$S = 2,5 + 1,3f$$

### II-2-6- Influence des actions appliquées à la chaussée sur les enrobés bitumineux :

L'influence des propriétés du liant bitumineux sur celles de l'enrobés, rend le comportement de ce dernier dépendant de la vitesse de chargement et de la température.

#### II-2-6-1- Effet du trafic :

Le passage des véhicules impose des chargements sur les différentes couches de la chaussée.

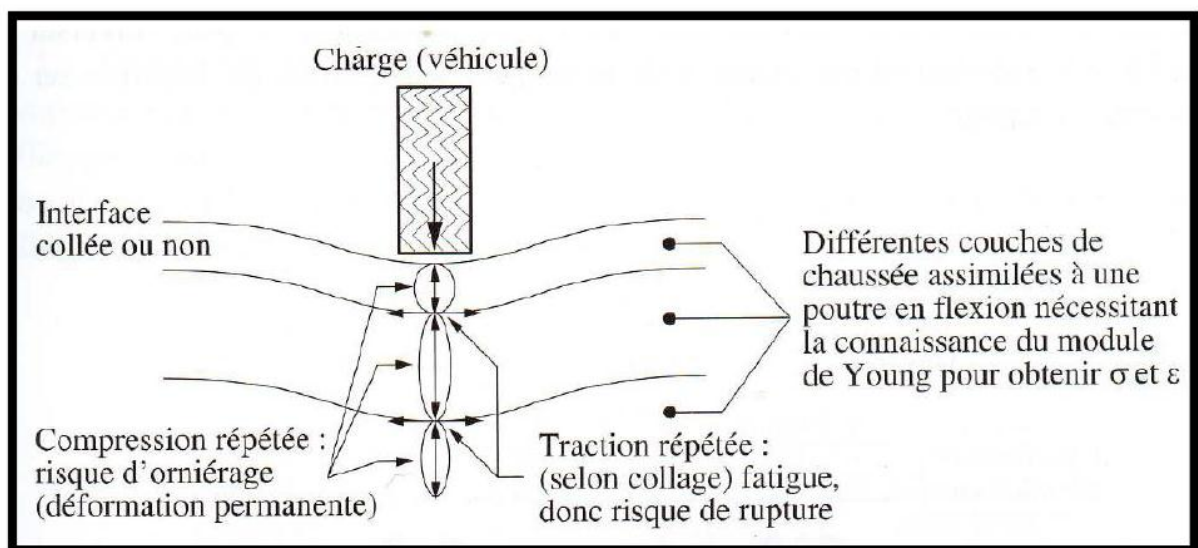


Fig.II.2: Sollicitations induites par le trafic [Di Benedetto et Corté, 2005]

Le calcul des efforts et des déformations effectué par un modèle multicouche élastique linéaire isotrope, donne une bonne approximation des modes de fonctionnement de chaque couche suivant sa position en profondeur dans la structure.

Sous l'effet des sollicitations cycliques on trouve que :

- La base des couches est soumise à des tractions répétées qui créent des micro-dégradations et entraînent la ruine des couches. C'est le phénomène de fatigue.
- La partie supérieure des couches est soumise à des compressions répétées qui entraînent des déformations permanentes qui induisent parfois un **orniérage**.

### II-2-6-2- effet de la température :

Les chargements consécutifs aux variations de la température entraînent une variation de la rigidité d'un enrobé bitumineux.

A basse température, l'enrobé devient rigide et fragile tandis qu'à haute température, il se ramollit et devient ductile.

D'autre part, les cycles thermiques engendrent le phénomène de contraction-dilatation, qui peut provoquer des fissures et des dégradations de la chaussée.

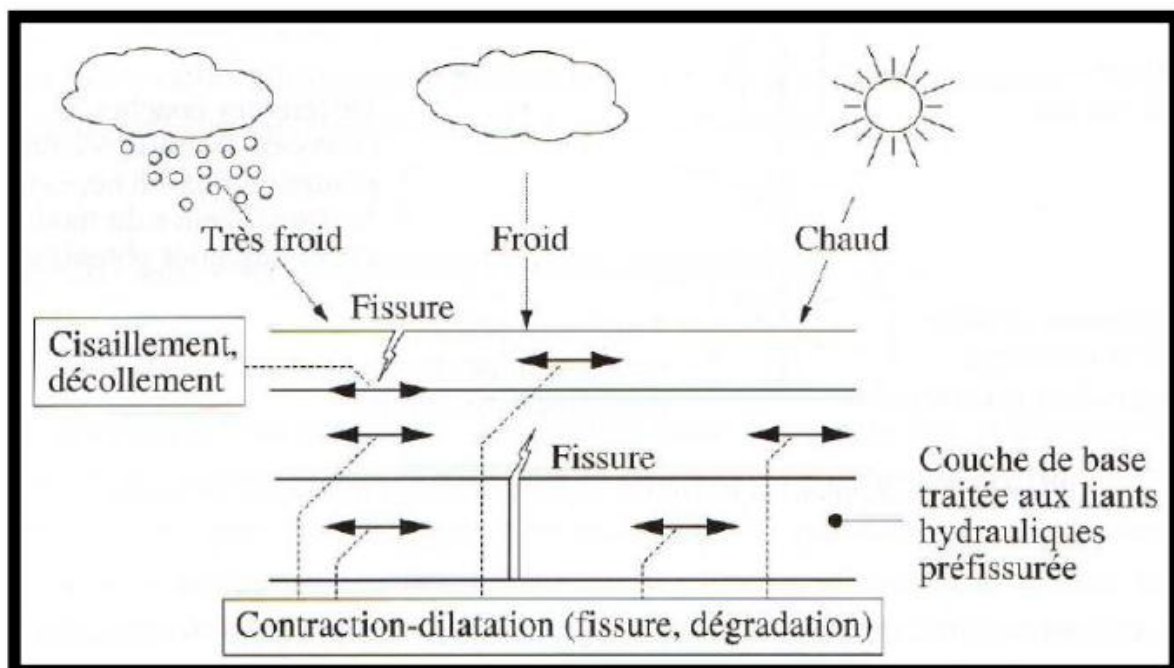


Fig.II.3: Sollicitations induites par la température [Di Benedetto et Corté, 2005]

### II-2-7- Étude des liants hydrocarbonés :

Se sont des liants organiques constitués essentiellement d'hydrocarbures, donc à base d'atome de carbone et d'hydrogène, auxquels s'ajoutent l'oxygène, l'azote, le soufre ..... En faibles quantités.

On distingue les trois familles suivantes :

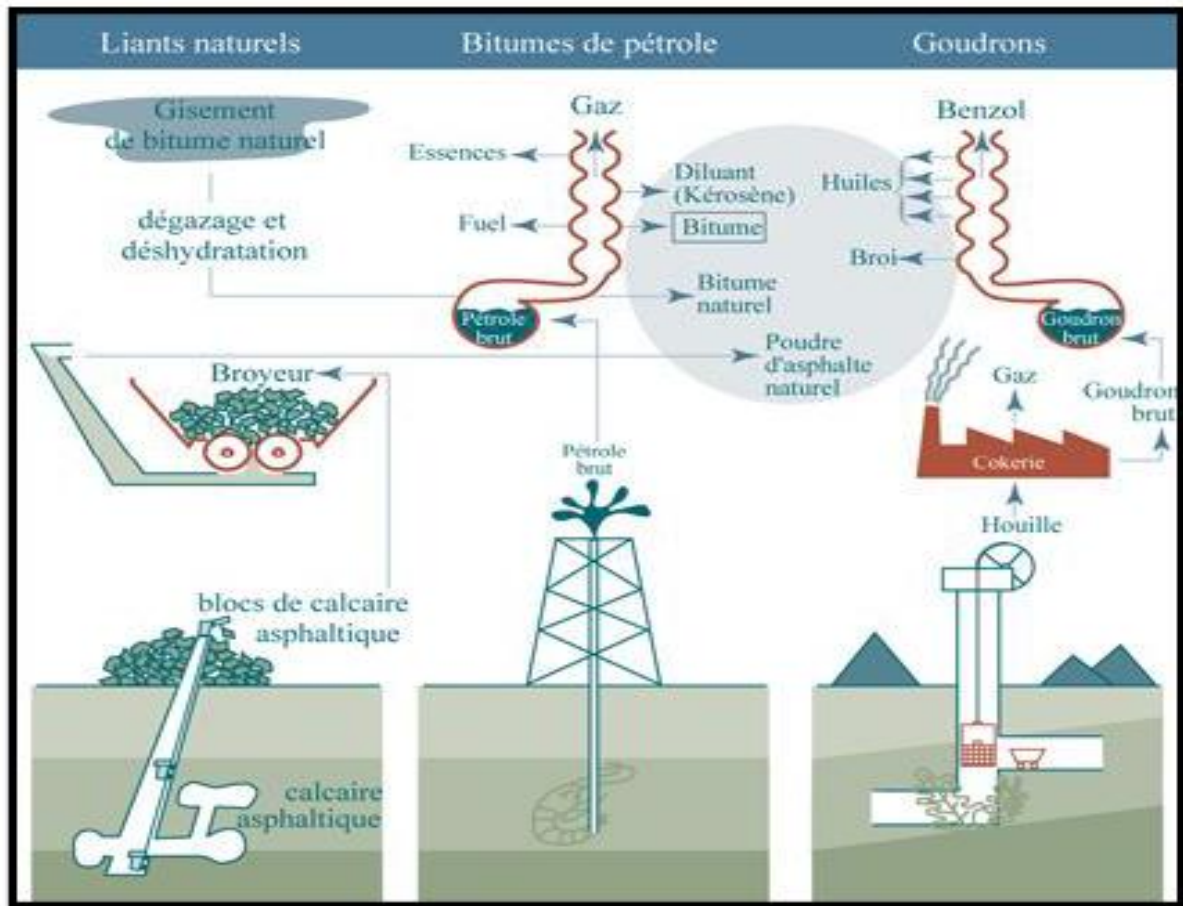


Fig.II.4 : Genèse de produit de base

#### II-2-7-1- Les goudrons :

Les goudrons sont le produit de la pyrogénéation à l'abri de l'air de matières d'origine végétale, telles que la lignite, la tourbe, le bois...etc.

Le plus souvent il s'agit de houille et l'on devrait alors les désigner précisément par "goudron de houille" ou brai.

Ils proviennent, soit :

- Des cokeries, où l'on traite la houille pour fabriquer le coke nécessaire à l'industrie sidérurgique ;
- Des usines à gaz, où l'on traite la houille pour produire du gaz d'éclairage  
Les goudrons ne sont que très peu utilisés dans les techniques employées pour les travaux routiers, sauf par exemple dans le cas d'enrobés anti-kérosène du fait qu'ils ne se dissolvent dans les solvants à base du pétrole.

### **Caractéristiques du goudron :**

- densité  $D_r=1,16$  à  $1,27$ , à  $T=25^\circ\text{C}$ .

- non dissolution dans les produits d'origine pétrolière.

- meilleure adhésivité aux granulats, en les comparant aux bitumes, mais plus grande susceptibilité à la température (durcissement à température basse et ramollissement aux températures élevées)

- vieillissement plus rapide.

### **II-2-7-2- les liants naturels (bitume naturel ou roche asphaltique) :**

Sont appelés naturels car on les trouve en l'état dans la nature

#### **II-2-7-2-1- l'asphalte naturel :**

Le mot asphalte, qui a son origine dans le terme akkadien "asphaltu", fut adopté par les Grecs sous la forme de l'adjectif aspales qui signifie durable.

La phase minérale est continue ; il s'agit de roche le plus souvent calcaire, poreuse imprégnée en profondeur de liant hydrocarboné. C'est la roche asphaltique qui, après broyage donne naissance à l'asphalte.

L'asphalte naturel entre traditionnellement dans la composition de l'asphalte coulé. Il peut également être utilisé comme appoint dans les enrobés auxquels il apporte du liant et des fines.

#### **II-2-7-2-2- Bitume naturel :**

La phase minérale est discontinue ; il s'agit d'un bitume naturel au sein duquel les minéraux sont présents sous forme de poudre, dispersée dans le liant comme le bitume de Mésopotamie, de Selenitza et le bitume de Trinidad qui relève du premier type de gisement.

Le bitume existe sous forme de résidu d'anciens gisements de pétrole dont les éléments les plus légers ont été éliminés au cours du temps par une sorte de distillation naturelle. Extraits soit à ciel ouvert, les gisements se présentent alors comme de véritables lacs. Le bitume peut aussi se présenter sous forme de filons en sous-sol.

Les liants naturels ne sont guère utilisés que comme ajouts pour certaines utilisations particulières, compte tenu de leurs caractéristiques spécifiques (aptitude à être colorés, effet stabilisateur pour les asphaltes coulés...).

### II-2-7-3- Les bitumes « bitume brut dérivé du pétrole » :

Les bruts à bitume sont des bruts lourds venant du Venezuela ou du Moyen Orient. Se sont des produits en raffinerie à partir de la distillation fractionnée de certains pétroles bruts.

#### II-2-7-3-1- Fabrication des bitumes :

En fonction de la situation géographique du gisement, certains pétroles permettent d'obtenir une grande quantité de bitume et sont qualifiés de bruts à bitumes. Les différents types de bitumes sont obtenus à l'issue du processus de raffinage qui est composé plusieurs étapes :

– **La distillation atmosphérique** : Dans un premier temps, après avoir effectué les opérations de décantation et de dessalage, le pétrole brut est porté à une température d'environ 300°C. La phase vapeur est éliminée et condensée pour séparer les différents produits hydrocarbures (kérosène, gaz, essences, fuel, fuel lourd, ...) en fonction de leur volatilité. La fraction lourde restant au fond de la colonne constitue le résidu de la distillation directe et sert à l'élaboration du bitume ;

– **La distillation sous vide** : Ce résidu est ensuite injecté dans une tour de distillation sous vide où la séparation des différents constituants se poursuit en jouant sur les paramètres débit, pression et température. Le produit formé en fond de cuve est alors un résidu de distillation sous vide ;

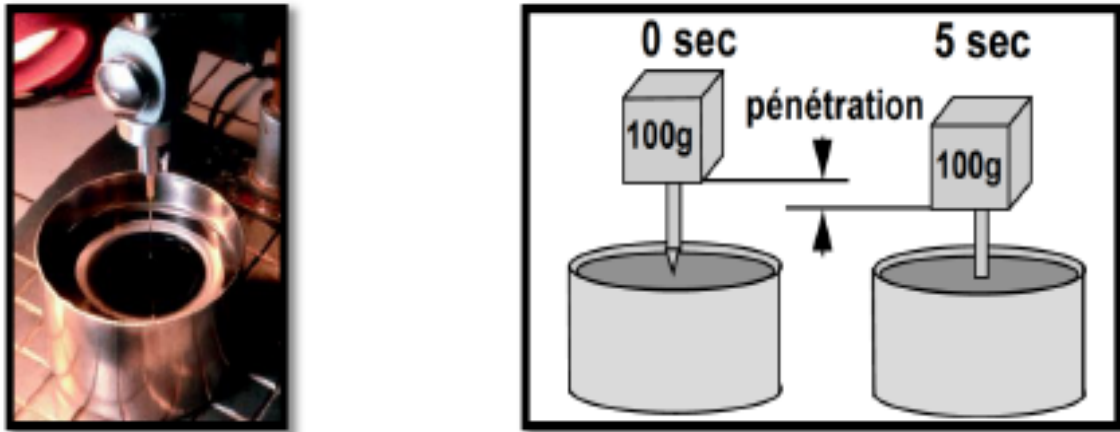
– **Le soufflage** : Une opération de soufflage peut être pratiquée sur le résidu de distillation sous vide pour des colonnes peu performantes ou selon d'autres procédés de fabrication des essences et des huiles minérales sur les résidus pour les amener à la dureté souhaitée. Le soufflage des bitumes consiste à injecter de l'air au sein d'une base bitumineuse elle-même portée à une température comprise entre 250°C et 300°C.

De très nombreuses réactions chimiques se déroulent provoquant une condensation des résines et de molécules d'asphaltènes. Le bitume obtenu est appelé bitume soufflé.

#### II-2-7-3-2- Essais appliqués sur le bitume :

##### a) La pénétrabilité à 25°C (Pen) (Norme NFT 66 004) :

La pénétrabilité à l'aiguille est la profondeur d'enfoncement, exprimée en dixièmes de millimètre, d'une aiguille normalisée de 1 mm de diamètre, sous une charge de 100 g, appliquée pendant 5 s sur un échantillon de bitume maintenu à 25 C°.



**Fig.II.5 : Essai de pénétrabilité pour le bitume**

Dans ces conditions, plus un bitume est dur, plus la valeur de sa pénétrabilité est faible.

On distingue par exemple les classes suivantes :

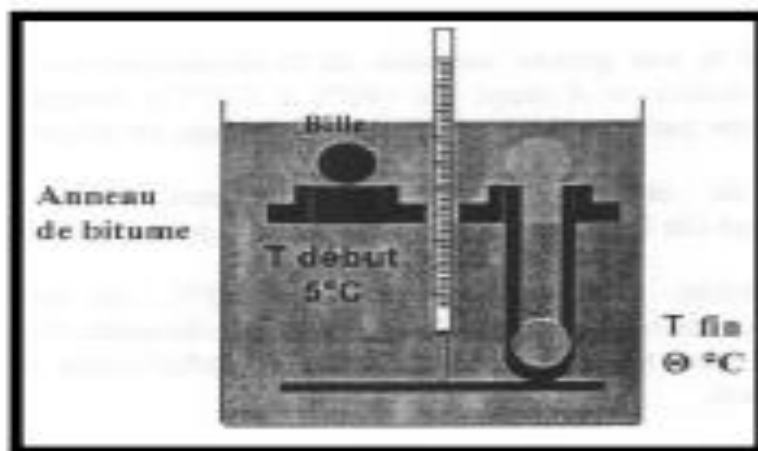
10/20 et 35/50 → bitumes durs ;

50/70 et 70/100 → bitumes semi durs ;

180/220 → bitumes mous.

**b) La température bille et anneau TBA (norme NFT 66 008) :**

C'est la température à laquelle s'enfonce une bille à travers un bitume remplissant le cercle intérieur d'un anneau de laiton placé dans un bain thermostaté. Il s'agit de la température à laquelle le bitume étudié atteint un certain degré de ramollissement.

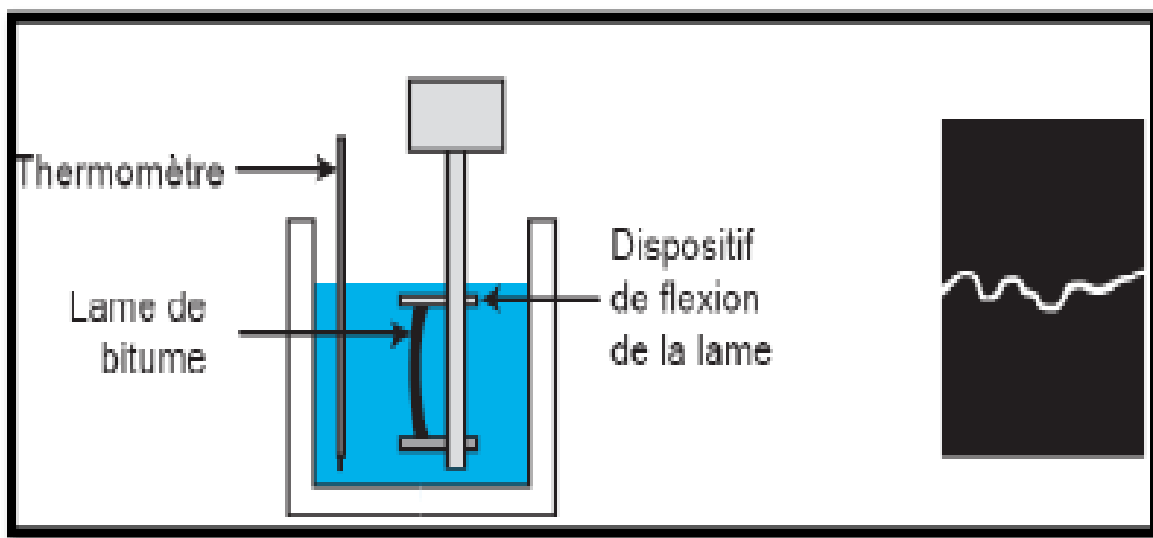


**FigII.6 : Test de TBA**

Les conditions d'élévation de la température sont normalisées, évaluant de 5°C à la TBA dont la valeur est attachée aux comportements liés à des températures de service élevées, notamment les déformations permanentes.

**c) Température de fragilité FRAASS (NF T 66-006) :**

Est un test proposé par Fraass en 1930. cet essai empirique est l'un des seuls tests permettant d'évaluer le comportement du bitume à très basse température, donc il nous permet de déterminer les propriétés à froid d'un bitume. La température de fragilité Fraass correspond à la température à laquelle un film mince de bitume d'une épaisseur normalisée (EN-12593), rompt par fléchissement suite à l'apparition d'une première fissure visible à l'œil nu.



(a) Schéma du dispositif expérimental    b) Lame après rupture

**Fig.II.7: Principe de l'essai Fraass**

Le principe de cette essai est de soumettre à l'aide d'un dispositif expérimental (fig. 11(a)) un film de bitume d'épaisseur 500µm déposé sur un plaquette d'acier flexible de 41x 20mm à des flexions lentes normalisées pendant que la température de l'enceinte réfrigérante est abaissée d'1°C/min.

La température pour laquelle apparaît la première fissure (figure 11(b)) est prise comme température de fragilité Fraass. En 1990, Ramond et Such montrent que la zone critique où se présentent les phénomènes de fissuration

Correspond à des liant bitumineux dont :

- La pénétration est inférieure à 20 1/10 ;
- La température de ramollissement est supérieure à 70°C ;
- La température de fragilité Fraass est supérieure à 0°C.

Bien qu'il soit représentatif du comportement à froid du bitume en film mince, un tel essai ne permet de caractériser les propriétés à la rupture du bitume que pour une condition de sollicitation donnée (vitesse, température).

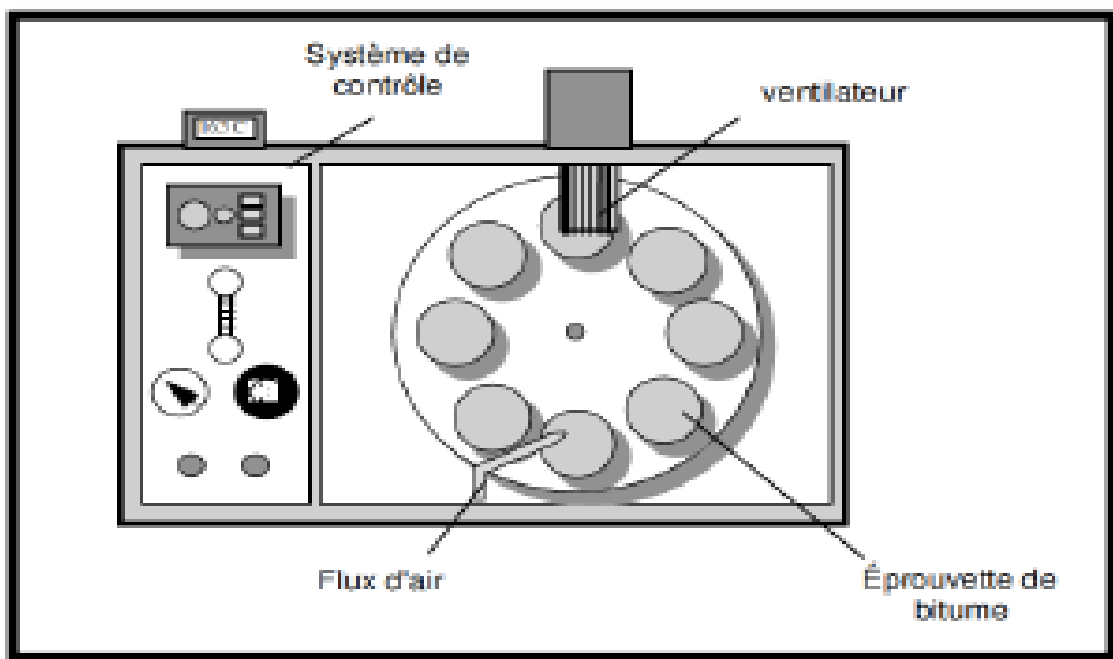
**d- L'essai de vieillissement RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) (NF T 66-032) :**

Cet essai est employé pour mesurer le vieillissement du bitume car il reproduit assez bien l'oxydation et les pertes de matières volatiles qui apparaissent lors de fabrication dans les centrales d'enrobage et lors de la mise en œuvre.

Dans cet essai le bitume est placé en film mince, puis exposé régulièrement à un flux d'air chaud dont le débit est contrôlé, ensuite on mesure sur le liant vieilli :

- La pénétrabilité ;
- La température bille et anneau.

Ces valeurs mesurées sont appelées RTFOT, elles sont comparées par la suite aux valeurs initiales.



**Fig.II.8: essai RTFOT**

**II-2-7-3-3- Classification des bitumes :**

Afin de classer les différents bitumes, les deux essais de caractérisation (pénétrabilité à 25°C et la température de ramollissement bille anneau) cités plus haut sont couramment utilisés.

**Tab. II.1: Catégorie de bitume**

consistance	<<dur>>			<<mou>>	
Appellation	20/30	40/50	60/70	80/100	180/220
Pen 25C°	20/30	35/50	50/70	70/100	180/220
TAB C°	55 à 63 C°	50 à 56 C°	45 à 51 C°	42 à 48 C°	34 à 43 C°

On utilise également la notion d'indice de pénétration (Ip) pour caractériser les variations de consistance en fonction de la température.

$$IP = \frac{20 - 500d}{1 + 50d}$$

d est obtenu à partir des mesures de pénétrabilité à 25 ± C et de la température de ramollissement bille anneau TBA en admettant qu'à cette température la pénétrabilité est de 8001/100mm.

$$d = \frac{\log(800) - \log(pen)}{TBA - 25}$$

**II-2-7-3-4-les types de bitumes**

L'évolution des techniques a conduit à produire de grands types de liants de type bitume :

**a- bitumes purs :**

**b- bitume fluidifié :**

**c- bitume fluxé :**

**d- bitume modifié :**

**e- Les émulsions:**

**f- Les bitumes spéciaux :**

On distingue ainsi :

- les bitumes durs
- les bitumes anti-ornières
- les bitumes émulsionnables
- les bitumes de régénération
- les bitumes pigmentés
- les bitumes clairs

**II.2.7.3-5-Avantage et inconvénient d'utilisation des bitumes****Avantage :**

- Une insolubilité dans l'eau.
- Une imperméabilité à l'eau et à l'air remarquable d'où leur utilisation comme revêtement d'étanchéité, de couverture, de cuvelage.
- Résistance à l'usure ce qui les destine aux revêtements de chaussées, de pistes,...à la réalisation de mortiers et de bétons hydrocarbonés où ils jouent le rôle de liants.
- Résistance à la plupart des acides, des alcalis et des sels.
- Une adhésivité remarquable et un pouvoir pénétrant offrant ainsi une bonne tenue à l'eau.

**Inconvénient :**

- Le vieillissement qui correspond à l'évolution des propriétés du bitume qui se traduit par augmentation de la viscosité, diminution de la pénétrabilité.....
- Ramollissement à la chaleur.
- Faible résistance mécanique à basse température et problème de fissuration.

**CHAPITRE III:**

**DEGRADATION**

**DES CHAUSSEES**

**III-1-Introduction :**

Le climat, le type et l'intensité de trafic, la qualité des sols et les matériaux utilisés ainsi que le système de drainage sont les facteurs essentiels déterminant l'évolution de l'état de la route. Dès sa mise en service, la route commence à se dégrader. Les dégradations se caractérisent par des désordres divers en particulier l'orniérage qui constitue la principale pathologie des chaussées revêtues et les non revêtues. Ce phénomène peut résulter des déformations dans la couche de surface ou des déformations dans les autres couches de la chaussée. Dans ce chapitre, nous intéresserons à l'étude du phénomène de l'orniérage en illustrant les causes, le mécanisme de formation et les facteurs d'influences.

**III -2- Dégradations des chaussées bitumineuses :****III -2-1- Les arrachements :****III -2-1-1- Le décollement :****a- Description :**

Perte d'adhérence entre la couche de surface et la couche de base.



**Fig.III.1: Décollement.**

**b- Aggravation :**

Apparition de nids de poule.

**c- Cause :**

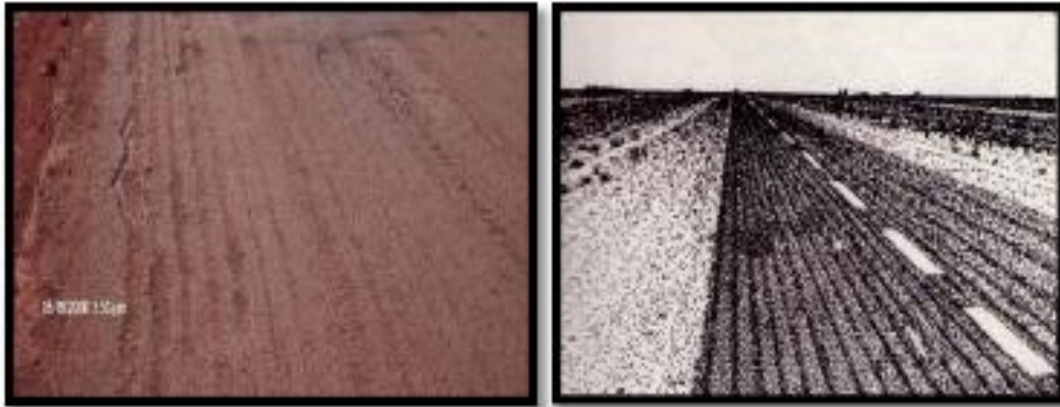
- Adhésivité insuffisante du granulat,
- Gonflement ou retrait des matériaux de couche de base.

**d- Remèdes :**

- Faire un enduit général

**III -2-1-2 – plumage :****a- Description:**

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



**Fig.III.2: plumage**

**b- Aggravations prévisibles :**

Formation de nids de poule

**c- Causes :**

- Teneur en liant insuffisante,
- Ségrégation des granulats à la mise en œuvre,
- Mauvaise nature des granulats,
- Action d'eau et salage des chaussées en hiver.

**d- Remèdes :**

Renouvellement de la couche de surface

**III -2-1-3- Dés enrobage :****a- Description :**

Disparition du mastic (liant + fines) et des granulats avec perte et départ des gros granulats en surface produisant la détérioration du revêtement.



**Fig.III.3: Dés enrobage**

**b- Aggravation :**

Arrachement de granulats et décollement de la partie supérieure du tapis.

**c- Causes possibles :**

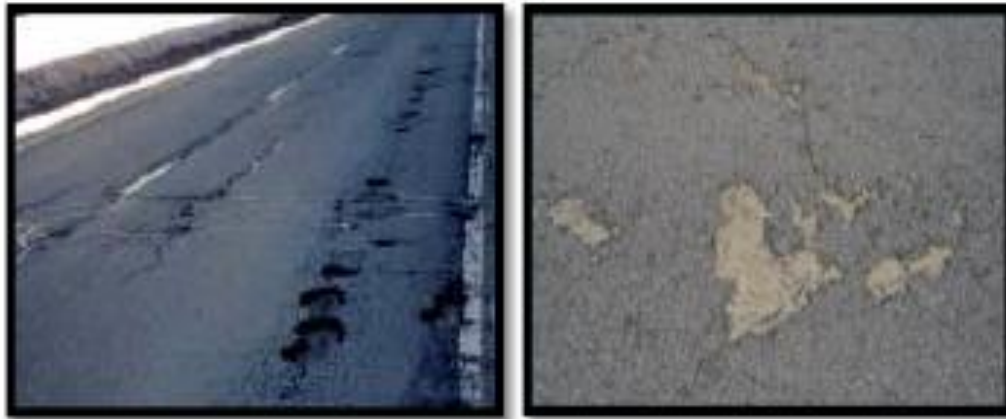
- Usure dues à la circulation intense,
- Sous-dosage du bitume ou mauvaise qualité de l'enrobé,
- mauvaise adhésivité des granulats,
- mauvais compactage
- stagnation d'eau sur la chaussée.

**d- Remèdes :**

- balayage et nettoyage de la surface ;
- renouveaulement de la couche de roulement.

**III -2-1-4-Pelade :****a- Description:**

Arrachement du revêtement de la couche de surface, par plaques plus ou moins grandes.



**Fig.III.4: Pelade**

**b- Aggravations prévisibles :**

La perte de l'étanchéité

La formation de nids de poule

**c- Causes possibles :**

- épaisseur ou compacité insuffisante de la couche de roulement,
- mauvaise adhérence de la couche de roulement sur la couche de base (nettoyage insuffisant avant la mise en œuvre de la couche de roulement, absence de couche d'accrochage, présence d'eau à l'interface),
- manque de perméabilité de la couche de base.

**d- Remèdes :**

- Renouveaulement de la section endommagée avec découpe verticale ;
- rabotage des rives ;
- renouveaulement de la couche de surface (enduit d'usure).

**III -2-1-5- Têtes de chat :****a- Description :**

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



**Fig.III.5: tête de chat**

**b- Aggravation prévisible :**

Qualité et épaisseur de la couche de roulement inadaptée au à la charge du trafic.

**c- Causes possibles :**

Usure très avancée du revêtement sur un corps de chaussée dans le cas :

- d' une chaussée constitué de tout-venant à granularité discontinue,
- d' une couche de surface à granularité trop élevée.

**d- Remèdes :**

Renouveler l'enduit superficiel ou le remplacer localement par un tapis d'enrobés.

**III -2-1-6- Nids de poule :****a- Description :**

Des cavités dues à la désagrégation localisée du revêtement sur toute son épaisseur. Elles sont généralement arrondies, au contour bien défini, de taille et de profondeur variables.



**Fig.III.6: Nids de poule**

**b- Symptômes précurseurs :**

Le nid de poule est l'aboutissement de la plupart des dégradations qui paraissent sans gravité tels que : affaissement, flache, fissure, faïençage, plumage.

**c- Aggravation prévisible :**

- développement et agrandissement du nid de poule,
- infiltration d'eau massive dans le corps de chaussée.

**d- Causes possibles :**

- Atteinte des dégradations de diverse nature le stade ultime,
- Utilisation de matériaux inadaptés lors d'une réparation ou la réparation dans des mauvaises conditions.

**e- Remèdes à apporter :**

- Effectuer un emploi partiel aux enrobés si la profondeur des nids de poule n'excède pas 8 à 10 cm,
- Remanier la couche de base si cette profondeur excède 10cm.

**III -2-2- Les fissurations:****III -2-2-1- Les fissures :****a- Description :**

La fissure est une ligne de rupture apparaissant à la surface de la chaussée.

**b- Symptômes précurseurs :**

Affaissement, flache ou toute déformation abaissant le niveau de la couche de surface.

**c- Aggravations prévisibles :**

- Agrandissement de la fissure,
- Formation de faïençage,
- Formation de nids de poule.

**d- Causes possibles :**

Rupture du revêtement provoquée par une déformation (visible ou non) du corps de chaussée provenant de :

- Tassement du corps de chaussée (retrait ou gonflement des matériaux de la couche de base),
- Joint de bandes d'épandage ou de reprises du travail au finisseur (tapis d'enrobés) mal exécuté,
- Elargissement de chaussée exécuté avec un dimensionnement différent de la chaussée existante,
- Mauvais accrochage de la couche de surface sur la couche de base,
- Différence importante entre la portance du corps de chaussée et celle du tapis d'enrobés,
- Efforts horizontaux importants dus à la circulation (freinage, virages),
- Manque de stabilité de la chaussée sur la rive (accotement non rechargé),
- Effet du gel.

**e- Remèdes à apporter :**

Fermer la surface avec un enduit d'usure ou de scellement (sur enduit superficiel).

**f- Différents types de fissures :****-Les fissures transversales :**

Ces fissures sont sensiblement perpendiculaires à la chaussée. Elles peuvent être isolées ou périodiques d'espacement variable, elles peuvent aussi toucher toute la largeur de la chaussée ou une partie.

Les

fissurations

**Fig.III.7: Fissures transversales.****- Fissures en piste de roues :**

Rupture du revêtement parallèle à la direction de la route et située dans les pistes de Roues, soit dans les bandes numéros 2 et 4.

**Fig.III.8: fissures en piste de roues**

- **Fissures longitudinales (hors des pistes des roues) :**

Rupture du revêtement relativement parallèle à la direction de la route, en dehors des pistes des roues (sur les bandes 1- 3 et 5). Excluant les fissures du gel.



**Fig.III.9: fissures longitudinales.**

- **Fissures de rives :**

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



**Fig.III.10: fissures de rives**

**- Fissures de gel :**

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

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



**Fig.III.11: fissures de gel**

**III -2-2-2- Le faïençage :**

a- Description :

Ensemble de fissures formant un maillage à petites mailles polygonales dont la dimension moyenne est de l'ordre de 30cm ou moins. Cette dégradation est située surtout sur les bandes 2 et 4 (donc sous le passage des roues).



**Fig.III.12: faïençage**

**b- Symptômes précurseurs :**

- Affaissement,
- Flaches,
- Fissures.

**c- Aggravations prévisibles :**

Formation de nids de poule

**- Causes possibles :**

- tassement du corps de chaussées (retrait ou gonflement des matériaux de la couche de base),
- mauvais accrochage de la couche de surface sur la couche de base,
- Vieillesse de la chaussée (oxydation et fragilisation du bitume dans l'enrobé).
- Capacité portante insuffisante.
- présence d'eau dans la couche de base (manque de perméabilité ou remontées d'eau).
- sous-dimensionnement de la couche de surface ou du corps de chaussées.

**e- Remèdes à apporter :**

- mise en œuvre d'un enduit superficiel avec balayage des rejets par aspiratrice ou pontage des fissures et mise en œuvre d'un enduit superficiel avec balayage des rejets par aspiratrice;
- ou reprise de la couche de roulement après rabotage (purge éventuelle de la structure).

**III -2-2-3- Les épaufrures :****a- Description:**

Ecrasement et effritement du revêtement en bord de chaussée ou du rail.



**Fig.III.13: Les épaufrures**

**b- Symptômes précurseurs :**

Erosion régressive de l'accotement.

**c- Aggravation à craindre :**

Agrandissement de la zone épaufrée, réduisant localement la largeur de la chaussée.

**d- Causes possibles :**

- Fluage de l'enrobé lors de sa mise en œuvre,
- Ecrasement par la circulation des véhicules sur une route étroite ou partiellement obstruée (nids de poule),
- Mauvais épaulement des rives (accotement non rechargé).

**e- Remèdes :**

- Empêcher la circulation des véhicules sur les accotements,
- Relever l'accotement,
- Réparer les accotements avec un enrobé.

### III -2-3- Les remontées :

#### III -2-3-1- Remontées (d'eau ou d'argile) :

##### a- Description :

Partie de chaussée humidifiée d'eau claire ou d'eau chargée en fines provenant du corps de la chaussée par remontée à travers les pores et les fissures.



(A)

(b)

**Fig.III.14: La remontée (a) d'argile (b) d'eau**

##### b- Causes possibles :

- étanchéité insuffisante de la chaussée;
- mauvais drainage du corps de chaussée ;
- libération de fines par le sol support ou par les couches de chaussée et contamination des couches supérieures.

##### c- Aggravations prévisibles :

- dés enrobage et désagrégation des matériaux du corps de chaussée ;
- perte de capacité portante ;
- altération de l'adhérence ;
- formation de nid-de-poule.

##### d- Remèdes :

Remanier la chaussées complètement pour exécuter entre le terrain naturel et la chaussée existante, une sous-couche drainante (sable grossier).

**III -2-3-2- Ressuage :****a- Description :**

Remontée en surface de la chaussée du liant recouvrant complètement ou partiellement les granulats. Cette remontée est généralement accentuée dans les pistes des roues.



**Fig.III.15: Ressuage**

**b- Aggravations prévisibles :**

- Altération de l'adhérence,
- Plumage,
- Danger de dérapage.

**c- Causes possibles :**

- Teneur élevée du liant,
- Liant trop fluide,
- Evaporation intense,
- Nature d'enrobé inadapté avec les sollicitations,
- Effet combiné de la température élevée du revêtement et des sollicitations du trafic.

**d- Remèdes à apporter :**

- Suppression par jet d'eau haute pression,
- Grenailage,
- Effectuer un sablage par temps chaud.

**III -2-3-3-Boursouflure :****a- Description :**

Déformation du revêtement, par zone localisées, et formant une aspérité importante.



**Fig.III.16: Boursouflure**

**b- Symptômes précurseurs :**

Déformation à peine sensible, rendant la couche de surface sans portance à cet endroit.

**c- Aggravation prévisible :**

- Chute de portance,
- Apparition de diverses déformations résiduelles.

**d- Causes possibles :**

Fondation des chaussées sur des sols argileux ou sur des nappes de sel (zone de chotts ou de sebkhas).

**e- Remèdes à apportés :**

- Si la dégradation est très localisée, compacter les boursouffures, et effectuer un enduit de scellement.
- Améliorer le drainage,
- Remaniement complet de la chaussée afin d'introduire une sous-couche drainante entre le terrain naturel et la chaussée existante.

### III -2-4- Les déformations :

#### III -2-4-1- L'affaissement :

##### a- Description :

Abaissement localisé du niveau du profil de la chaussée, on le rencontre généralement sur les voiries secondaires dont la chaussée est souple.



Fig.III.17: Affaissement

##### b- Aggravation prévisible :

- Formation de fissures
- Formation de faïençage puis de nids de poules

##### c- Causes possibles :

- manque de portance du corps de chaussée provoquée par :
  - sous-dimensionnement du corps de chaussée,
  - tassement des couches de chaussée,
  - présence d'eau dans le sol (drainage insuffisant, niveau très élevé de la nappe phréatique),
- compactage insuffisant de la couche de base,
- mauvais épaulement des rives (accotement non rechargé),
- circulation de véhicules dont la charge excède les possibilités de portance de la chaussée.

##### d- Remèdes à apporter :

- Reconstitution de la structure de la chaussée des deux bords en remplaçant les matériaux en place par des granulats de bonne qualité.

- Réalisation d'un reprofilage à la niveleuse en grave émulsion, puis recouvrir le tout par un enduit superficiel.

### III -2-4-2- le bourrelet (gonflement) :

#### a- Description :

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



Fig.III.18: Le bourrelet

#### b- Aggravation prévisible :

Arrachement du revêtement avec le bourrelet par l'effet de la circulation.

#### c- Causes possibles :

- excès du liant ayant flué sous l'effet de la circulation (dans la zone de freinage, virage, etc.)
- enrobé plastique (température très élevée lors de la mise en œuvre, ce qui donne un liant mal adapté).

#### d- solution :

Reprofilage de la surface en éliminant le bourrelet (piochage manuel du bourrelet)

### III -2-4-3- Flache :

#### a- Description :

Déformation de la surface de la chaussée formant une dépression arrondie (ou elliptique) peu sensible.



**Fig.III.19: le flache**

**b- Aggravations prévisibles :**

Formation de fissures, de faïençage puis de nids de poule

**c- Causes possibles :**

- Manque de portance localisée dans le corps de chaussée provoqué par :
- Compactage localement insuffisant des couches (de base ou de surface),
- Existence d'une poche d'eau ou d'argile dans le sol,
- Présence d'eau sur la couche de base, au moment de la mise en œuvre de la couche de surface.

**d- Remèdes à apporter :**

Pour éliminer les causes qui provoquent ce phénomène il faut :

- Réaliser ou améliorer le drainage,
- Recharger les accotements.

Pour apporter un remède aux effets il faut :

- Effectuer la réparation localisée en exécutant un enduit au Point-à-temps ou aux enrobés,
- Renouveler la couche de surface.

### III -2-4-4- la tôle ondulée :

#### a- Description :

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



Fig.III.20: tôle ondulée

#### b- Les causes possibles :

- déformation de la couche de base au moment de son profilage,
- actions mécaniques intense dues à la circulation,
- instabilité de l'enrobé.

#### c- Remèdes à apporter :

La réparation de cette dégradation ne peut être réalisée efficacement qu'en s'attaquant aux causes. Afin d'éviter ces causes, il est nécessaire de :

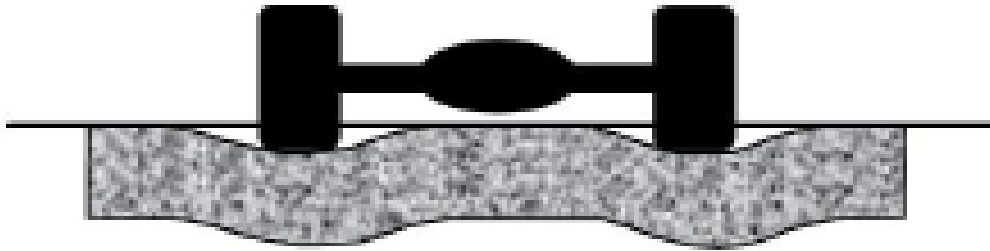
- Démolir la chaussée et reconstituer la couche de base,
- Réparer le tapis d'enrobés.

### III -2-4-5-L'orniérage :

L'apparition du trafic lourd et sa croissance ont été accompagnées par l'apparition des dégradations prématurées notamment l'orniérage qui est l'un des principaux modes de dégradations des chaussées. Une étude de l'European Bitumen Association, association européenne à caractère scientifique place l'éradication de l'orniérage en tête des principales exigences des pays européens en matière de performances des chaussées bitumineuses (**BIRTHE-JULIENNE DONGMO-ENGLAND /2005**). Pour cela nous nous intéressons dans ce chapitre à l'analyse de l'orniérage des chaussées bitumineuse qui fait l'objectif de notre étude, en particulier aux mécanismes de sa formation, aux causes, ainsi qu'aux facteurs d'influence sur son développement.

Nous présentons également les différentes techniques de maintenance et d'auscultation.

Du point de vue de l'analyse visuelle des dégradations des chaussées, l'orniérage est une déformation longitudinale permanente qui apparaisse et croisse sous le passage répété des véhicules sur les bandes numéros 2 et 4. Il nuit à la qualité de service de la chaussée ainsi qu'à la sécurité des usagers surtout par temps de pluie où l'eau dans les ornières peut provoquer des risques d'aquaplaning.



**fig.III.21 : orniérage du sol support**

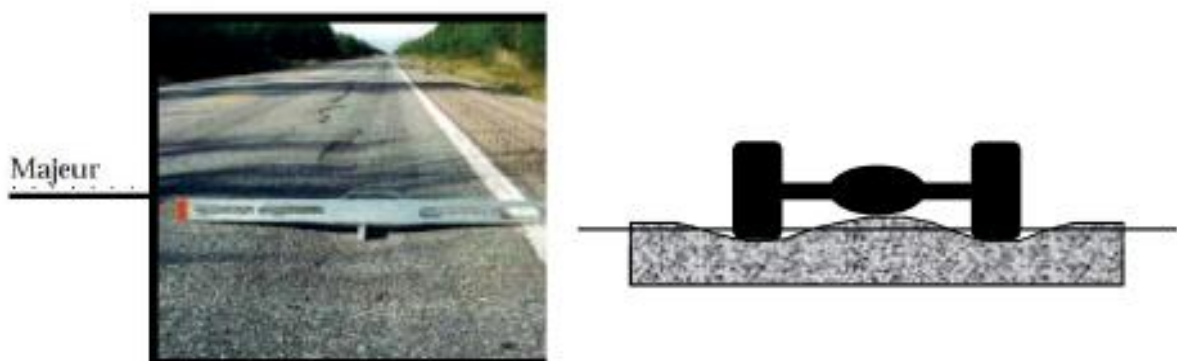
Selon l'origine on distingue :

#### **III -2-4-5-1-Orniérage des couches support**

Le tassement des couches de base se rencontre principalement sur les chaussées souples et se traduit généralement par des ornières à "grand rayon", Parfois appelé "orniérage structurel".

#### **Orniérage à grand rayon :**

Dépression longitudinale simple dont la forme transversale correspond à celle d'une courbe parabolique très évasée. qui concernent dans la plupart des cas des chaussées souples à couverture bitumineuse mince et déformable. Il s'agit d'un tassement des couches inférieures en matériaux non traités qui entraîne la formation d'une ornière assez large (environ 1 mètre).



**Fig.III.22: différentes tailles d'ornières à grand rayon**

### III -2-4-5-2- Orniérage des couches bitumineuses:

Cette déformation provient soit des tassements des couches structurales de matériaux non liés, soit des déformations des couches de béton bitumineux (couches de roulement, de liaison et parfois d'assise bitumineuse) ou les deux en même temps.

Plus l'ornièrre est étroite, plus la couche déformée est proche de la surface. D'où l'apparition dans ce cas d'ornières à "petit rayon" avec des bourrelets latéraux et parfois du ressuage.

Ces déformations en surface s'observe de surface Généralement sur les chaussées épaisses.

Cette dégradation s'explique par jumelage de deux effets ; celui de densification et celui de Cisaillement de l'enrobé. Ce dernier effet est considéré comme cause prépondérante du mécanisme d'orniérage.

#### Ornière à petit rayon :

Déformation permanente longitudinale simple, double et parfois triple qui se forme sous le passage des roues et dont la largeur est inférieure à 80 cm.

Les phénomènes d'orniérage ne mettent pas en cause la pérennité des chaussées, mais la sécurité des usagers, avec la formation d'un film d'eau plus important par temps de pluie.

Généralement, on traite les problèmes d'orniérage (de petit rayon) par :

- fraisage et remplacement de l'enrobé en place,
- recyclage en place de l'enrobé orniéré.

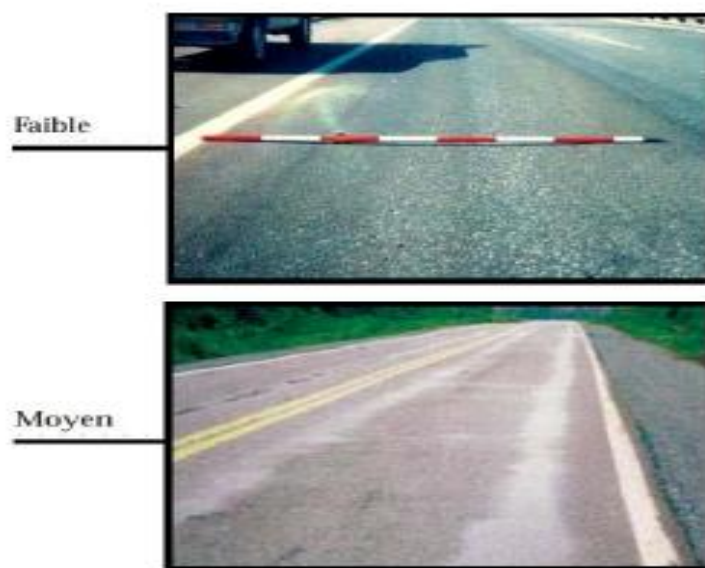
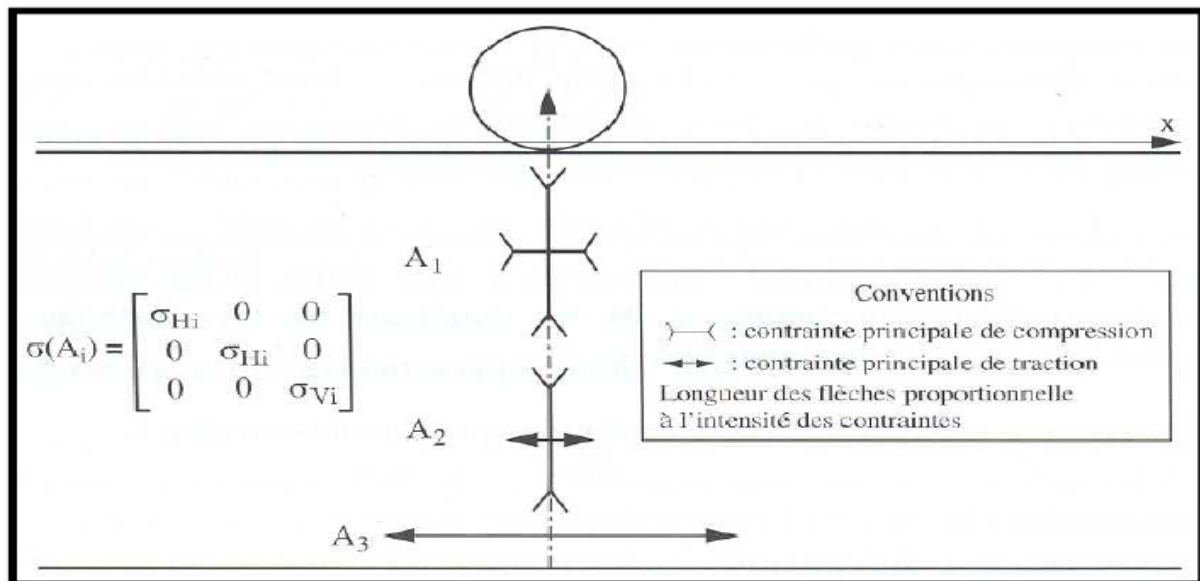


Fig.III.23: différentes tailles d'ornières à petit rayon

### III -2-4-5-3-Mécanismes de l'orniérage :

#### a- typologie des états de contrainte à l'aplomb d'une charge simple :

Afin d'éclaircir et de comprendre le comportement de la chaussée sous le trafic, les auteurs s'intéressent aux sollicitations provoquées par une charge roulante. En considérant la chaussée comme une structure multicouche, les états de contrainte qui varient en fonction de la profondeur peuvent être calculés.



**Fig.III.24: Etats de contrainte générés dans les couches bitumineuses d'une chaussée, à l'aplomb d'une roue simple (Di Benedetto et Corté, 2005)**

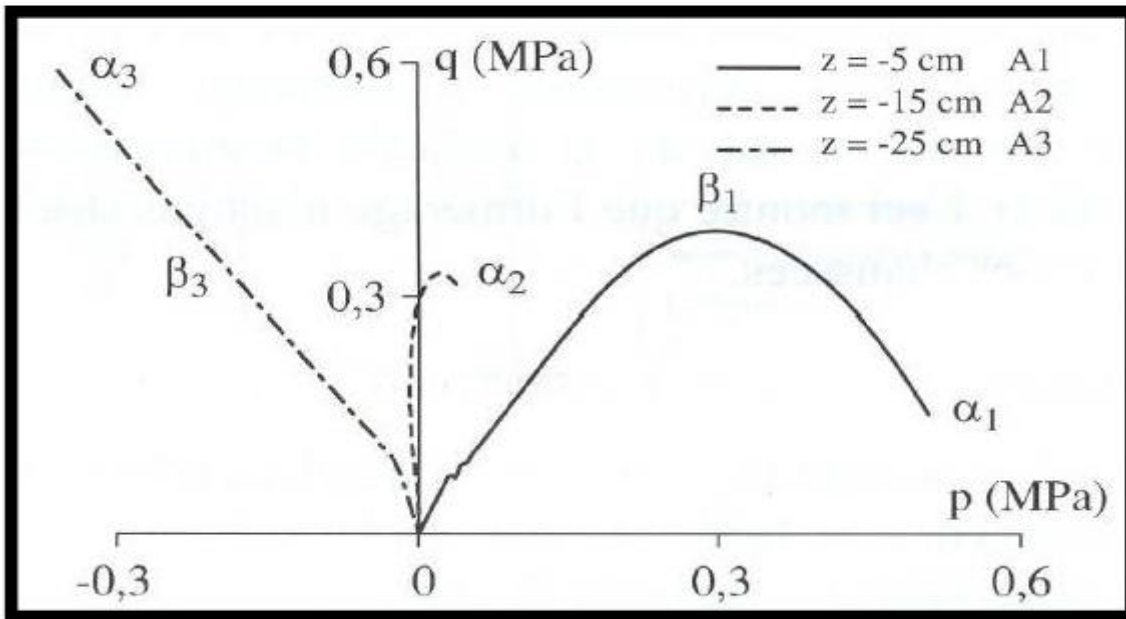
Il a été constaté que :

- La partie inférieure (point A3) de la couche considérée est soumise à une contrainte de traction horizontale bi axiale ( $\sigma_{h3} < 0$ ;  $\sigma_{v3}=0$ ). C'est l'état d'une plaque en flexion qui peut entraîner de la fatigue. La répétition de tels états de contrainte provoque des déformations permanentes en extension suivant les directions horizontales et par effet de Poisson des déformations permanentes (contraction) suivant la direction verticale.
- La partie supérieure (point A1) de la couche considérée subit une compression pure suivant les directions verticales et horizontales. Les chargements répétés induisent à l'apparition des tassements verticaux et des dilatations horizontales.
- La partie intermédiaire (point A2) de la couche considérée se trouve dans l'état de transition entre les deux états extrêmes. Dans cette partie la déstabilisation des matériaux peut être effectuer très rapidement d'où l'apparition des déformations permanentes et cela à cause de la diminution de la contrainte verticale et l'augmentation du déviateur.

### b- Chemins de contraintes sous charges roulantes :

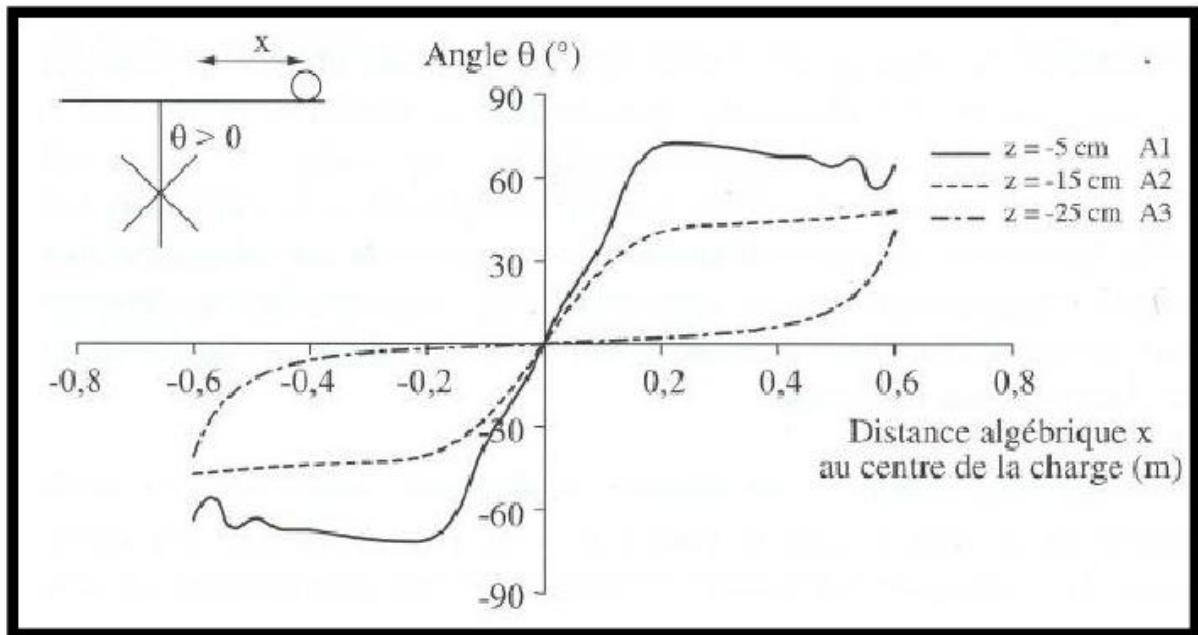
La complexité des charges roulantes réside dans l'évolution des états de contrainte dans les couches des chaussées (intensité et directions principales des contraintes).

L'évolution de l'intensité des contraintes est représentée par le chemin de contrainte obtenue par représentation paramétrique dans le plan (p,q) des quantités  $p(t)$  et  $q(t)$  au points considérés lors du passage de la charge roulante venant de  $x = -\infty$  à  $x = +\infty$ .



**Fig.III.25: Chemins de contraintes à différentes profondeurs dans une couche bitumineuse de chaussée [Di Benedetto et Corté, 2005]**

la variation des directions principales du tenseur des contraintes en fonction de la distance  $x$  de la charge au point considéré est décrite sur la figure suivante



**Fig.III.26: Angle des directions principales des contraintes avec la verticale en fonction de la distance de la charge au point considéré [Di Benedetto et Corté, 2005]**

Sur les courbes dans le plan  $(p, q)$ , le point O représente l'origine, il correspond à l'état de déchargement à  $\pm \infty$ , les extrémités  $i$  représentent les états de contrainte lorsque la charge se trouve aux points considérés.

Le chemin  $-\infty \rightarrow 0$  : le chemin de contrainte en un point  $A_i$  est le segment  $O i$ ,

Le chemin  $0 \rightarrow +\infty$  : le chemin de contrainte en un point  $A_i$  est le segment  $iO$ .

A la surface, quand la charge se trouve à la verticalité du point  $A_1$ , le chemin de contrainte montre un sommet  $\beta_1$ . Les déformations permanentes, origine des ornières, se produisent principalement sous le bord des charges (sommet  $\beta_1$ ), où les composantes de cisaillement des contraintes sont plus importantes que celles de confinement, plutôt que sous leur centre géométrique où les contraintes de confinement sont grandes et renforcent les matériaux au lieu de les plastifier, sauf les densifications initiales (post compactage) [Heck, 2001].

Dans cette partie de la couche, la rotation du tenseur des contraintes est forte, ce qui est également susceptible d'amplifier la formation des déformations permanentes par effet de "pétrissage". Le chemin de contrainte aux côtes intermédiaire de la couche, présente une composante hydrostatique faible et déviateur dominant basculant de  $p > 0$  à  $p < 0$ . Ces schémas de sollicitation sont aussi susceptibles de provoquer des déformations permanentes importantes.

**III -2-4-5-4- Types d'orniérage :**

En fonction de leurs tailles (profondeurs) les ornières sont classées en trois catégories :

- petites (6 à 12,5mm),
- moyennes (12,5 à 25mm),
- grandes (>25mm)

En fonction de leur forme, il existe trois types d'ornières :

**- Les ornières d'usure :**

Sont dues au départ et à la perte progressive des particules de granulats de la couche de surface, sous l'effet combiné des facteurs d'environnement et de trafic.

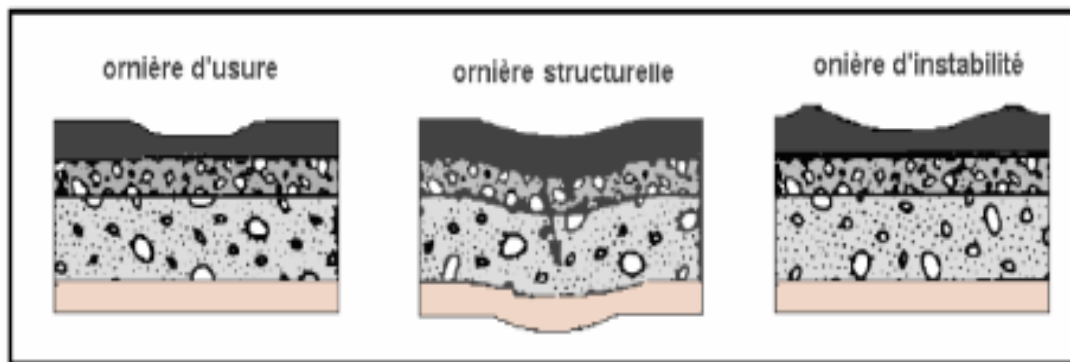
**- Les ornières structurelles :**

Résultent de la déformation verticale permanente (tassement) dans la structure de la chaussée sous les chargements répétés du trafic.

**- Les ornières d'instabilité :**

Elles résultent du mouvement et de déplacement latéraux des matériaux dans la couche bitumineuse.

Elles sont plus fréquentes dans les chaussées souples à mauvaises caractéristiques.



**Fig.III.27: Types d'ornières**

### III -2-4-5-5- Les facteurs influençant l'orniérage :

La formation des déformations permanentes des chaussées bitumineuses cause du phénomène d'orniérage, est influencé par plusieurs facteurs soit en le provoquant, soit en l'aggravant. Ces facteurs peuvent être réunis en deux grandes familles :

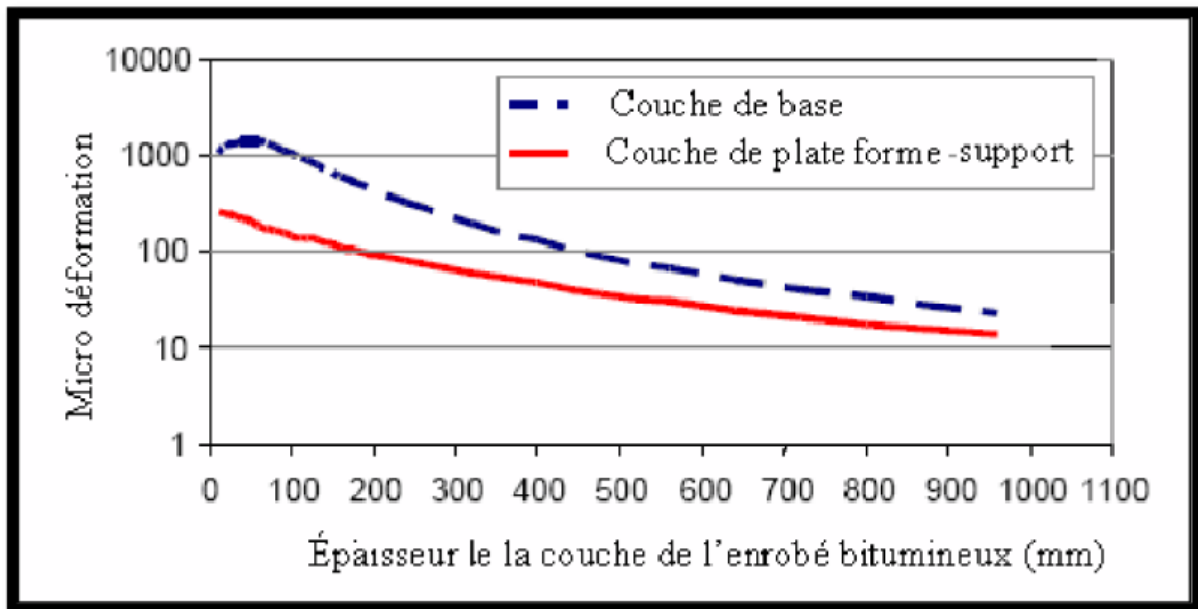
- Facteurs internes : liés à la composition de l'enrobé ;
- Facteurs externes: liés aux sollicitations externes au matériau.

#### a- Facteurs internes :

##### a-1-Epaisseur de la chaussée :

La formation de l'orniérage dépend essentiellement des contraintes dans la chaussée, ces contraintes sont véhiculées jusqu'à le sol support à travers les différentes couches dont les épaisseurs sont différentes d'une couche à une autre et d'une chaussée à une autre.

Pour les chaussées de faible épaisseur, un défaut de compactage de la plate-forme support accélère l'orniérage. Dans les couches minces, la distribution des contraintes se fait d'une manière déséquilibrée, ce qui donne de fortes contraintes dans la couche d'assise d'où la formation d'ornières. Les couches minces de surface affectent également le niveau de déformation des couches inférieures.

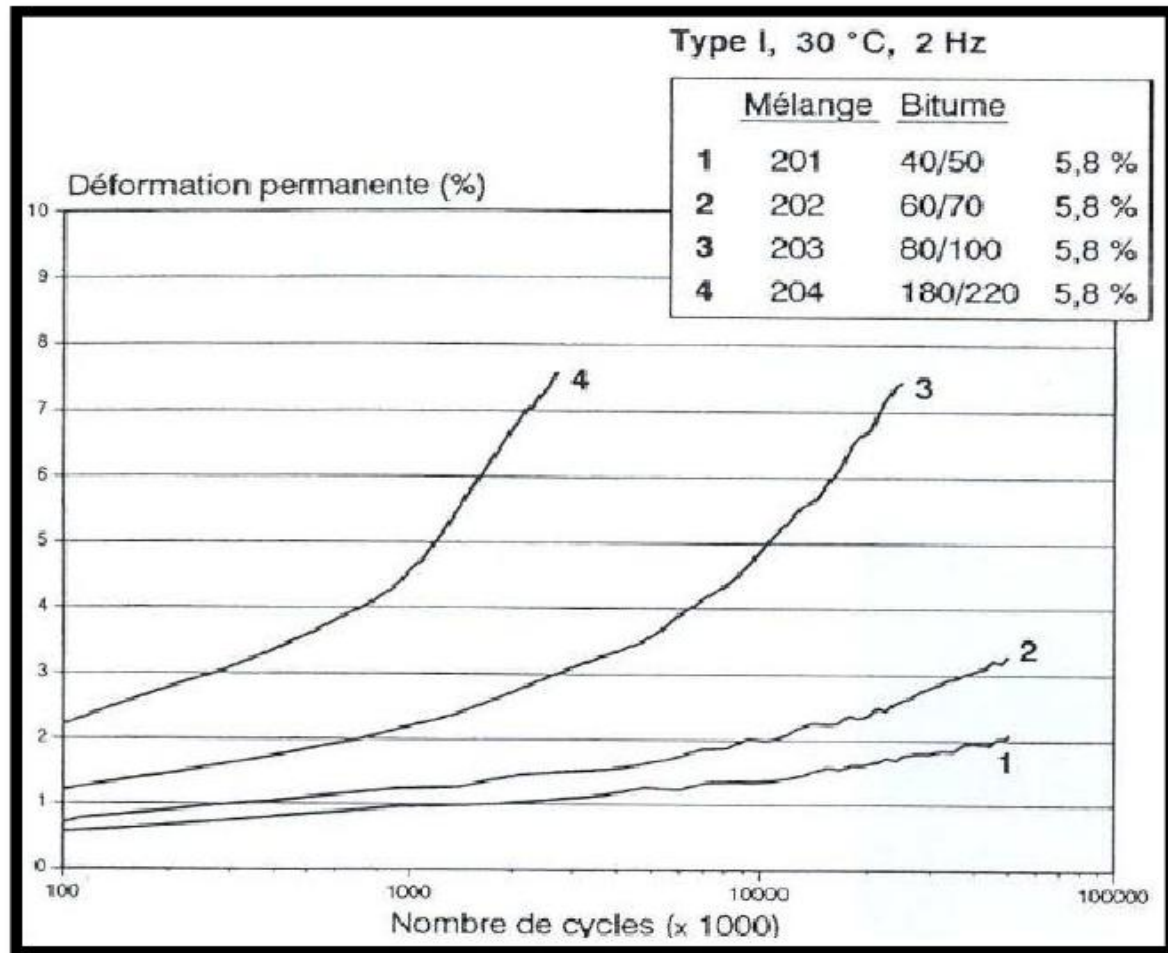


**Fig.III.28: Influence de l'épaisseur de la couche de surface sur la déformation verticale au-dessus de la couche de base et de plate-forme support (Ekdahl,1999)**

## a-2- Facteurs liés au liant bitumineux :

### a-2-1- Nature du liant :

La nature du liant bitumineux a une grande importance dans la résistance à l'orniérage, vue son influence sur ses propriétés mécaniques. La variation de ces dernières est caractérisée par La susceptibilité thermique : plus le liant est thermiquement susceptible, plus le mélange l'est. Ajoutant à l'influence de la rigidité et la résistance à l'orniérage par les propriétés mécaniques du liant, l'influence des composants minéraux du mélange.



**Fig.III.29: Influence de la nature du liant [Vanelstraete et Francken, 1994]**

Les études expérimentales (Vanelstraete et Francken, 1994, Corté et al, 1997) ont montré que l'utilisation des liants plus durs et moins susceptibles à la température diminue considérablement les risques d'orniérage (Corté et al. 1997, Desmoulin et al.2005), mais elle peut être, à température basse, source d'une fragilisation du mélange. Les résultats expérimentaux montrent que la résistance de l'enrobé bitumineux à déformation permanente (la résistance à l'orniérage) augmente en utilisant un traitement par chaux ou le caoutchouc (Ali et al.2005) ou le polymère (Xu et al. 2004 et Zubeck et Al. 2002).les études qui ont été faites par Mallela en 2004, ont montré que la stabilisation des couches inférieures de la chaussée par du ciment ou de la chaux diminue l'orniérage structural.

### a-2-2-Teneur en liant:

L'enrobage des agrégats dépend du pourcentage du liant dans le mélange et la qualité des interfaces des composants minéraux. Une teneur en liant très élevée favorise l'orniérage en réduisant les efforts de contact entre les granulats. Dans ce cas seules l'adhésivité et la cohésion peuvent assurer la résistance.

A titre d'ordre de grandeur, l'orniérage augmente de 40% pour un BBSG classique lorsque la teneur en bitume augmente seulement de 0,4% (Bense.P.1996).

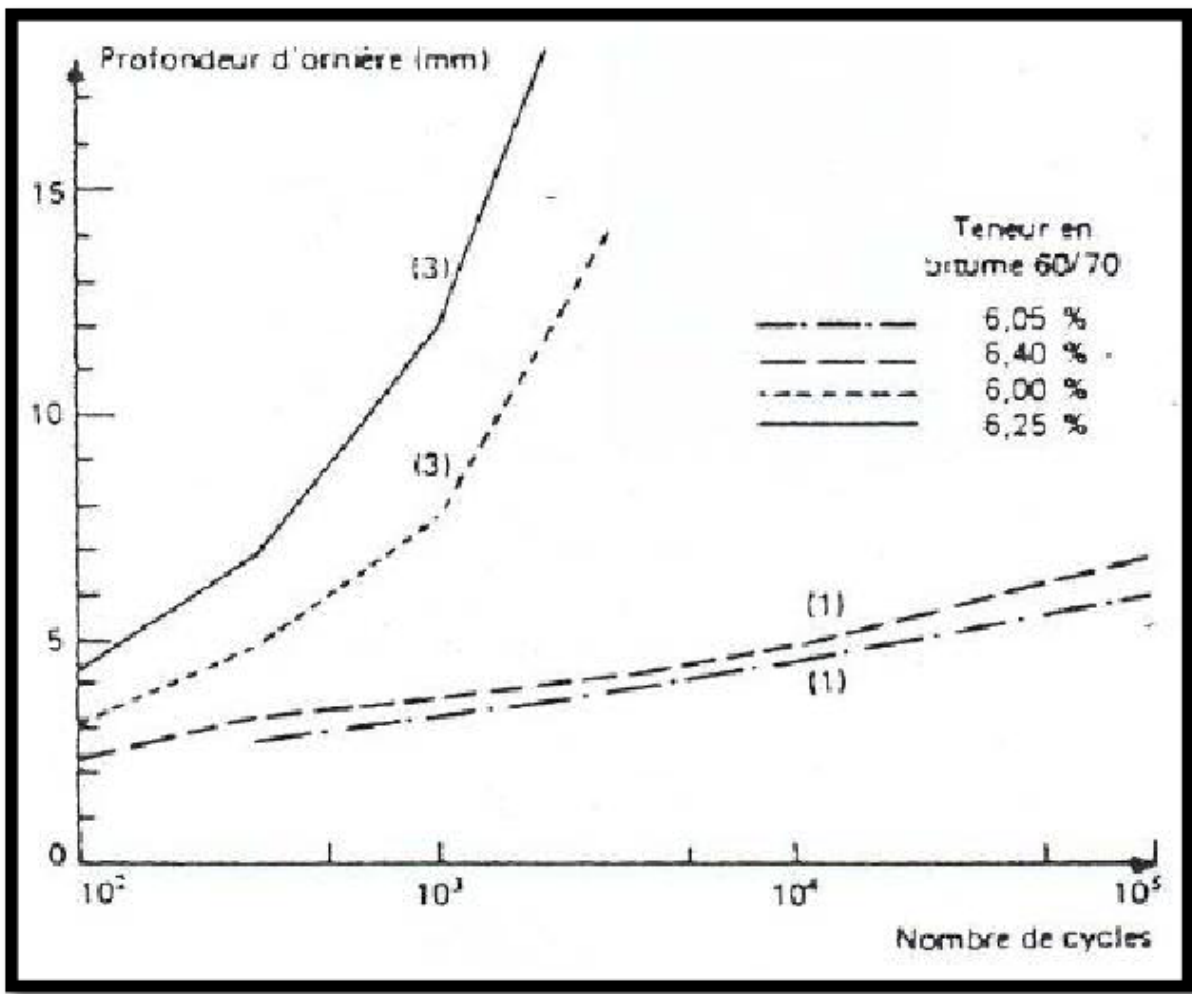


Fig.III.30: Influence de la teneur en liant au niveau d'ornière [Grimaux, 1977]

En revanche, le manque de liant dans le béton bitumineux conduit à une mauvaise adhésivité des granulats vus leur mauvais enrobage. Par conséquent la teneur en vide augmente et la stabilité du squelette granulaire diminue ce qui engendre l'apparition des déformations permanentes.

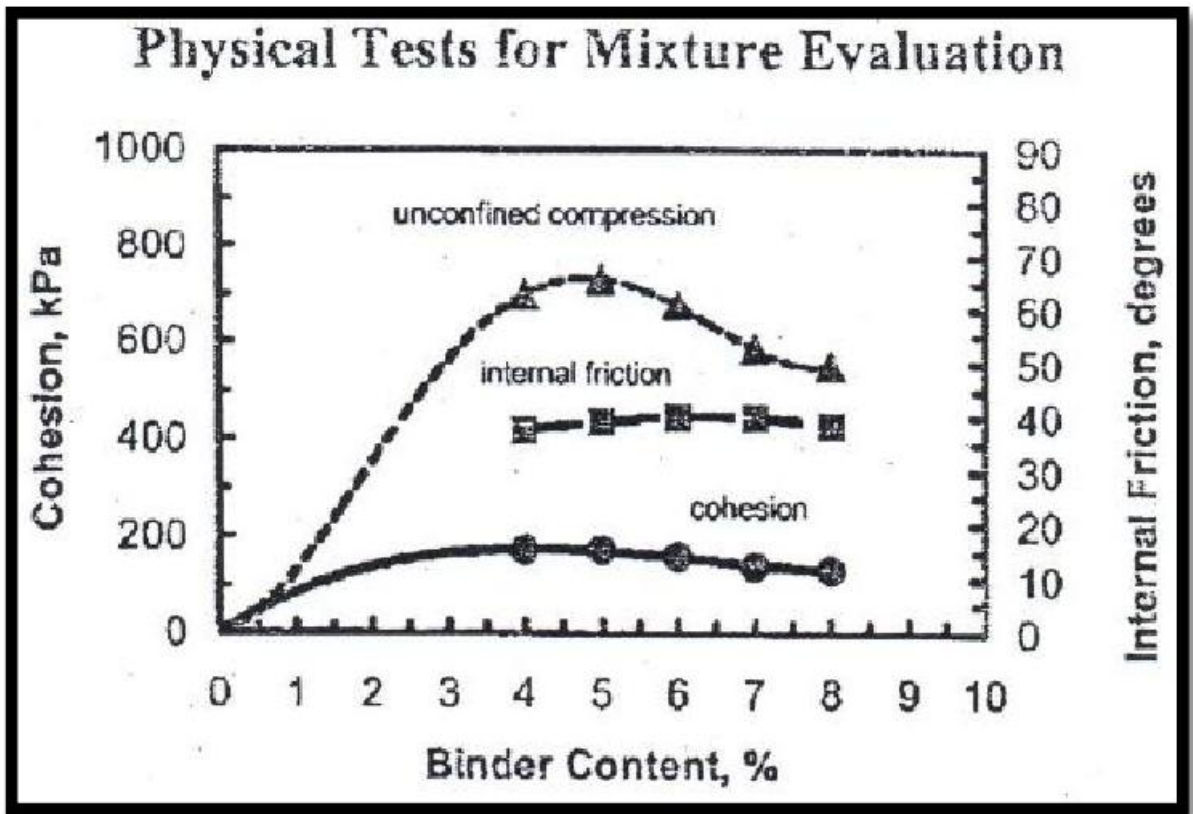


Fig.III.31: Propriétés internes en fonction de la teneur en liant [Christensen et Bonaquist, 2002]

Des recherches expérimentales ont pu déterminer la teneur en bitume optimale pour chaque types d'enrobé afin d'acquérir la cohésion et le frottement interne maximaux qui améliorent la résistance à l'orniérage.

### a-3- facteurs liés au squelette granulaire :

#### a-3-1- La granularité :

La granularité du squelette solide constituant la chaussée a une forte influence sur la qualité de l'enrobé. Diverse études ont été établies sur le taux de discontinuité des granulats ; **brown,S.F** et **P.S.Pell** en 1974 ont montrer que les formules à courbe granulométrique discontinue présentent des ornières plus profondes en les comparant à celles à granulométrie continue.celà est expliqué par le fait que dans le cas de l'utilisation d'une granularité continue, les vides sont occupés par des particules plus fine ce qui améliore la compacité, la stabilité et la résistance. Le passage d'une formule grenue à une formule semi-grenue augmente très légèrement l'orniérage ; mais sur la formule grenue l'introduction d'une discontinuité 4/6 majore l'orniérage de 50 à 60 %, sans permettre pour autant un gain sensible de compacité (**Grimaux,J.P** et **R Hiernaux**).

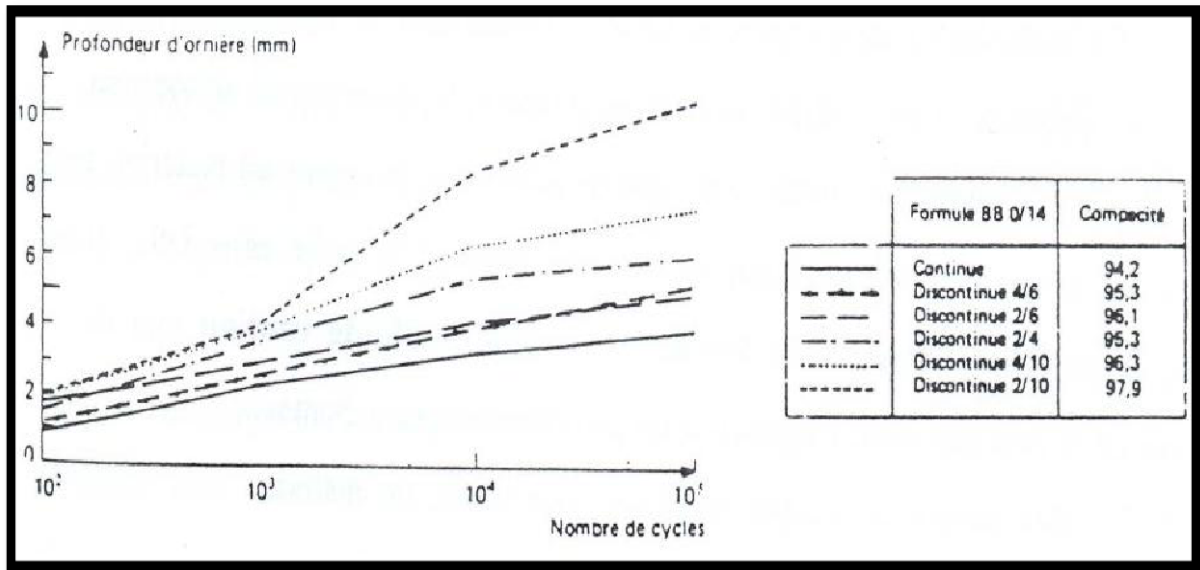


Fig.III.32: Influence de la granularité [Grimaux, 1977]

a-3-2- Angularité des gravillons :

A son tour, l'angularité des gravillons est un paramètre anti-ornèrrent important vue sa grande influence sur les propriétés mécaniques de l'enrobé. L'introduction des granulats anguleux et rugueux permet une meilleure stabilité et une déformabilité moindre, grâce à l'augmentation des contacts inter granulaire.

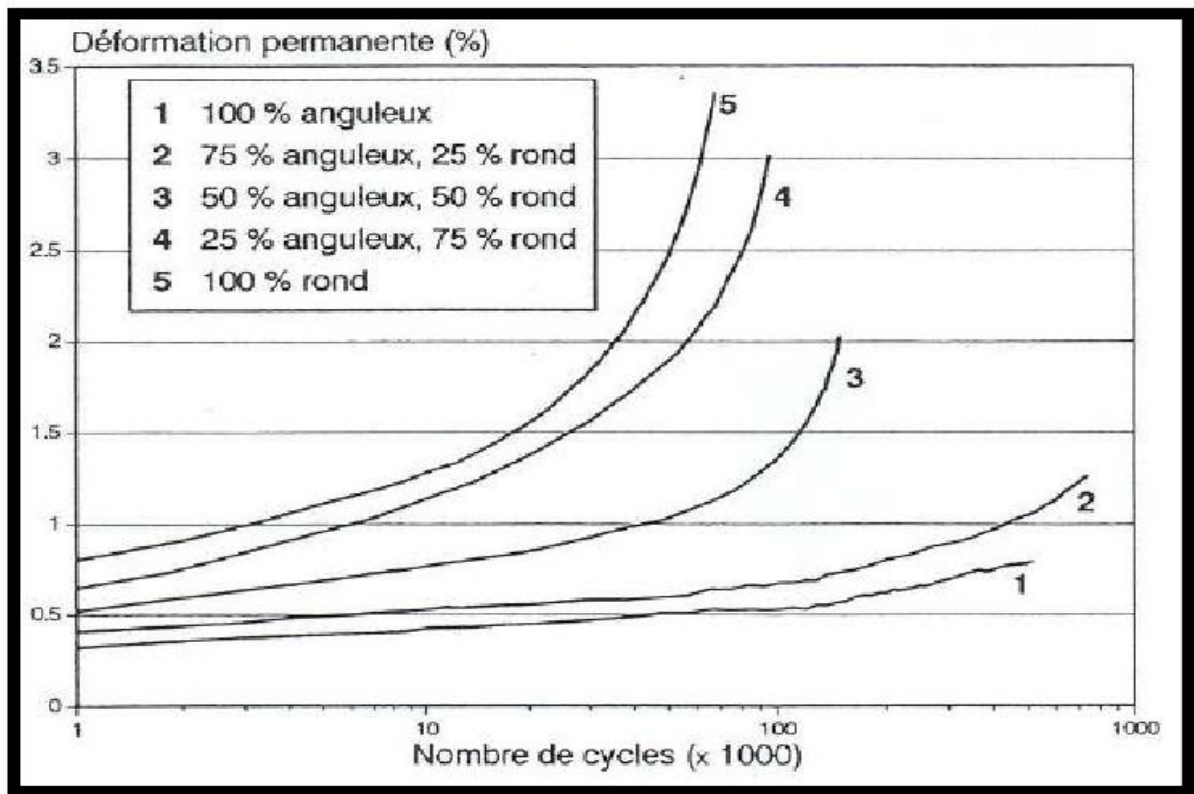


Fig.III.33:Influence de la forme des granulats [Vanelstraete et Francken, 1994]

De plus, la surface des grains enrobés par le liant augmente, ce qui amène une force de cohésion et d'adhésivité plus forte et donc résistance plus élevée à l'orniérage.

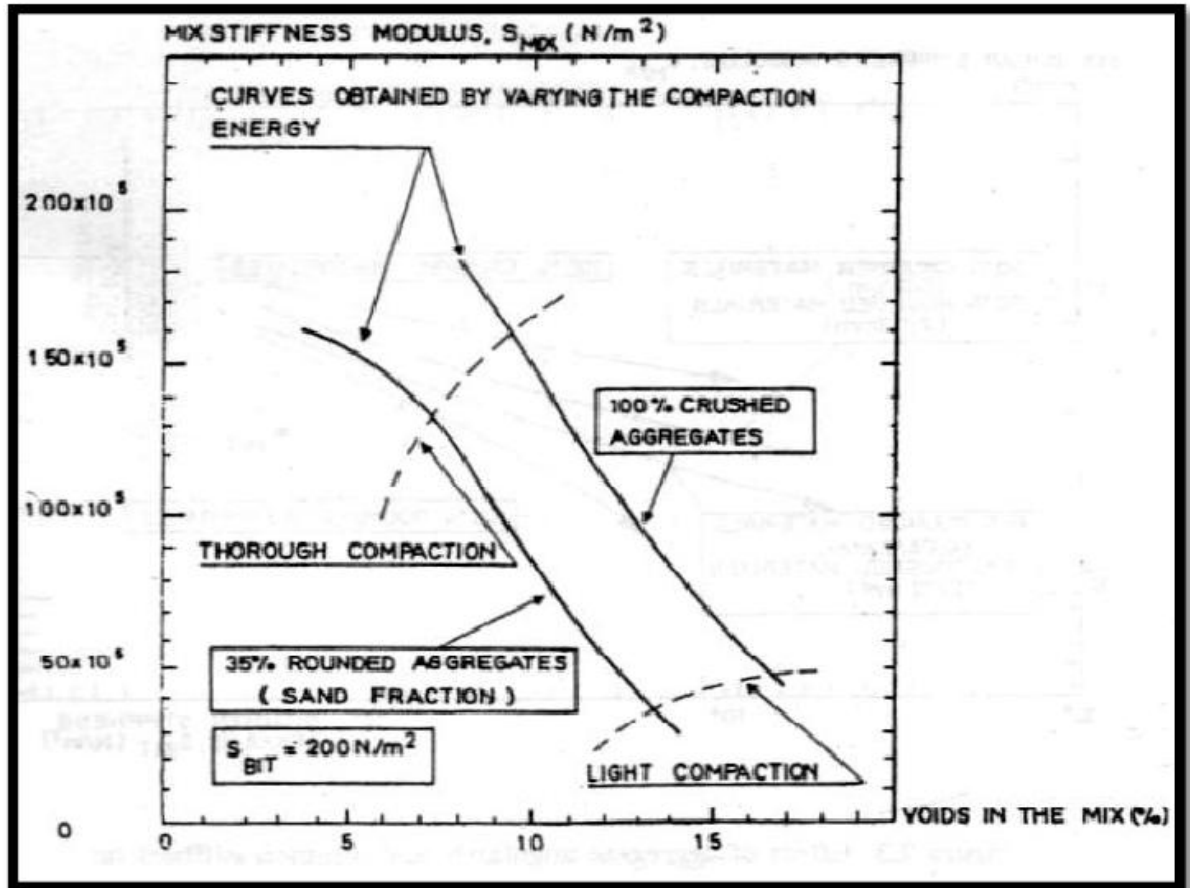


Fig.III.34: Effet de l'angularité et du pourcentage de vides sur la rigidité en compression du mélange (Uge,P et P.J.Van de Loo/1974)

Avec une teneur en vides inférieure à 2,5% l'orniérage se produit quelque soient les autres propriétés du mélange (Cross et Brown,1992). Ces auteurs ont mis en évidence une relation liant le niveau d'orniérage et le pourcentage des grains ayant deux faces concassées et cela pour une teneur en vides supérieure à 2,5%.

#### a-3-3- influence du filler :

le filler est un composant important dans le béton bitumineux, par sa présence, il fait réduire la teneur en vides et augmenter le temps de relaxation du liant ce qui rigidifie le liant.

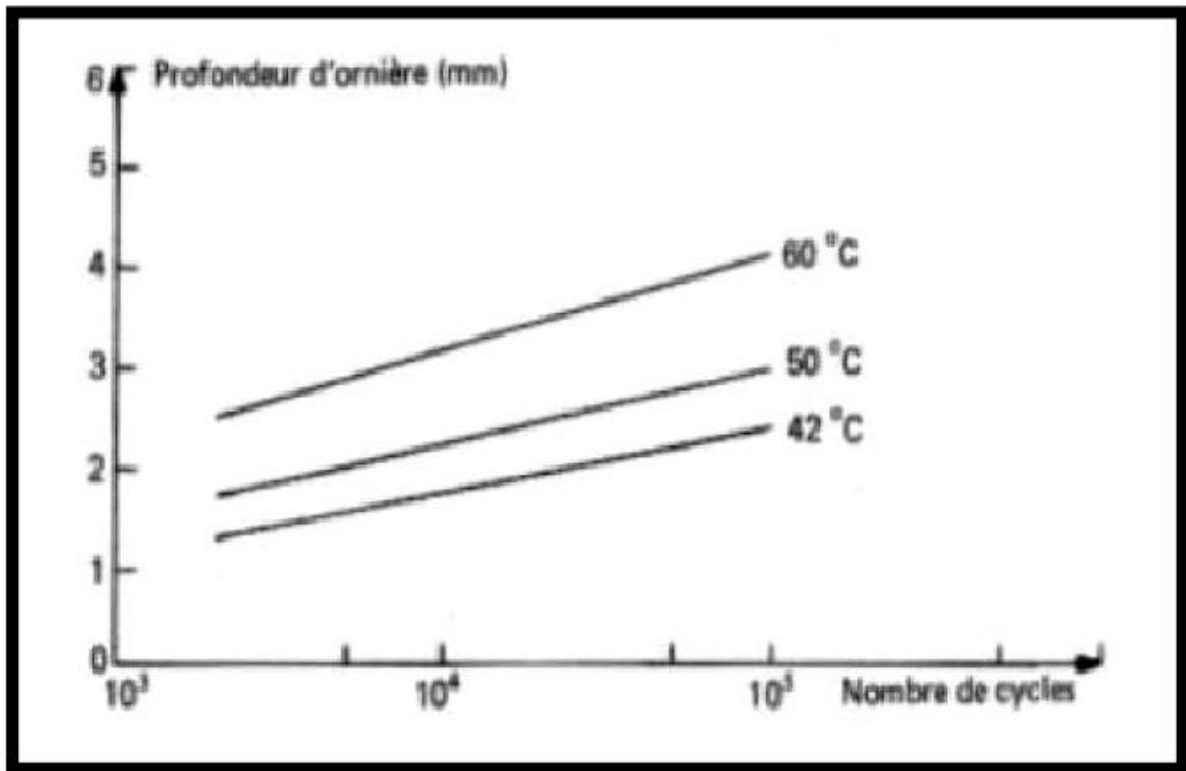
Un surdosage en fines conduit aux mêmes conséquences qu'un surdosage en liant. Sur un 0/10 discontinu, entièrement concassé, étudié dans une optique enrobés pour couche mince, le passage de 7 à 12% de fines conduit à des variations considérables de l'ornière ( de 6,6 mm à

105 cycles à 16mm à moins de 2000cycles) ( **BIRTHE-JULIENNE DONGMO-ENGLAND/ 2005**).

### b- Facteurs externes :

#### b-1- la température :

La température est un paramètre essentiel pour l'apparition de l'orniérage. Plus la température est élevée, plus le liant perd sa rigidité et sa viscosité. Cela favorise l'apparition des déformations permanentes notamment l'orniérage.



**Fig.III.35: influence de la température sur la profondeur d'ornière**

Des essais en laboratoire qui ont été fait à l'aide d'un simulateur de trafic ont montrer que l'orniérage augmentait avec un facteur de 250 à 350 lorsque la température passait de 20 à 60°C.

#### b-2- Le trafic:

L'évolution du trafic (du trafic lourd comportant deux essieux arrière de 2,5 tonnes /roue au trafic Tridem de 4tonnes/roue) est une cause principale de l'orniérage.

Le développement de la géométrie de poids lourds, d'essieux à roues jumelées vers des essieux à roues simples large a rendu la pression de contact entre la chaussée et la roue, plus élevée. Cette évolution pose des problèmes d'agressivité sur les chaussées et induit des efforts de cisaillement.

Malgré que le  $Tr_{idem}$  est 4 à 5 fois plus orniérant que l'ancien poids lourd, il présente 60 à 70% du poids lourd. D'après (Vanelstraete et Francken, 1994), l'évolution de l'orniérage n'augmente pas proportionnellement avec l'évolution des charges mais à la puissance quatre de celle-ci.

### b-3- fréquence de chargement :

La vitesse de chargement peut être exprimé par la fréquence de chargement. Elle influe sur l'évolution de l'orniérage d'une manière très forte. Plus la vitesse est réduite, plus le temps de charge est important, plus la profondeur d'ornière est grande.

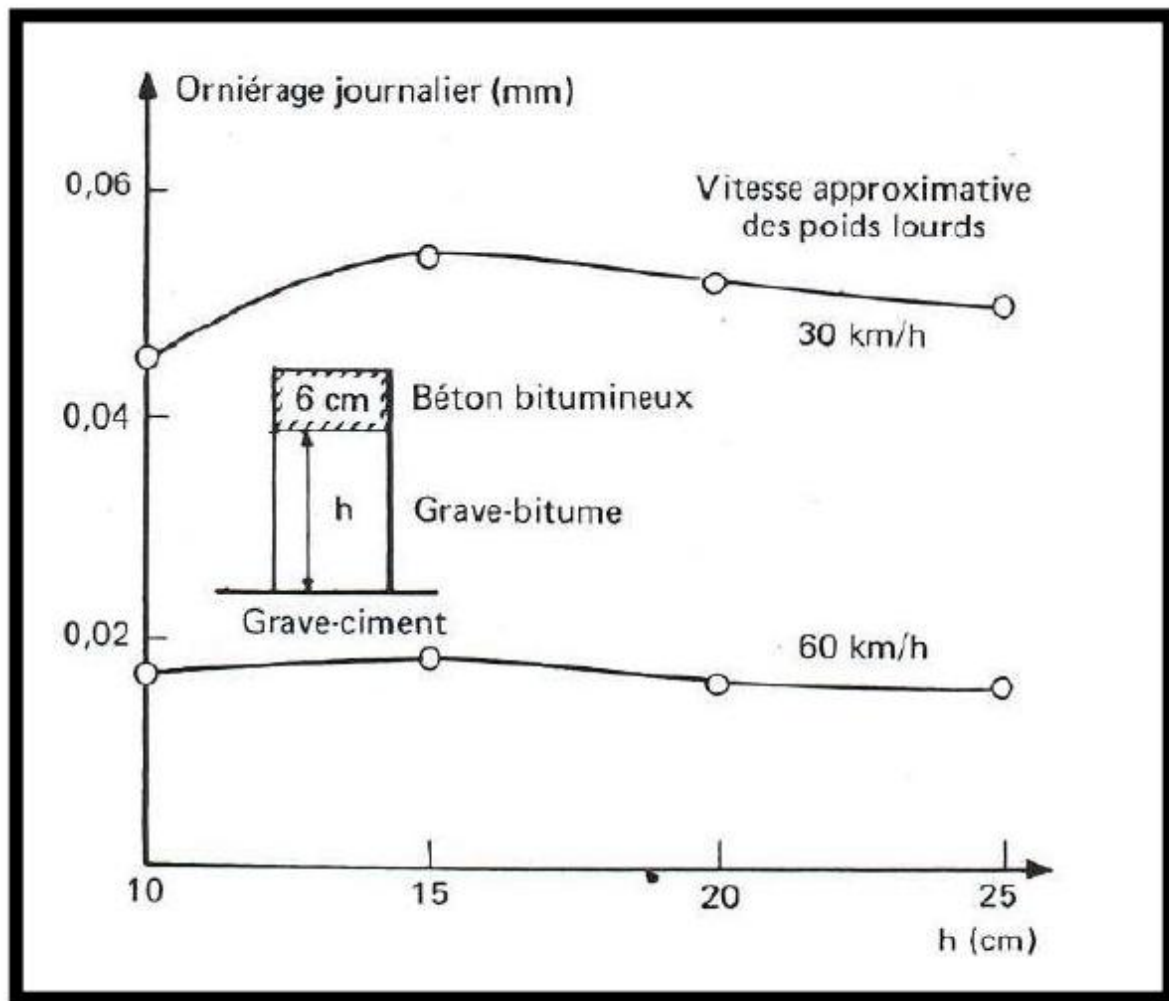


Fig.III.36: Influence de la vitesse du trafic [Aussedat, 1977]

Sous l'effet de la roue simple large et du jumelage, les écarts de déformations pour des vitesses de chargement sont représentés sur le tableau suivant : dans la gamme des vitesses de 40 à 50 Km/h, une réduction de l'ornière de 20 à 35% peut être atteinte par une augmentation de la vitesse de chargement de 15%.

**Tab.III.1: Profondeurs d’ornièrè en mm, obtenues après 100 000 chargements, sur le BB de référence pour des vitesses et des trains de roulement différent.**

Vitesse (km/h)	Roue simple large			jumelage	
	47.7	42.9	40.4	47.7	40.4
1992	9.1	/	12	5.8	8.7
1993	4.5	7	/	/	/
1994	8	/	12.5	7.1	9.6

**b-4- L’intensité du trafic :**

L’intensité du trafic est le nombre de passage des véhicules pendant une unité de temps.

L’influence du trafic sur l’apparition et le développement de l’ornièrage ne réside pas uniquement dans la durée de sollicitation mais aussi dans le nombre de sollicitations.

La déformation permanente n’est pas mesurable qu’après un nombre déterminer de cycle. Le comportement cyclique et le nombre de passage sont des facteurs essentiels dans l’étude du Phénomène d’ornièrage



**Fig.III.37: influence de variations saisonnières sur l’ornièrage (White, 1999)**

### III -2-4-5-6-quelques essais utilisés:

Afin de juger la résistance à l'orniérage des chaussées bitumineuse, les auteurs s'intéressent à la réalisation de plusieurs essais. Parmi ces derniers nous présentons :

#### a- Essai Marshall :

Cet essai rentre dans la catégorie des essais empiriques à chargement unique, son principe sur le compactage et damage des éprouvettes d'enrobés dans un moule cylindrique de 10 cm de diamètre à l'aide de chocs produits par une dame de poids et de hauteur de chute normalisés (50 coups sur chaque face de l'éprouvette).

Vu la complexité des sollicitations engendrées, l'essai ne permet pas la détermination d'une propriété intrinsèque du matériau mais il induit à la détermination directe de deux grandeurs :

- La stabilité Marshall (SM) qui est la force maximale appliquée;
- Le fluage Marshall (FM) qui est la valeur de déformation en 1/10 mm correspondant à la stabilité.

Les éprouvettes sont émergées dans un bain d'eau à 60°C pendant une durée de 30 à 40 min

Avant de les soumettre à des forces de compression à vitesse de 51mm/min.

Tout de même cet essai est largement critiqué à cause du mode de confection des éprouvettes qui n'est pas représentatif du compactage obtenu sur chantier, de la résistance à l'orniérage sous l'effet du trafic n'est pas assurée par l'optimum en terme de stabilité Marshall et le fluage donné par cet essai ne représente pas réellement ce phénomène sur terrain.

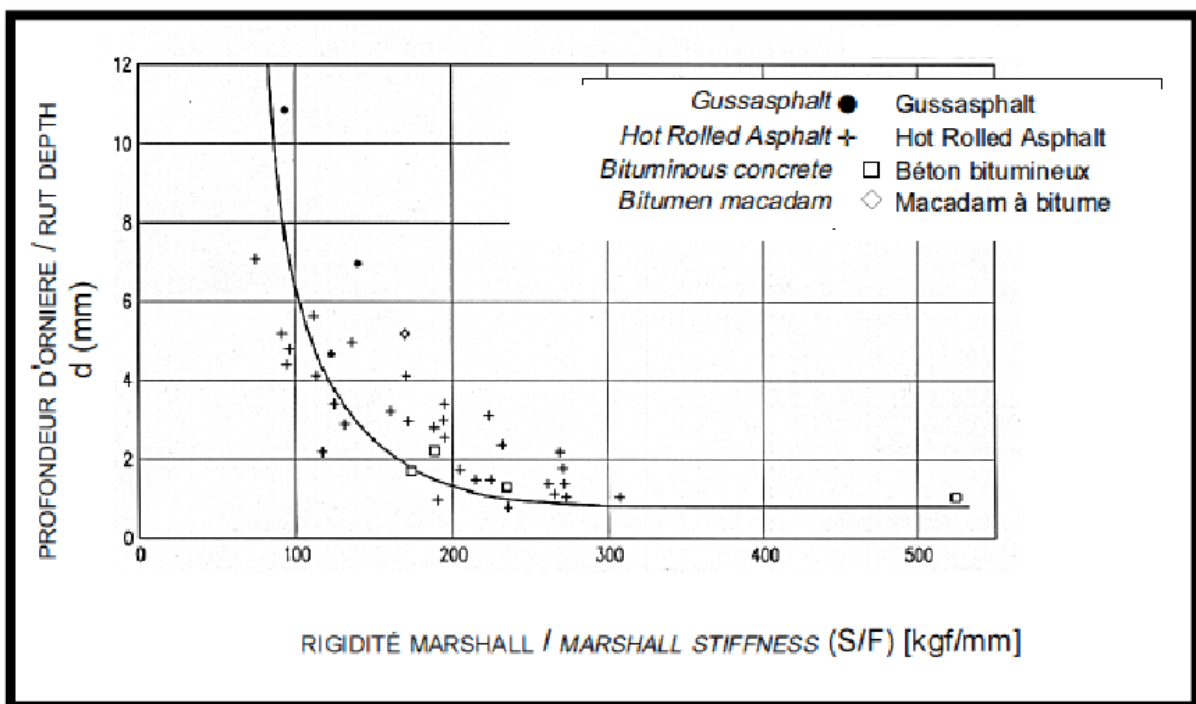
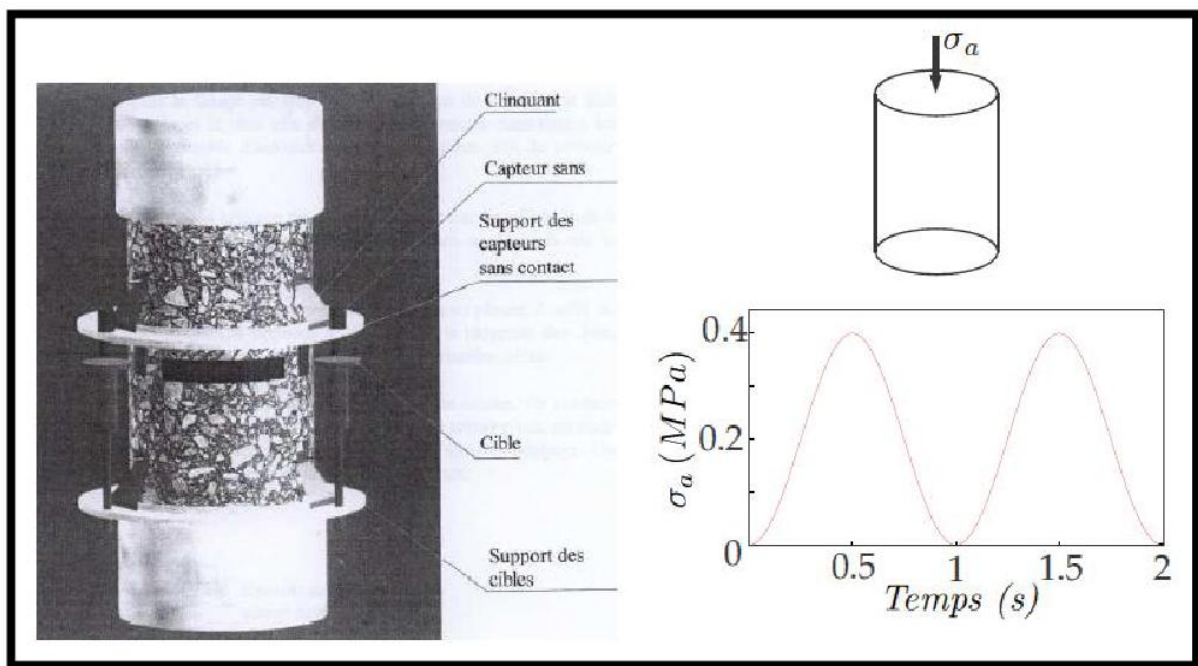


Fig.III.38:Profondèur d'ornièrerie en fonction de la rigidité Marshall (S/F)

### b- Essai de fluage cyclique :

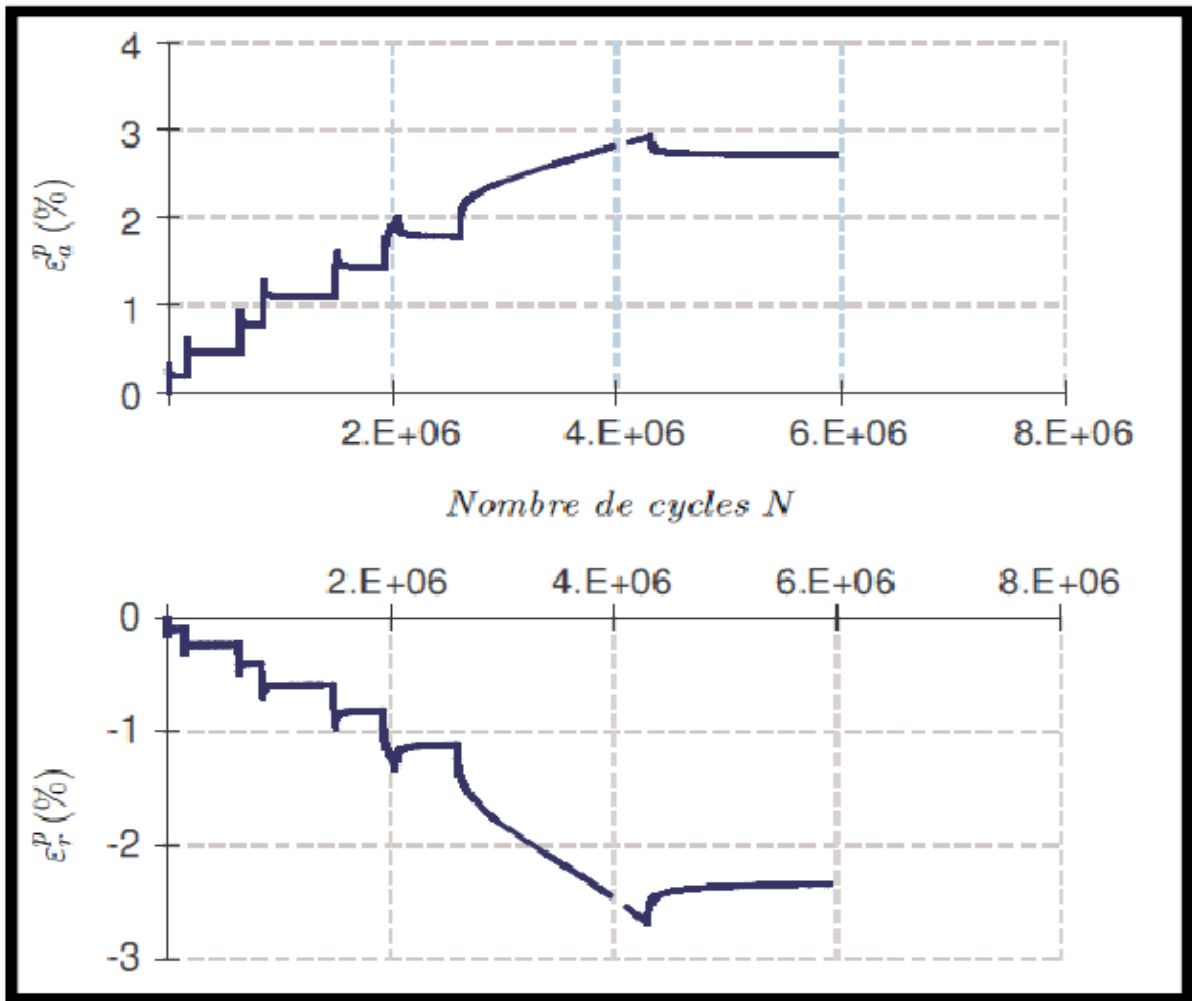
Cet essai rentre dans la catégorie des essais de détermination à chargement répétés ; il s'agit d'un essai de déformabilité réversible et permanente. Il nous permet de déterminer les modules de déformation réversible et permanente.

L'essai consiste à appliquer une seule force de compression sinusoïdale sur une éprouvette non soumise à un confinement, puis mesurer à chaque cycle les déformations totales et les déformations permanentes.



**Fig.III.39: Schéma d'essai de fluage cyclique (Neifar et Di Benedetto,2000)**

Chaque phase de sollicitation est succédée par une phase de repos et cela dans le but d'éliminer les déformations réversibles.

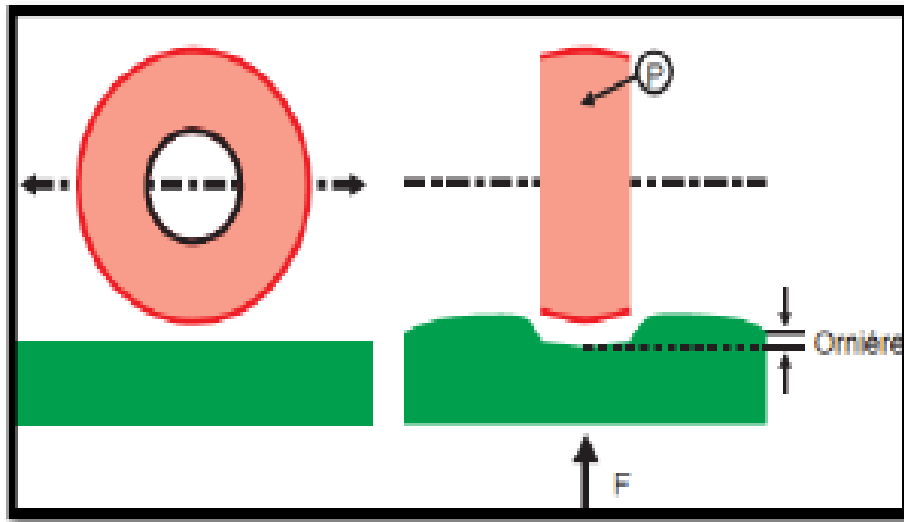


**Fig.III.40:Exemple des résultats d'essai de fluage dynamique**

L'état de contrainte uniforme et unidimensionnel dans cet essai traduit l'état de contrainte dans la chaussée soumise au poids des véhicules.

### c- Essai à l'orniéreur :

Il rentre dans la catégorie des essais de simulation à chargement répété. La sollicitation approche quelques sollicitations rencontrées in situ mais vu la complexité du procédé il ne permet que la détermination de l'évolution de la déformation en fonction de la répétition des charges. Il consiste à soumettre, dans des conditions de température fixée (45 à 60 °C), une plaque d'enrobé bitumineux à une charge verticale induite par une roue équipée d'un pneumatique qui provoque une diminution relative de l'épaisseur de la plaque.



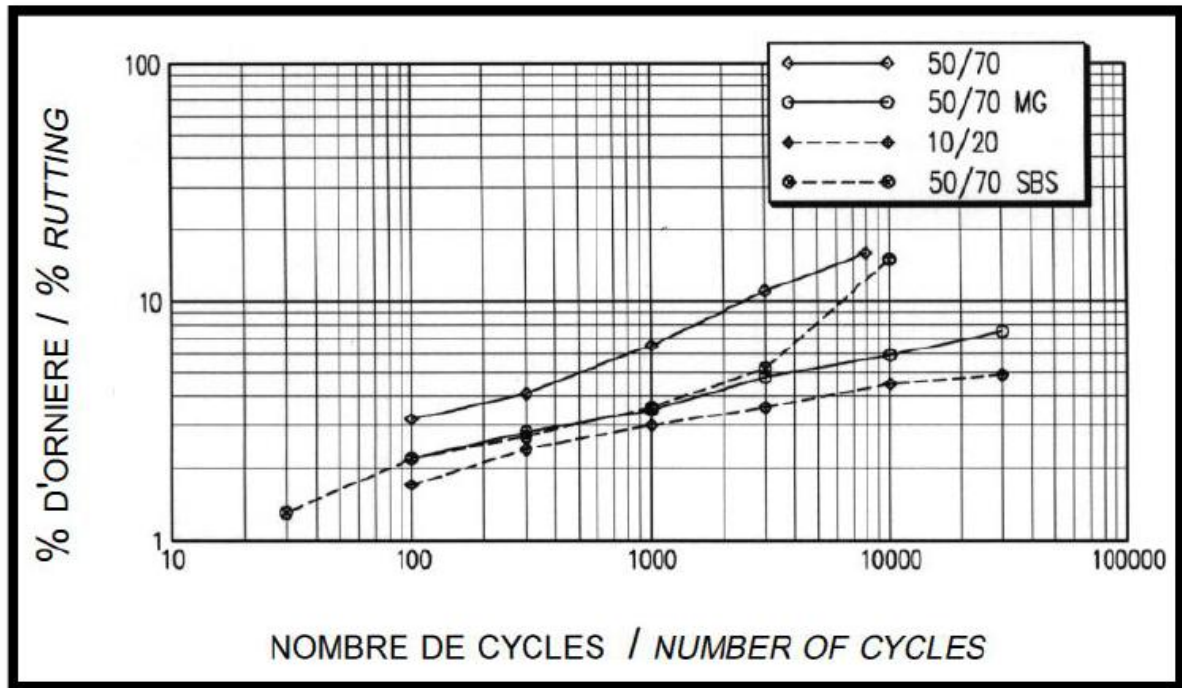
**Fig.III.41: principe de l'essai d'orniérage**

En cours d'essai, l'ornière est relevée à plusieurs reprises sur cinq profils ; On mesure la profondeur d'ornière provoquée et on déduit la courbe d'évolution de la profondeur moyenne d'ornière en fonction du nombre de cycles. Ces courbes sont exprimées en pourcentage de l'épaisseur de la dalle en fonction du nombre de cycles, elles sont généralement de la forme :

$$y = A (N/1000)^b$$

A : la profondeur d'ornière à 1000 cycles,

B : pente de la droite de régression.



**Fig.III.42:Influence de la nature du liant sur la profondeur d'ornièrre**

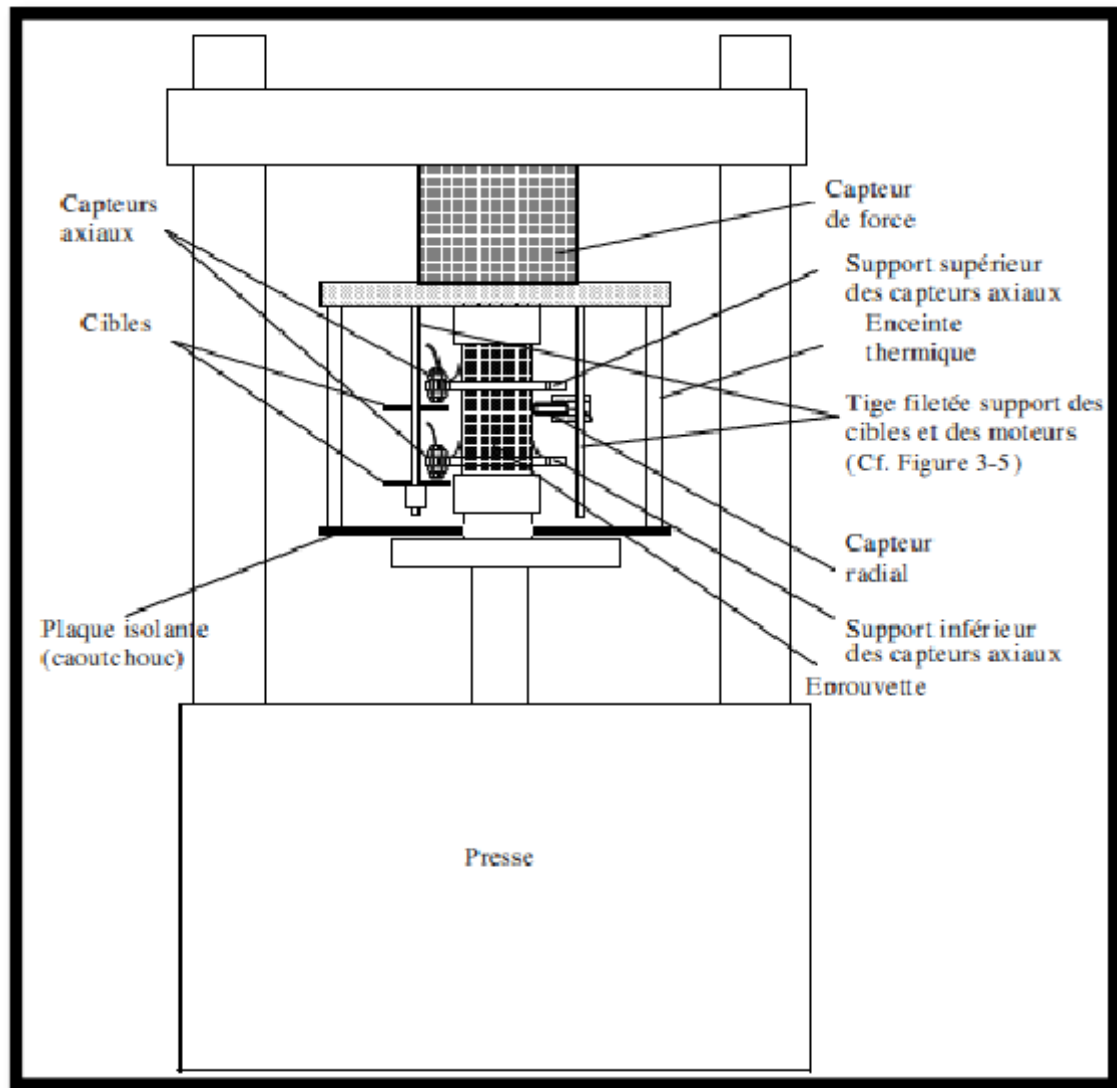
(Essai à l'ornièrreur LPC)

Malgré que cet essai est très utilisée pour étudier l'influence des formulations du mélange sur l'ornièrre, il reste toujours insuffisant, car il ne donne pas accès à la loi de comportement. Pour cela, il est disqualifié pour la caractérisation fondamentale de l'ornièrre.

#### **d- Essai de traction et/ou de compression :**

Cet essai fait partie des essais empiriques à chargement unique. Il permet l'étude des déformations permanentes sous un chargement unique ou sous un chargement répété. Le dispositif comprend :

- Une presse hydraulique,
- Une enceinte thermique,
- Système de mesure des déformations



**Fig.III.43: Dispositif expérimental**

Lors de l'essai, la contrainte appliquée est sinusoïdale, la déformation subie par l'éprouvette est proche d'une sinusoïde dont la valeur moyenne évolue avec le temps.

Le but de cet essai est la mesure simultanée de la déformation moyenne et l'amplitude de la sinusoïde.

Le développement de ce premier est relié au développement d'une ornière dans la chaussée par contre l'évolution de l'amplitude du signal de déformation est reliée à l'évolution du module du matériau pour les faibles déformations. Il a été constaté que les déformations axiales peuvent atteindre 20% ce qui est traduit par un déplacement de 15mm sur une longueur de 75 mm, alors que l'amplitude du signal de déformation peut atteindre une dizaine de microdéformation ce qui correspond à des déplacements de quelque microns.

A ce groupe d'essais caractérisant l'orniérage, nous pouvons encore ajouter :

- Essai à la presse à cisaillement giratoire,

- Essai de compression diamétrale sous un chargement répété,
- Le manège de fatigue LCPC,
- Essai de cisaillement SST.

### **III -2-4-5-7- Etapes de l'atténuation de l'orniérage :**

Afin de réduire l'orniérage dans les revêtements bitumineux, un plan d'action a été dressé. Ce plan comporte les différentes étapes suivantes :

#### **III -2-4-5-7-1- L'évaluation des problèmes de tenue de la chaussée et la détermination de la cause de tout orniérage :**

##### **a- Repérage des problèmes d'orniérage :**

Initialement, le repérage de l'orniérage peut être lié soit aux travaux d'inspection, soit aux plaintes des usagers. L'intérêt de cette étape ne réside pas dans le repérage, mais il réside dans la détermination du type d'orniérage et son évaluation (son importance et son étendue), ainsi que son emplacement.

D'après la norme ASTM D6433, (**Standard Practice for Roads and Parking Lot Pavement Condition Index Surveys**) (ASTM,2002; Shahin, 1994), l'importance de l'orniérage est suivant la profondeur des Ornières qu'on classe comme suit :

De 6 à 12,5 mm : importance faible,

De 12,5 à 25 mm : importance moyenne,

> 25 mm : importance élevée.

On peut mesurer la profondeur des ornières (profondeur d'aplanissement) sous une règle de vérification de 1,2 m posée en travers de la surface du revêtement (la règle doit absolument couvrir toute la largeur de l'ornière.

##### **b- Programme d'évaluation :**

Dans les cas où l'orniérage s'avère élevé, il faut effectuer une évaluation qui permettra la détermination des causes de son apparition et son développement tels que : le trafic, l'environnement, propriétés du mélange.....etc.

Cette évaluation doit inclure des photos prise sur le site :

- L'inspection visuelle de l'état de la surface (arrachement ou ressuage dans les traces de roues) et des mesures de profil transversal ;
- Des essais de déflexion servant à vérifier le caractère adéquat de la structure;
- Un carottage et des trous de sondage qui permettront d'obtenir des échantillons des matériaux de la chaussée et de l'infrastructure pour examen en laboratoire ;
- Des mesures de l'épaisseur de toutes les couches de la structure de la chaussée, aussi bien dans les zones avec ornières que dans les zones sans ornière;

- La détermination des propriétés des matériaux de l'enrobé, dans l'ornière et à l'extérieur de celle-ci
- L'examen de l'information relative à la construction et à l'entretien de la chaussée, avec accent sur la qualité générale de la construction, en particulier des enrobés préparés à chaud incorporés dans la chaussée.

#### **III -2-4-5-7-2- La vérification du caractère adéquat de la structure de la chaussée :**

Lorsqu'on évalue des problèmes de tenue de la chaussée, il faut absolument vérifier si la structure de la chaussée est adéquate. Les chaussées (souples ou rigides) et les chaussées réhabilitées ou reconstruites doivent avoir une capacité structurale qui leur permettra de résister aux charges de roulage. Il existe d'excellents guides de conception des chaussées (p. ex. AASHTO, 1993; AI, 2000; APA, 2002; Cebon, 1999; MTO, 1990; Smith et coll., 2002; et ATC, 1997). Dans le cas des chaussées existantes, on doit vérifier la capacité structurale des matériaux en place et enlever ou remplacer les zones défoncées ou faibles (Buncher, 2002; Walker et Buncher, 1999).

#### **III -2-4-5-7-3- Le choix de la mise en pratique d'une approche rentable et techniquement fiable de**

L'atténuation de l'orniérage de la chaussée, prévoyant le choix des formulations et des matériaux appropriés :

L'examinassions des diverses techniques d'atténuation de l'orniérage dépend du stade de la conception :

Une chaussée à construire, une chaussée à reconstruire ou du stade de l'intervention dans le cas des chaussées existantes dans lesquelles il ya apparition de l'orniérage.

#### **III -2-4-5-7-4- Le recours aux techniques de construction appropriées prévoyant l'assurance de la qualité :**

La tenue de toute chaussée dépend fortement des techniques de construction utilisées et de la qualité de l'ouvrage fini. La résistance à l'orniérage dépend toujours du recours à des techniques de construction adéquates et du contrôle de la qualité effectué par l'entrepreneur.

#### **III -3- Conclusion :**

Ce chapitre a comporté une analyse bibliographique sur l'orniérage, qui constitue la principale dégradation des chaussées souples. Ce phénomène peut résulter des déformations viscoplastiques dans la couche de surface ou des déformations plastiques dans les autres couches .plusieurs facteurs influence le mécanisme de formation de l'orniérage, notamment la structure des chaussées (épaisseurs des ses couches .propriété des matériaux ...) les facteurs liés au trafic (type de pneus .charge par essieu .vitesse de circulation .pression de gonflage) et les facteurs environnementaux.

**CHAPITRE IV :**

**AUSCULTATION**

**DES CHAUSSEES**

**IV-1- Introduction :**

La connaissance de l'orniérage des chaussées bitumineuses est l'un des indicateurs importants pour l'appréciation de la qualité d'usage de ces chaussées, en termes de sécurité, de confort et de leur état structurel. La caractérisation du profil est faite à l'occasion des opérations d'auscultation qui peuvent être motivées par des études d'entretien, de sécurité ou pour la réception de travaux. Pendant longtemps l'orniérage a été évalué visuellement par des opérateurs se déplaçant à faible vitesse sur tronçon à ausculter et les informations obtenues étaient trop approximatives en regard du degré de précision recherché actuellement.

**IV-2- Définition d'auscultation:**

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

**IV-3- Objectifs de l'auscultation :**

Les investigations conduites avant l'établissement d'un projet de réparation doivent répondre aux objectifs suivants :

- évaluer l'ampleur des désordres : cette évaluation fait souvent appel à une conjugaison de techniques de contrôles non destructifs (généralement qualitatives) et de techniques quantitatives appliquées sur des prélèvements.
- établir le diagnostic : mis à part les cas simples où le pré-diagnostic réalisé à l'issue de l'inspection visuelle suffit pour se forger une opinion sur la dégradation affectant une chaussée, et les cas compliqués où des recherches sont encore nécessaires pour identifier l'origine de la maladie, dans tous les autres cas, des investigations bien menées doivent permettre l'obtention du bon diagnostic.
- définir ou étayer des hypothèses de calcul : la détermination de caractéristiques mécaniques des matériaux, les épaisseurs des couches, la teneur en liant et en fine.

**IV-4- Procédure par étapes :**

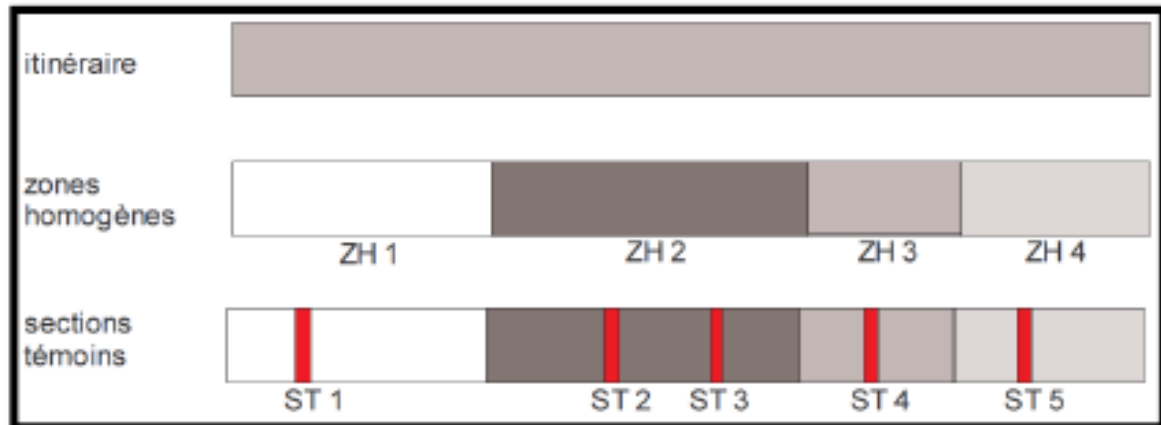
L'auscultation se base sur le recueil des éléments d'information nécessaire pour établir un programme d'entretien. Elle comporte trois phases :

**Etape 1 :** basée sur la collecte des données globales ou à caractère continu sur la route,

**Etape 2 :** subdivision de l'itinéraire en zones de mêmes caractéristiques (homogènes),

**Etape 3 :** identification du comportement de chacune des zones homogènes par des analyses plus avancées et plus profondes sur les sections témoins extraites de ces mêmes zones et cela selon leur longueur.

Application à ces sections témoins un programmes d'investigations détaillées, pour déterminer les caractéristiques du corps de la chaussée. La vérification de la transposition des résultats obtenus à l'ensemble de la section homogène vient en dernier



**Fig.IV.1: les phases d'auscultation**

#### **IV-5- Etape 1 : Inventaire des données :**

##### **IV-5-1- Données générales :**

##### **IV-5-1-1- Nature de la liaison :**

Le réseau routier est un ensemble de liaisons qu'il faut identifier de manière conventionnelle.

L'itinéraire est une liaison routière ou autoroutière identifiée par le numéro de la route selon les cas :

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

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

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

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

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

#### **IV-5.1.2- Les localités traversées :**

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

#### **IV-5.2- Historique :**

Les éléments historiques de la chaussée, qui concernent la structure et sa réalisation devront être recueillis auprès du gestionnaire du réseau. Les informations à recueillir nous permettent de connaître l'âge des différentes couches de la chaussée et leur évolution après la mise en service. Ces données sont telles que :

- Renseignement sur la structure en place (nature, épaisseur de chaque couche, date des travaux, matériaux utilisés, etc.),
- Nature et date des derniers travaux d'entretien,
- Localisation des travaux d'entretien,
- Zones à problèmes (inondations, points noirs, ensablement, enneigement, tassement, etc.).

#### **IV-5.3- le trafic :**

La connaissance du trafic poids lourds est nécessaire pour :

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

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

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

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

**Tab.IV.1: Définition des classes de trafic**

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

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

#### **IV-5-4- Données géotechniques :**

L'objectif de la reconnaissance géotechnique est l'identification de la nature et de l'épaisseur des différentes couches constituant le corps de la chaussée ainsi que la nature du sol support. La collecte des données géotechniques se réalise en trois phases :

##### **a- phase 1 :**

Elle consiste à collecter les documents existants (cartes géologiques, cartes géotechniques à échelle convenable) ainsi que les études géotechniques réalisées (sondages, essais de laboratoire situés sur le tracé étudié).

##### **b- phase 2 :**

Cette phase est une analyse des documents précités qui doit permettre de juger si ceux-ci sont suffisants au regard des formations traversées et du niveau de connaissance nécessaire.

##### **IV-5-4-1- Nature de la plateforme :**

La reconnaissance géotechnique est basée sur la détermination :

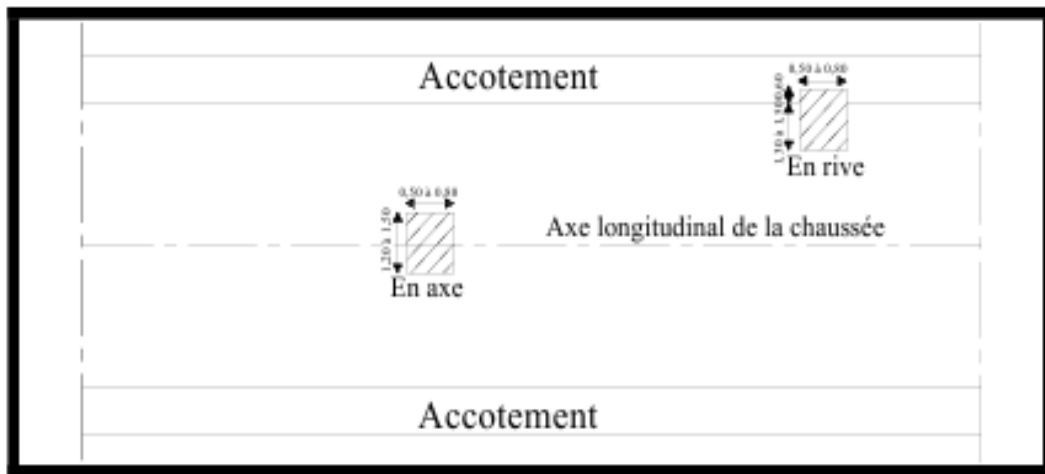
- la nature de la formation,
- la nature des terrassements de l'assiette
- l'appréciation de la stabilité des versants rencontrés,
- localisation des formations impliquant des difficultés géotechniques : marécages, sol compressible, nappes.
- La hauteur des remblais.

**IV-5-4-2- Sondages sous-chaussées et sous accotements :**

L'objectif de ces sondages est de :

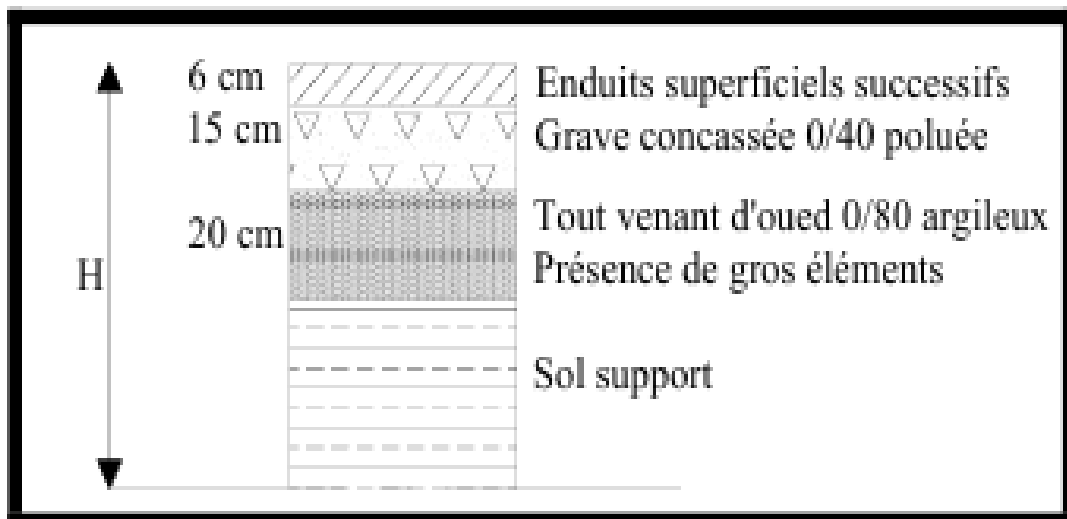
- Connaître les épaisseurs des couches constituant la chaussée,
- Déterminer la nature et l'état des matériaux constituant ces couches,
- Identifier les caractéristiques géotechniques du sol support.

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



**Fig.IV.2: Vu en plan de l'emplacement des sondages**

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



**Fig. IV.3: coupe d'un sondage**

**IV-5-5- Données géométrique :**

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

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

**IV-5-6- Données sur l'assainissement :**

Vu le rôle important de l'eau sur la route et en particulier sur la chaussée, les données concernant l'assainissement et le drainage doivent être prises avec un maximum d'attention.

On prend en considération les ouvrages suivants :

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

**IV-5-7- Auscultation visuelle :**

Le relevé de dégradations de surface est un indicateur de base de l'appréciation de l'état des chaussées.

Les réparations sont aussi signalées car elles révèlent l'existence de dégradations antérieures.

**IV-5-7-1- Procédé du relevé :**

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

**IV-5-7-2- Évaluation de l'orniérage :**

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

L'étendue est la longueur endommagée par rapport à la longueur totale de la sous-section pour les dégradations linéaires telles que les ornières. Gravité est la profondeur de l'ornière en mm .

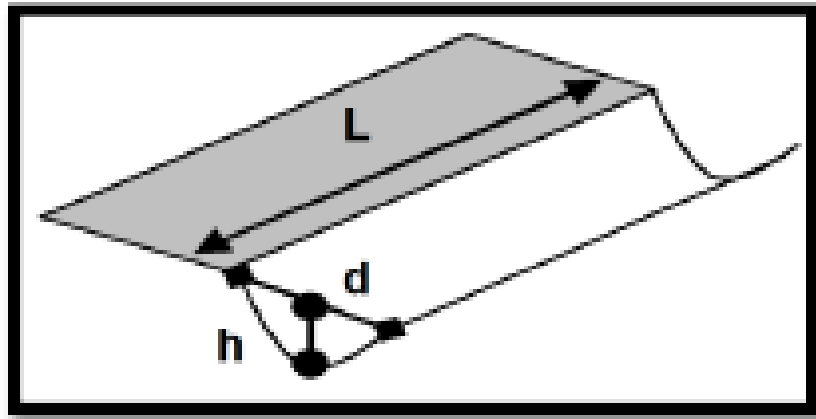


Fig.IV.4: paramètres « étendue et gravité » dans une ornière

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

Tab.IV.2: Importance de l'ornièrage en fonction de l'étendue et la gravité.

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

#### IV-5-8- Auscultation automatique :

##### IV-5-8-1- Mesure de déflection :

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

##### IV-5-8-1-1- Mode d'acquisition du paramètre « Déflection » :

On peut réaliser les mesures soit :

##### IV-5-8-1-1-1- De manière continue :

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

**Défectographe (NF P 98-200-3 à 5) :****a- définition :**

Sous l'action d'un poids lourd en mouvement à vitesse constante le défautographe mesure le bassin de déflexion d'une chaussée. Il permet d'appliquer les différents modes opératoires de la méthode LPC n°39 de mesure de déformabilité de surface.



**Fig.IV.5: Défectographe**

**a- Principe :**

Le défautographe se présente sous la forme d'un camion porteur d'un dispositif de mesure placé sous le châssis. Lors de mesure, le véhicule porteur se déplace à une vitesse fixe. Grâce à la poutre de mesure qui repose sur la chaussée, deux mesures sont réalisées (axe et rive) et cela avant qu'elle soit tractée vers l'avant pour qu'elle repose à nouveau. Pour assurer la maniabilité de l'engin, le défautographe a été conçu sur un porteur d'empattement de cinq mètres. Ainsi, même les itinéraires les plus sinueux peuvent être parcourus. Il est possible de conserver la poutre vers l'avant pour prendre un virage serré ou de remonter l'ensemble de mesure pour franchir un obstacle. Si des mesures sont nécessaires, en virage, la position de la poutre est asservie à la direction du poids lourd via un vérin hydraulique qui place la poutre sur la trajectoire en virage de l'essieu arrière.

Pour assurer le retour vers l'avant de la poutre, la traction s'effectue par des galets montés sur un rail linéaire actionné par un moteur hydraulique et pour assurer sa pérennité, un système mécanique la guide pendant la phase de mesure pour éviter tout écrasement par le camion porteur.



**Fig.IV.6: poutre de mesure**

Lors des mesures, il est possible de saisir simultanément des éléments facilitant le repérage et l'interprétation des mesures. L'ensemble des informations collectées sont enregistrées en fonction de l'abscisse dans des fichiers textes utilisables dans des tableurs. Le déflectographe est qualifié en classe 2 de la méthode d'essai LPC n°39 sur tous les types de structure tant à 3,5 km/h qu'à 7 km/h pour la mesure de déflexion maximale.

### **c- Caractéristiques**

- La vitesse d'avance est fixée à la vitesse voulue :
  - pas de 5 m :  $\approx 3,5$  km/h ;
  - pas de 10 m :  $\approx 7$  km/h.
- L'abscisse de mesure est donnée à 0,1 m près.
- La résolution est de 0,01 mm.
- La température de surface est prise en chaque point de mesure à 1°C près.

### **Curviamètre (NF P 98-200-7) :**

#### **a- Définition :**

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



**Fig.IV.7: Curviamètre**

**b- Caractéristiques de mesure :**

- sensibilité de la mesure de déflexion : 0,03 mm,
- la vitesse est de l'ordre de 18 km/h.
- 3000 déformées mesurées par heure,
- capacité d'auscultation de 50 à 100 km par jour selon le réseau.

**c- Applications :**

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

**V-5-8-1-1-2- De manière ponctuelle :**

➤ **La poutre Benkelman (norme NF P 98-200-2) :**

**a- Définition :**

La poutre Benkelman permet la mesure statique et ponctuelle de la déformation des chaussées par un essieu de véhicule, ou lors d'un essai à la plaque sur les types de chaussée suivants : souples ; Bitumineuse épaisses ; Inverses. La poutre Benkelmann est utilisée sur des sections dont le linéaire est compris entre 500 et 3 000 mètres. Au delà de 3 000 mètres, elles sont du domaine des mesures à grand rendement.



**Fig.IV.8: poutres Benkelman**

#### **b- Principe :**

La poutre Benkelman est constituée d'un fléau (démontable en deux parties) qui s'articule autour d'un axe monté sur roulements à billes et d'un châssis reposant sur le sol par 3 pieds sur rotules réglables en hauteur. L'horizontalité de la poutre Benkelman est contrôlée par un niveau à bulle. Le comparateur au 1/100 mm électronique se monte sur l'extrémité du châssis, par son oreille de fixation.

La mise à zéro très facile à effectuer se termine par un réglage fin du pied arrière de la poutre Benkelman.

Une position de blocage par goupille est prévue pour le transport sur chantier d'un point à un autre.

L'ensemble fléau châssis ainsi immobilisé protège le comparateur.

La distance du palpeur à l'axe d'articulation étant le double de celle de la touche du comparateur, les valeurs lues sur celui-ci représentent la moitié du déplacement du palpeur.

#### **- Analyseur de profil en long :**

##### **a- Définition:**

Appareil destiné à la mesure du profil en long des chaussées en service ou en cours de construction, selon la norme NF P 98-218-3 et la méthode LPC n° 46. Il permet de localiser et

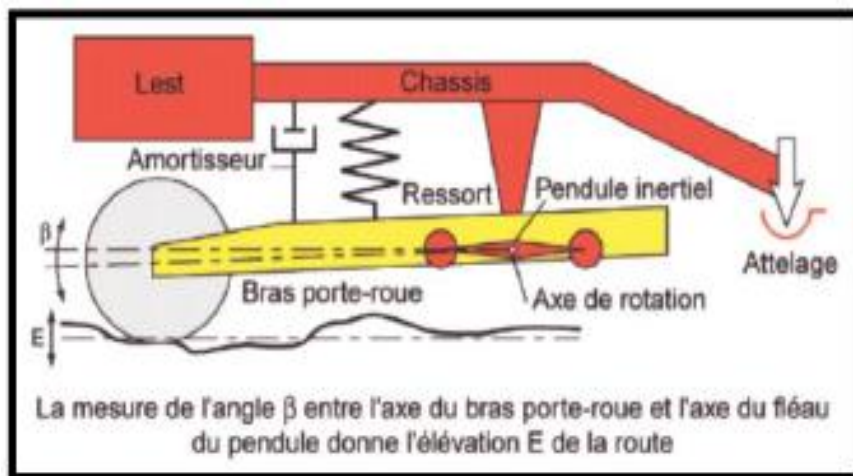
de quantifier les défauts d'uni provenant de dégradations sous l'action du trafic, ou survenant lors de la réalisation des couches successives constituant la chaussée.



**Fig.IV.9: analyseur de profil en long (APL)**

**b- Principe :**

La mesure s'effectue par l'intermédiaire d'une ou deux remorques APL tractées dans les traces normales de la circulation. Les défauts d'uni du profil sont traduits en signaux électriques.



**Fig.IV.10: Schéma de principe**

Chacune de ces remorques est constituées par :

- Un bras très rigide équipé d'une roue, type vélomoteur,
- Un châssis lesté reposant sur le bras par un ressort et un amortisseur étudié de manière à assurer un excellent contact de la roue sur la chaussée,
- Un pendule inertiel basse fréquence servant de référence pseudo-horizontale.

**V-8- Conclusion :**

Après la recueil des données d'auscultation, et après les profils et les carottes, on analyse les résultats pour déterminer le type (ou les types) d'orniérage qui a eu lieu et les causes connexes. Quand il n'y a aucune ornière dans la couche de béton bitumineux la plus basse (c.-à-d. que le dessus de la fondation supérieure granulaire est plat), l'orniérage se situe manifestement dans la ou les couches de béton bitumineux, sous forme d'orniérage dû à la densification ou à l'instabilité des enrobés, ou aux deux à la fois.

Cela se fait de manière à déterminer la stratégie d'atténuation la plus appropriée, et technique de réhabilitation convenable.

## **CONCLUSION GENERALE**

---

### **Conclusion générale :**

L'orniérage est un des modes majeurs de dégradation des enrobés bitumineux qui se produit sous les passages répétés des chargements du trafic couplés avec une température environnementale élevée.

L'origine de ce phénomène est le comportement viscoplastique des matériaux bitumineux, notamment sous chargements cycliques. Des travaux de modélisation sont nécessaires pour comprendre

Dans notre mémoire, nous avons présenté les différents types de structure. Ces différentes structures supportent différents types de dégradations notamment l'orniérage. Cette pathologie est considérée comme l'une des plus grands modes de dégradations de chaussées, elle est le but de plusieurs recherches actuelles.

# **BIBLIOGRAPHIE**

---

## Bibliographique

- [1] Michel FOUR« Cours routes de l'ENSTPE Tome 1 »
- [2] Michel FOUR« Cours routes de l'ENSTPE Tome 2 ». janvier 2002
- [3] Les Enrobés bitumineux : formulation, fabrication, – Montréal 2006.
- [4] LCPC «Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés à chaud ». Septembre 2005.
- [5] Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves LCPC-SETRA 1998
- [6] NF P 98-132« Couches de roulement et couches de liaison : Bétons bitumineux Minces » Juin 2000
- [7] INFRA 2005, Montréal, Québec, Nov. 21-23, 2005, pp. 1-8 « Influence de l'épaisseur de la couche de surface sur la déformation verticale au-dessus de la couche de base et de plateforme support »
- [8] Etats de contrainte générés dans les couches bitumineuses d'une chaussée, à l'aplomb d'une roue simple (Di Benedetto et Corté, 2005)
  
- [9] Chemins de contraintes à différentes profondeurs dans une couche bitumineuse de chaussée [Di Benedetto et Corté, 2005]
- [10] Angle des directions principales des contraintes avec la verticale en fonction de la distance de la charge au point considéré [Di Benedetto et Corté, 2005]
  
- [11] Influence de la nature du liant [Vanelstraete et Francken, 1994]
  
- [12] Influence de la teneur en liant au niveau d'ornièrre [Grimaux, 1977]
- [13] Propriétés internes en fonction de la teneur en liant [Christensen et Bonaquist, 2002]
- [14] Influence de la granularité [Grimaux, 1977]
- [15] Influence de la forme des granulats [Vanelstraete et Francken, 1994]
- [16] Effet de l'angularité et du pourcentage de vides sur la rigidité en compression du mélange (Uge,P et P.J.Van de Loo/1974)
- [17] Influence de la vitesse du trafic [Aussedat, 1977]
- [18] influence de variations saisonnières sur l'orniérage (White, 1999)
- [19] Schéma d'essai de fluage cyclique (Neifar et Di Benedetto,2000)
- [20] Ancienne mémoires
- [21] Boularak« Cours routes de ENSTP 4ème année ».
- [22] M Kara « Cours routes de ENSTP 4ème année ».