

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

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



## **Mémoire de Master**

**Présenté à l'Université de Guelma**  
**Faculté des Sciences et de la Technologie**  
**Département de : Génie Civil & Hydraulique**  
**Spécialité : Génie Civil**  
**Option : Voies et Ouvrages d'Art**  
**Présenté par : Mouhoub Mohamed Fouzi**

**Sota Ahmed Amine**

**Rais Saïd**

---

---

**Thème : recyclage du béton bitumineux, état d'art**

---

---

**Sous la direction de :**  
**Professeur: Guenfoud Mohamed**

**Juin 2015**

---

---

# ★*DEDICACES*★

*Nous dédions ce modeste travail à nos chers parents, nos chers frères et nos chères sœurs*

# ★ Remerciement ★

***N**ous tenons d'abord à remercier ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la foi et de nous permis d'en arriver là.*

***N**ous tenons à remercier sincèrement Professeur Guenfoud Mohamed, qui en tant qu'encadrant, s'est toujours montré à l'écoute et disponible tout au long de le mémoire.*

***N**ous vifs remerciement vont aussi aux membres de notre famille pour leurs soutient et leurs encouragement et qu'il trouve ici nos profondes reconnaissances.*

***E**n préambule à ce mémoire, je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et ont contribué à cette mémoire.*

***N**ous tenons à remercie aussi « l'université 8 mais 1945 ». Guelma de avoir donné l'opportunité de vivre une expérience aussi enrichissante tant sur le plan humain que professionnel.*

# sommaire

ملخص

Résumé

Abstract

INTRODUCTION GENERALE.....	01
<b>CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES CHAUSSEES</b> .....	<b>03</b>
I.1. Introduction.....	04
I.2. Généralités sur les routes.....	04
I.2.1. Définition de la route .....	04
I.2.2. Les composants d'une route .....	05
I.3. Les différentes couches de chaussées.....	05
I.4. Matériaux de chaussée .....	07
I.4.1. Les matériaux naturels .....	07
I.4.2. Les matériaux traités au liant hydraulique.....	07
I.4.3. Les matériaux traités au liant hydrocarboné .....	07
I.5. Les différentes structures de chaussées .....	08
I.5.1. Les chaussées rigides .....	08
I.5.2. Les chaussées souples .....	09
I.5.3. Les chaussées bitumineuses épaisses .....	11
I.5.4. Les chaussées semi-rigides(ou à assise aux liants hydrauliques) .....	12
I.5.5. Les chaussées rigides (ou en béton de ciment) .....	12
I.5.6. Les chaussées à structures mixte.....	14
I.5.7. Les chaussées à structures inverse.....	15
I.5.8. Les chaussées à structures composite.....	15
I.6.Dimensionnement des chaussées .....	17
I.6.1. La démarche .....	17
I.7.Conclusion.....	18
<b>CHAPITRE II : Types des enrobés bitumineux et leurs formulations</b> .....	<b>19</b>
II.1.Introduction.....	20
II.2.Types des enrobés bitumineux.....	20
II.2.1. Béton Bitumineux (BB) .....	20
II.2.2.Grave Bitume (GB) .....	20
II.2.3. Les produits à froid.....	20
II.2.4. Les Graves Émulations.....	21
II.3. Les Méthode de Formulation et les Essais pour Enrobés Bitumineux.....	21
II.3.1. Fabrication du mélange en laboratoire .....	21
II.3.2. Les Essais sur les enrobés bitumineux.....	22
II.3.2.1. L'essai P.C.G.....	22
II.3.2.2. L'essai de tenue à l'eau (Essai Duriez).....	22
II.3.2.3. L'essai d'orniérage.....	24
II.3.2.4. Essai de module.....	25
II.3.2.4. Essai de fatigue.....	26
II.3.2.5. Essai Marshall.....	26
II.4.Trafic et climat.....	28
II.4.1.Trafic .....	28
II.4.2.Le Climat.....	28
II.5.Les différents types de centrales .....	29
II.5.1.Les centrales à chauds.....	29
II.5.2.Les centrales à froids.....	30
II.5.3.mode de dosage des granulats et des fines .....	30
II.5.4.les méthodes de calibrage des doseurs des matériaux granulaires .....	31
II.5.5.La température de fabrication des enrobes à chaud .....	31
II.6.Le transport des enrobés bitumineux à chaud .....	31
II.7.conclusion.....	32

<b>CHAPITRE III: LES DEGRADATIONS DES CHAUSSEES</b>	33
III.1. Introduction.....	34
III.2 Dégradation des chaussées bitumineuses .....	34
III.2.1. Les arrachements .....	34
III.2.1.1. Le décollement .....	34
III.2.1.2. Plumage.....	34
III.2.1.3. Désenrobages.....	35
III.2.1.4. Pelade.....	36
III.2.1.5. Têtes de chat.....	37
III.2.1.6. Nids de poule.....	37
III.2.2. Les fissurations.....	38
III.2.2.1. Les fissures.....	38
III.2.2.2. Le faïençage.....	40
III.2.2.3. Les épaufrures.....	41
III.2.3. Les remontées .....	41
III.2.3.1. Remontées (d'eau ou d'argile).....	41
III.2.3.2. Ressuage.....	42
III.2.3.3. Boursouflure.....	43
III.2.4. Les déformations.....	43
III.2.4.1. L'affaissement.....	43
III.2.4.2. Le bourrelet (gonflement).....	44
III.2.4.3. flache.....	44
III.2.4.4. La tôle ondulée.....	45
III.2.4.5. L'orniérage.....	46
III.3. Conclusion .....	47
<b>Chapitre IV : Recyclage des Bétons Bitumineux</b>	48
VI.1. introduction.....	49
VI.2. La cause du recyclage .....	49
VI.3. Les matériaux recyclable .....	50
VI.4. La manière de recyclage.....	50
VI.5. La Pyramide des exigences pour le recyclage.....	52
VI.6. Etudes préliminaires, essais et classification du recyclât d'enrobé (RA).....	52
VI.6.1. Traitement du gravier du recyclât d'enrobés.....	53
VI.6.2. Granulométrie des minéraux.....	53
VI.6.3. Homogénéité du RA.....	53
IV.6.4. Essais et classification du RA.....	53
VI.7. La formulation du mélange .....	54
VI.8. Etude de formulation, Consistance et méthodologie:.....	55
VI.9. Caractéristiques mécaniques des matériaux de recyclage.....	57
VI.10. Les équipements de recyclage.....	57
VI.10.1. Les Types de centrales d'enrobage.....	57
VI.10.2. Les Procédures d'approbation pour la production d'ARA.....	61
VI.10.3. Capacité des centrales pendant la production .....	62
VI.11. productions d'ARA .....	62
VI.11.1. La préparation et le stockage de RA .....	62
VI.11.2. Protections du RA .....	64
VI.11.3. RA avec bitume modifié par des polymères (PMB) .....	64
VI.12. Les avantages du recyclage.....	65
VI.13. conclusion .....	66
Conclusion générale.....	67
Bibliographie.....	68
Annexe.....	70

## Listes des figures

Figure.I.1 : Coupe transversale d'une route (profil en travers) .....	5
Figure.I.2 : Coupe transversal d'une route .....	5
Figure.I.3 : Composantes d'une chaussée rigide .....	9
Figure.I.4 : Composantes d'une chaussée souple .....	10
Figure.I.5 : Schématisation du fonctionnement des chaussées souple .....	10
Figure.I.6 : Les différentes causes d'orniérage des chaussées souple .....	11
Figure.I.7 : Chaussées bitumineuse épaisses [LCPC.1994] .....	11
Figure.I.8 : Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques [LCPC, 1994] .....	12
Figure.I.9 : Schématisation du fonctionnement des chaussées semi-rigides .....	13
Figure.I.10 : Dalles non goujonnées avec fondation .....	13
Figure.I.11 : Dalles goujonnés avec fondation .....	13
Figure.I.12 : Dalle sans Fondation .....	13
Figure.I.13 : Béton armé continu .....	14
Figure.I.14 : Chaussées à structure mixte [LCPC.1994] .....	14
Figure.I.15 : Chaussées à structure inverse [LCPC, 1994] .....	15
Figure.I.16 : Béton armé ciment mince collé (BMC) .....	16
Figure.I.17 : Influence du collage sur le diagramme des contraintes (a) interface non collée (b) interface collée .....	16
Figure.II.1 : Les cinq niveaux de formulations des bétons bitumineux.....	21
Figure.II.2 : Machine d'essai PCG.....	22
Figure.II.3 : Presse Giratoire.....	22
Figure.II.4 : Essai Duriez.....	23
Figure.II.5 : Principe de l'essai Duriez.....	23
Figure.II.6 : Machine d'essai d'orniérage.....	24
Figure.II.7 : Diagramme d'un essai d'orniérage.....	25
Figure.II.8 : Principe de l'essai de fatigue.....	26
Figure.II.9 : Presse Marshall digitale.....	27
Figure.II.10 : Principe de l'essai Marshall.....	27
Figure.II.11 : Les centrales à béton bitumineux (à chaud) A-Centrale continue B- Centrale Discontinue	29
Figure.II.12 : Centrales à béton bitumineux (à froid).....	30
Figure.III.1: Décollement .....	34
Figure.III.2: Plumage .....	35
Figure.III.3: Désenrobage .....	35
Figure.III.4 : Pelade (a : faible – b : moyenne – c : majeur) .....	36
Figure.III.5 Têtes de chat .....	37
Figure.III.6: Nid de poule (a : faible – b : moyen – c : majeur) .....	37
Figure.III.7 : Fissures transversales (a : moyen – b- majeur) .....	38
Figure.III.8 : Fissure en piste de roues .....	39
Figure.III.9: Fissures longitudinales (a : faible – b- majeur) .....	39
Figure.III.10: Fissures de rives .....	39
Figure.III.11: Fissures de gel .....	40
Figure.III.12: Faïençage .....	40
Figure.III.13 : Epaufrures .....	41
Figure.III.14 : Remontées (d'eau ou d'argile) .....	41
Figure.III.15 : Ressuage .....	42
Figure.III.16 : Boursoufflure .....	43
Figure.III.17 : Affaissement .....	43
Figure.III.18 : Le bourrelet .....	44
Figure.III.19 : LE FLACHE .....	45

Figure.III.20 : Tôt ondulée .....	45
Figure.III.21 : Types d'orniérage .....	46
Figure.IV.1 : la pyramide des exigences.....	52
Figure.IV.2 : machine de l'essai Marshall.....	54
Figure.IV.3 : machine d'essai triaxial pour déterminer.....	55
Figure.IV.4 : Addition discontinue de granulat RA et de nouveaux minéraux.....	58
Figure.IV.5 : addition continue de granulat ra et de nouveaux minéraux.....	58
Figure.IV.6: centrale discontinue, réchauffage du ra dans le tambour sécheur des granulats vierges Centrales discontinues avec un tambour de chauffage.....	59
Figure.IV.7 : centrale discontinue avec tambour de chauffage séparé.....	60
Figure.IV.8 : tambour sécheur-enrobeur: chauffage du Ra en même temps que les granulats .....	60
Figure.IV.9 : chauffage du ra dans un tambour parallèle et ajout du ra dans un mélangeur continu supplémentaire.....	61
Figure.IV.10 :Le stockage des vieux enrobés nécessite de l'espace et des installations supplémentaires.....	63

### **Liste des tableaux**

TABLEAU.I.1 : Comparaison des différentes structures .....	18
TABLEAU.II.1 : Spécification du rapport R/r pour les différents enrobés .....	24
TABLEAU.II.2 : Exemple de résultats d'essais de module.....	25
TABLEAU.II.3 : La température de fabrication des enrobes à chaud.....	31
TABLEAU.IV.1 : Abréviations.....	51

# Les résumés

## ملخص

عن طريق هذه المذكرة، من خلال دراستنا لمشروع تخرج ماستر 2 في مسار طرق و منشآت فنية (هندسة مدنية) نقدم الجدوى من إعادة تدوير الخرسانة الإسفلتية الناتجة عن عملية طحن الطرقات المرنة المهترئة. بعد عرض مفصل حول الطرقات المرنة، التركيبات التي تتكون منها الخرسانة الإسفلتية و مختلف الأضرار التي تمس الطرقات المرنة. بعد ذلك تطرقنا إلى طرق إعادة تدوير الخرسانة الإسفلتية من وجهة نظر جدواها في الجزائر و من و وجهة نظر العمليات اللازمة لإنجاح هذه التقنية. تبقى دراسة تركيب الإسفلت المدور و مشروعية استعماله في مختلف الطرق الجزائرية.

**الكلمات الدلالية:** إعادة تدوير، اهتراء، الطرقات المرنة، طحن، الخرسانة الإسفلتية.

## Résumé:

Par ce projet de fin d'étude, pour l'obtention du diplôme de master II en voies et ouvrages d'arts de la filière génie civil, nous avons visé une étude de faisabilité de recyclage des bétons bitumineux résultat d'une opération de fraisage des chaussées souples dégradées. Après un exposé détaillé sur les chaussées souples, les dégradations des chaussées et les différentes formulations des bétons bitumineux, nous avons étudié le recyclage des bétons bitumineux du point de vue faisabilité en Algérie et du point de vue les opérations pour cette technique. Reste à faire, la formulation elle-même des bétons bitumineux avec recyclage ainsi que le coté législative (technique et droit) permettant l'utilisation des recyclât dans les différentes routes algériennes.

**Mots clés :** recyclage, dégradation, chaussée souple, fraisage, béton bitumineux,

## Abstract:

In this project of end of study, for obtaining the diploma of master 2-way and structures of the civil engineering sector, we have targeted a feasibility study of recycling asphalt concrete result of a milling operation degraded flexible pavements. After a detailed presentation on flexible pavements, damage roadways and different formulations of asphalt concrete, we studied the recycling of asphalt concrete feasibility viewpoint Algerian perspective the operations necessary for this technique. Have to do it the same formulation of asphalt concrete with recycling and the legislative side (technical and right) allowing the use of recycles in different Algerian roads

**Key words:** recycling, degradation, flexible pavements, milling, asphalt concrete.

# **Introduction Générale**

## **Introduction Générale :**

Le développement durable est un thème moderne dans le secteur des chaussées bitumineuses car la construction routière est une éminente consommatrice en granulats neufs; de plus l'entretien des routes passe forcément par le fraisage des anciennes couches de chaussée: ce qui emporte la production d'une grande quantité de déchets des matériaux bitumineux. L'utilisation de la technique de fraisage-recyclage des enrobés bitumineux pour leur réutilisation dans les projets routiers permettra de diminuer le coût absolu d'un projet de 30 % à 40% et d'un point de vue environnemental, le recyclage des enrobés permet de délimiter l'utilisation des ressources naturelles non reproductibles dans la construction des infrastructures, en plus de réduire la quantité de résidus dans les lieux d'entreposage. Le recyclage de l'ancien matériau bitumineux offre de multiples avantages sur le plan environnemental : une économie de matériaux naturels, une forte réduction du trafic de poids lourds transportant ces matériaux ainsi qu'une grande économie d'énergie. La technique de fraisage-recyclage des enrobés bitumineux pour leur réutilisation dans les projets routiers a été introduite en Algérie en 2005 et a été appliquée sur la voirie urbaine et les grands boulevards des grandes villes [DTP]. L'objectif notre projet de fin d'étude est de faire une étude bibliographique concernant la possibilité et le pouvoir de recycler des matériaux bitumineux obtenus par fraisage de couches bitumineuses, tout en gardant l'extremum des qualités du matériau recyclé et en utilisant le moins de granulats neufs possible. Depuis trente ans, suffisamment d'entreprises dans distincts pays se sont promis, à développer et à déployer le recyclage des enrobés. Des serments rendus possibles par l'arrivée à maturité des techniques de recyclage des enrobés. En centrale ou sur site (sur place), à chaud ou à froid, elles combinent économie de matériaux et d'énergie par rapport aux techniques classiques. Parallèlement, des axes robustes de recherche sont déclenchés dans le monde pour augmenter le taux de recyclage des agrégats d'enrobés et assembler le recyclage à d'autres techniques environnementales compétitives. Le but principale de notre étude se résume à faire un pacte bibliographique sur le recyclage des bétons bitumineux. Notre document est organisé comme suit :

Au chapitre premier, nous avons décrit des généralités sur les chaussées. Les différentes structures des chaussées sont aussi exposées dans ce premier chapitre; en plus des matériaux de base composants les différentes structures des chaussées.

Les différents types des enrobés (bétons) bitumineux ainsi que leurs formulations font l'objet du deuxième chapitre. De plus, les paramètres influençant la formulation, à savoir le climat et le trafic sont aussi exposés dans ce chapitre. On l'achève par la présentation des différents essais nécessaires pour la formulation des enrobés bitumineux et les différentes centrales dans lesquelles se fait la fabrication des enrobés.

Au troisième chapitre, nous avons fait un exposé sur les différentes dégradations des chaussées ainsi que leurs causes probables et leurs remèdes.

Le chapitre quatre, partie principale de notre recherche, est dédiée au recyclage des bétons bitumineux. Les points suivants sont traités :

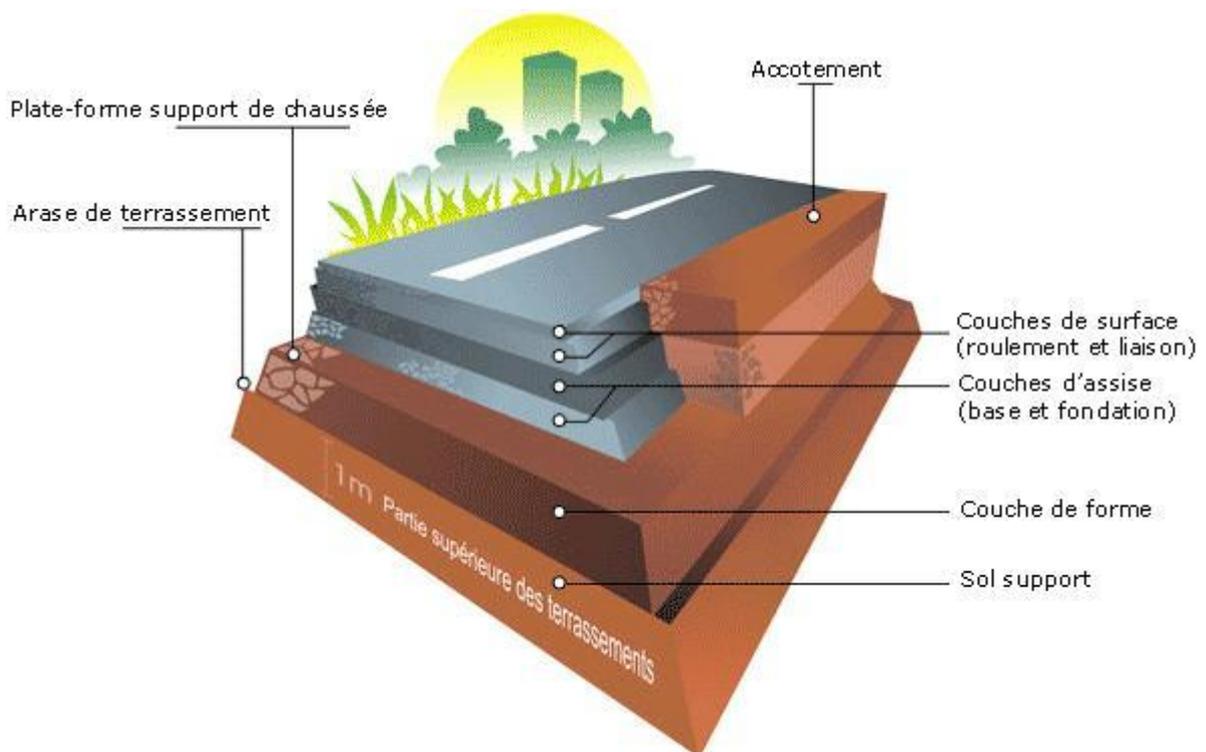
- Quel matériau peut être recyclable
- Pourquoi on fait appel au recyclage
- Avec quelle manière le recyclage est fait
- le recyclage des enrobés bitumineux vérifie-t-il les exigences de la pyramide

- Comment on formule un béton bitumineux
- Quel est le processus de formulation
- Quelles sont les équipements nécessaires pour le recyclage

Ainsi, les avantages et les inconvénients du recyclage des bétons bitumineux sont aussi exposés dans ce chapitre quatre.

Nous avons achevé notre mémoire par une conclusion générale mettant en évidence la nécessité de faire recours au processus de recyclage afin de préserver l'environnement, les ressources naturelles (les matières premières, granulats les enrochements...) et les ressources en matière d'économie. La technique elle-même de recyclage est actuellement bien connue, il suffit donc d'une volonté politique afin d'être appliquée à grande échelle.

# CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES CHAUSSEES



## **I.1.Introduction :**

Depuis la création du monde, Dieu a donné un grand bonheur à l'homme en l'occurrence la terre, c'est ainsi que le domaine de route constitue une part très importante du patrimoine national d'un pays. Elle est alors un facteur très important d'évolution économique et social; entre les villes, les régions, les pays et des civilisations.

Les originales routes sont liées à l'invention de la roue, du char et des chariots. Les Chinois disposaient d'un vaste réseau de routes. La « route de la soie » -qui relie d'Est en Ouest la Chine à la Méditerranée- est un axe commercial très ancien. Les Romains développaient le premier grand réseau routier pavé par des esclaves, et construisaient les chaussées, pour la circulation impériale, avec un objectif essentiellement militaire, celui de permettre un déplacement rapide des légions en différents points de l'empire, et cela quelles que soient les conditions météorologiques. Les chaussées de cette époque constituaient les dallages d'une superposition de couches d'épaisseurs différentes, Cette superposition a été transmise aux chaussées actuelles qui présentent une structure multicouche surmontant un ensemble appelé plate-forme support de chaussée.

L'utilisation des pavés ne fut apparue qu'au XIXe siècle. Plus tard, avec l'apparition et l'accroissement du poids lourd, les structures à de 'hérisson' et de 'macadam' étaient inventées et se composaient de bloc de 250 mm pour la première, de pierre cassée 40/70 pour la second.

La découverte du goudron a été un remède pour lutter contre les poussières par temps sec mais très vite après, on constata qu'il était glissant par temps de pluie, d'où l'ajout des gravillons.

Plus tard après les années 50, les anciennes solutions de type empierrement ou macadam se sont avérées insuffisantes, et on a été amené à généraliser l'emploi de matériaux agglomérés par un liant tant pour le corps de chaussée que pour la surface.

## **I.2.Généralités sur les routes : [1] [2] [3]**

### **I.2.1.Définition de la route :**

« Le mot route vient du mot latin « viarupta » qui désigne « voie frayée » c'est donc une voie de communication terrestre permettant de relier un point à un autre, un village à un autre, etc. Nous allons également définir la route moderne comme étant « un espace correctement aménagé pour recevoir un ou plusieurs courants de circulation construite dans le respect des règles d'art ». [1]

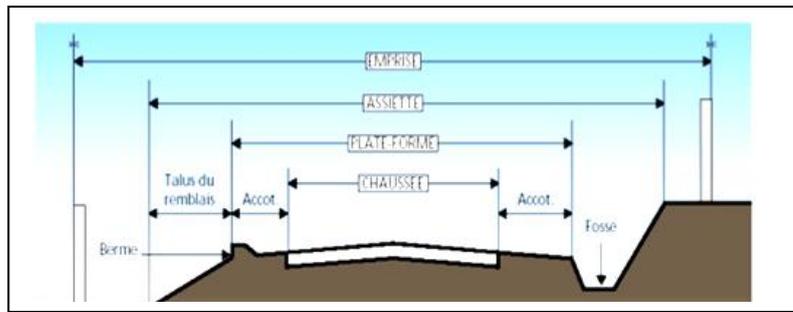


Fig.I.1 : coupe transversale d'une route (profil en travers)

### I.2.2. Les composants d'une route : [1] [2]

**L'emprise** : est la surface qui lui est affectée et qui comporte toutes ces dépendances.

**L'assiette** : surface du terrain réellement occupée par la route.

**Plate-forme** : surface de la route qui comprend la chaussée et les accotements.

**Accotements** : la bande de la plate-forme bordant extérieurement les deux côtés de la chaussée

**La chaussée** : la partie de route, usuellement revêtue, sur laquelle circulent les véhicules, la chaussée doit avoir une résistance parfaite pour supporter tout genre de véhicules et rapporter leurs poids sur le terrain de fondation. C'est cette partie qui nous intéresse dans ce chapitre.

### I.3. Les différentes couches de chaussées : [1] [3]

Il est bon de savoir qu'une route est constituée de différentes couches:

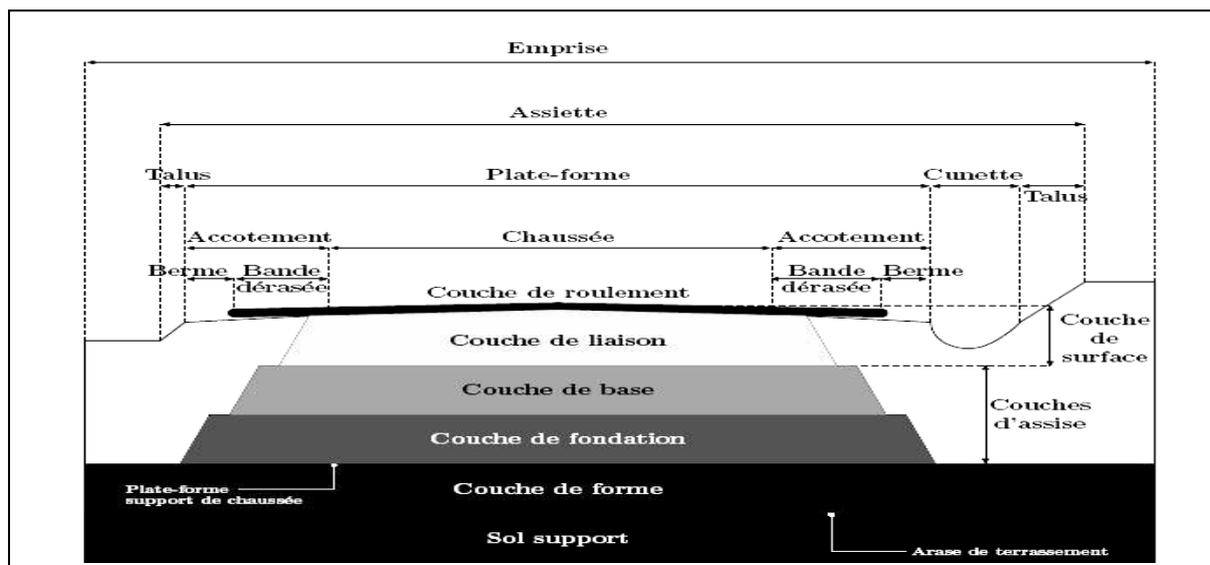


Fig.I.2 : Coupe transversal d'une route

**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.

**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.

**c-La couche 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 composée 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 formée 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-couche de surface :**

La couche de surface a globalement une structure bicouche :

**-la couche de roulement** : c'est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions combinées du trafic et du climat. On lui demande des qualités d'usage précises à savoir : une forte adhérence, une bonne drainabilité, 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 très minces

**-la couche de liaison** : l'apport structurel de cette couche est accessoire (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.

Le choix de la couche de surface doit résulter de la prise en considération de plusieurs objectifs tel que :

-la sécurité et le confort usagers, en relation avec les caractéristiques de surface ;

-Le maintien de l'intégrité de la structure, par la protection des couches d'assise vis-à-vis des infiltrations des eaux pluviales et des sels de déverglaçage ;

-l'impact sur l'environnement, avec notamment la recherche d'une réduction des bruits de roulement ;

-les possibilités de régénération des caractéristiques de surface.

#### **I.4. Matériaux de chaussée : [1]**

Les matériaux peuvent être regroupés en trois (3) grandes familles qui sont

##### **I.4.1. Les matériaux naturels :**

Il existe plusieurs type de matériaux granulaires tel que :

- les graveleux latéritique (GL)
- les sables argileux
- les graves non traitées (GNT)

##### **I.4.2. Les matériaux traités au liant hydraulique :**

On distingue plusieurs types de matériaux traité au liant hydraulique. Ainsi, en fonction du liant utilisé, il aura des matériaux traités au ciment, à la chaux, au laitier ou aux cendres volantes. Ainsi, en fonction de la granulométrie du matériau et du dosage en liant hydraulique, on distingue :

- Les graves traités au liant hydraulique.
- Les sables traités au liant hydrauliques.
- Les bétons compactés
- Les graves hydrauliques à haute performances,

Ces matériaux sont le plus habituellement employés pour les chaussées à fort trafic car ils ont pour avantages ;

- D'être très performant avec un module d'élasticité élevé,
- D'être très résistant en compression et en traction.
- D'avoir une bonne tenue en fatigue avec une durabilité forte.

Mais dans le même temps, ceux-ci présente une incommodité majeure du point de vue pathologie de chaussée car il se produit des fissurations lors du retrait de béton.

##### **I.4.3. Les matériaux traités au liant hydrocarboné :**

Il n'existe plus qu'un seul type, qui est : l'enrobé bitumineux. En effet vu que le bitume a des propriétés cancérigènes, son utilisation en tant que liant est délaissée au profit du goudron. Ainsi, on distingue en fonction de la granulométrie, du degré de compactage, du grade et du dosage en bitume différents types d'enrobés bitumineux qui sont :

- le grave bitume(GB)
- le béton bitumineux(BB)

-l'enrobé a module(EME)

De même, à travers le mode de production, on distingue deux type d'enrobés qui sont

-les enrobés à chaud.

-les enrobés à froid ou grave émulsion.

Les matériaux traités au liant hydrocarbonés sont les plus utilisés pour les chaussées souples et pour le trafic car ils ont pour avantages d'assurer un bon compromis entre des performances moyennes comparé à celle des matériaux traités au liant hydraulique et une capacité de déformation sans fissures de support qui permet ainsi de supporter des déflexions très élevées.

### **I.5. Les différentes structures de chaussées : [1] [2] [4]**

Selon le fonctionnement mécanique de la chaussée, on différencie généralement deux distincts types de structures suivantes :

-Chaussées souples

-chaussées rigides

#### **I.5.1. Les chaussées rigides :**

On appelle revêtements rigides, les revêtements qui sont réalisés en **béton de ciment**.

Une chaussée rigide est formée d'un revêtement en béton de ciment vibré ou fluide. En règle générale, une chaussée en béton comporte, à partir du sol, les couches suivantes:

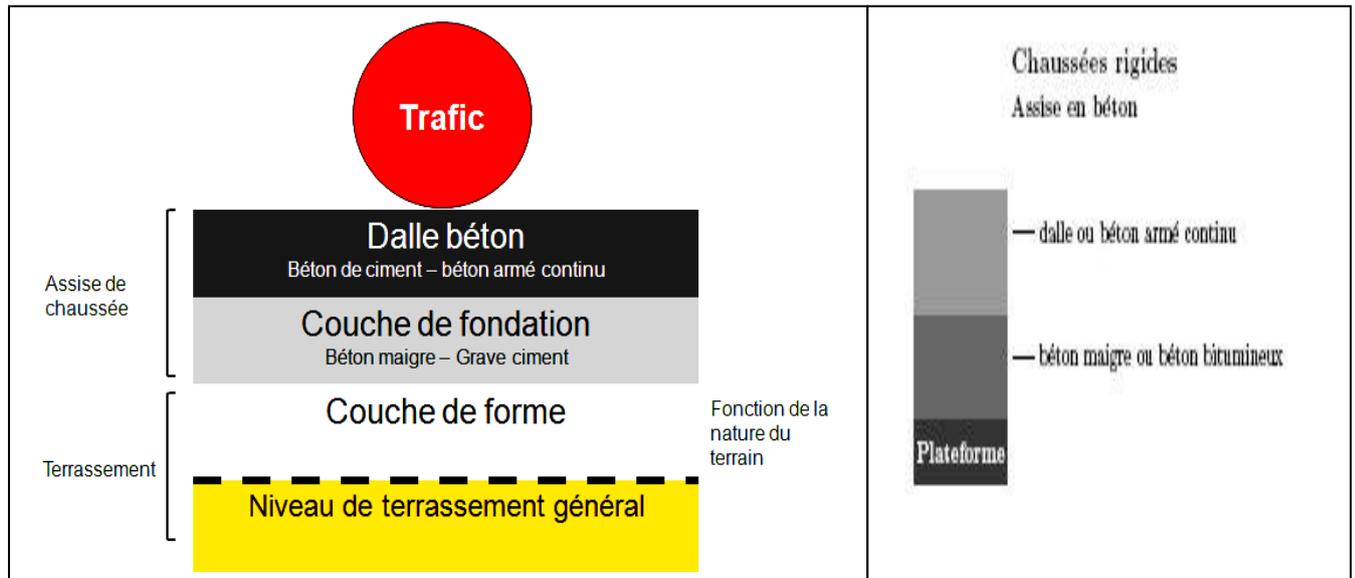
-une couche de forme,

-une couche de fondation,

-une couche de roulement en béton de ciment.

Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic, la couche de fondation n'est pas fondamentale.

La dalle en béton de ciment peut ainsi être réalisée directement sur l'arase terrassement ou sur la plate-forme support de chaussée (figure 3). Dans la chaussée rigide, la couche de surface et la couche de base sont confondues.



**Fig.I.3. Composantes d'une chaussée rigide.**

On rencontre les 4 prototypes suivants :

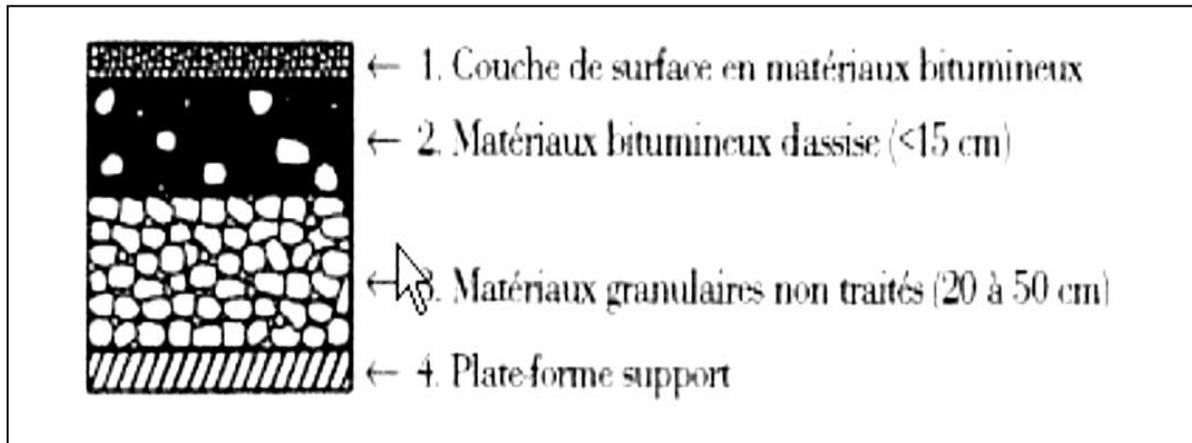
- Dalles non goujonnées avec fondation.
- Dalles goujonnées avec fondation.
- Dalles sans fondation.
- Béton armé continu (avec aciers filants sur toute la longueur de voirie)

### **I.5.2. Les chaussées souples :**

Les chaussées souples sont les plus utilisées dans le monde. Le corps d'une chaussée souple se compose de trois types de couches, du haut vers le bas (figure 4):

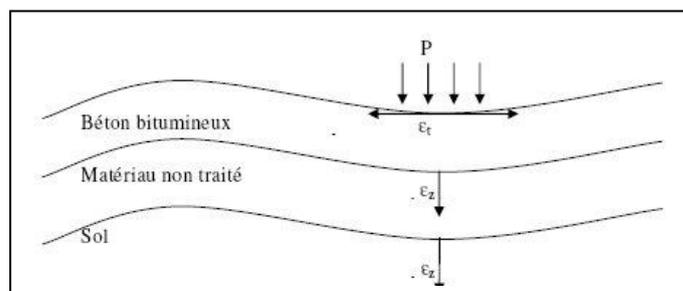
- la couche de surface
- la couche d'assise
- la couche de plate-forme support

Il s'agit d'un mixtion de granulats grossiers ou fins (pierre concassée, gravier et sable) et de bitume obtenu à partir d'asphalte de pétrole, ou de goudron compressé et convenablement souple pour absorber le choc des roues et l'intensité du trafic.



**Fig.I.4 : composantes d'une chaussée souple**

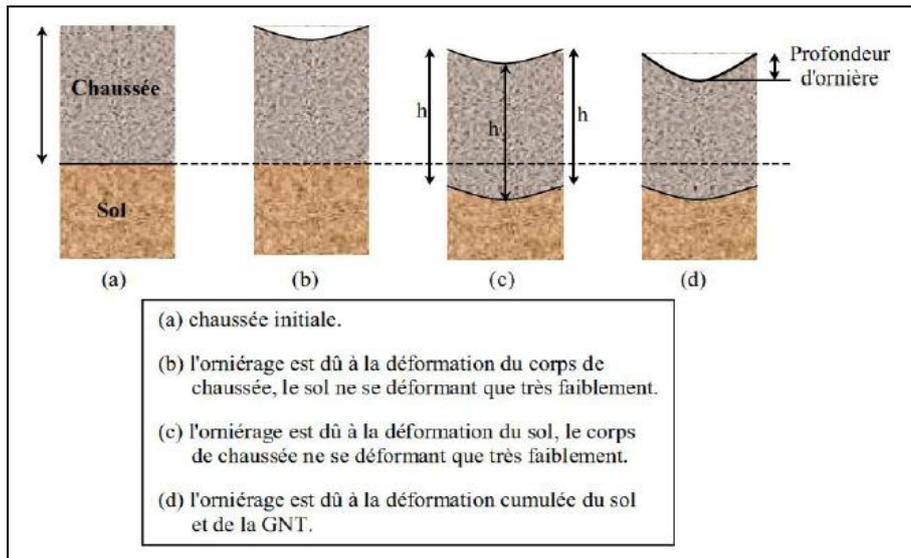
Sous la charge du trafic, chaque couche composant cette chaussée transmet sur la couche suivante une charge uniformément répartie



**Fig.I.5. schématisation du fonctionnement des chaussées souple**

Les couches de cette structure sont disposées par ordre croissant de rigidité, du sol vers la surface de la chaussée. Les ordres de grandeur des modules sont de 50 MP environ pour le sol et de 5000 MP environ pour l'enrobé.

Compte tenu de la faible épaisseur de la couverture bitumineuse des chaussées souples, les sollicitations dues au trafic se répercutent sur le support avec une faible dispersion horizontale ; donc les contraintes verticales sont élevées et engendrent par leur répétition de déformations permanentes. Sous ces sollicitations ainsi que sous les conditions d'environnement (les conditions hydropiques) les chaussées souples constituées de matériaux non traités (assise en grave non traitée et le sol support de chaussée) se dégradent en donnant deux modes de dégradation ; l'orniérage à grand rayon, dû à l'accumulation des déformations permanentes et la fissuration par fatigue de la couverture bitumineuse provoquée par les efforts répétés de traction-flexion.

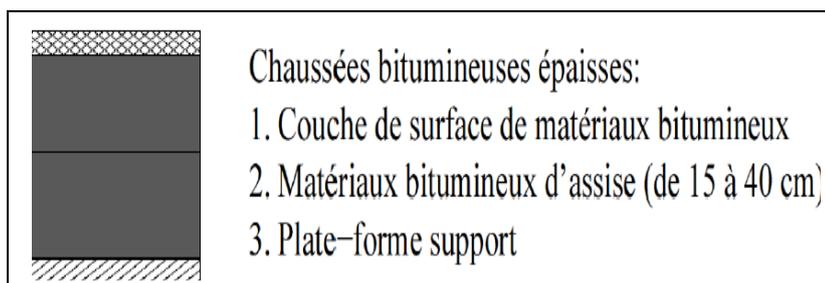


**Fig.I.6 : les différentes causes d'orniérage des chaussées souple**

Selon des essais réalisés par Larsen (Lar. 97) et Theyse (The. 97) ont montré que la participation de la couche GNT à l'orniérage est très importante et peut atteindre les 50 % (cas (b) et (d)). La sensibilité de ce type de structure aux variations de la teneur en eau est due à la perte de rigidité dans les matériaux non liés.

### **I.5.3. Les chaussées bitumineuses épaisses :**

Ces structures se composent d'une couche de roulement bitumineuse chapeauté un corps de chaussée d'épaisseur comprise entre 15 et 40cm (Composé d'une couche de base et une couche de fondation) en grave traitées aux liants hydrocarbonés ou hydrauliques. Vue la différence d'épaisseur de la couche d'assise entre la chaussée simple et la chaussée épaisse, leur fonctionnement se différent.

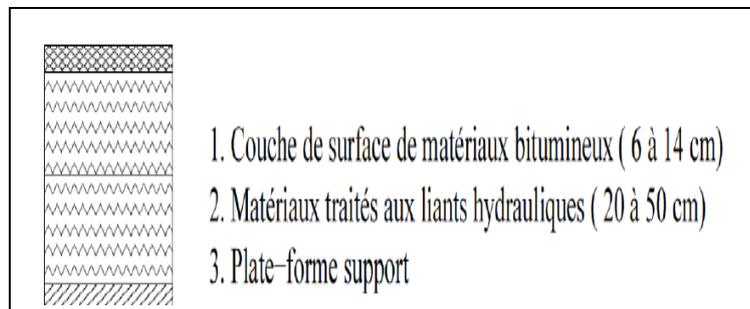


**Fig.I.7. chaussées bitumineuse épaisses**

La transmission et l'atténuation des charges du trafic transmises aux sols sont atteints grâce à la rigidité et la résistance en traction. Le collage des couches a une grande importance pour ce type de chaussée car il permet les allongements maximaux à la base des couches les plus profondes et donc délale les sollicitations en traction de chaque couche, qui conduisent à la ruine précoce de la structure.

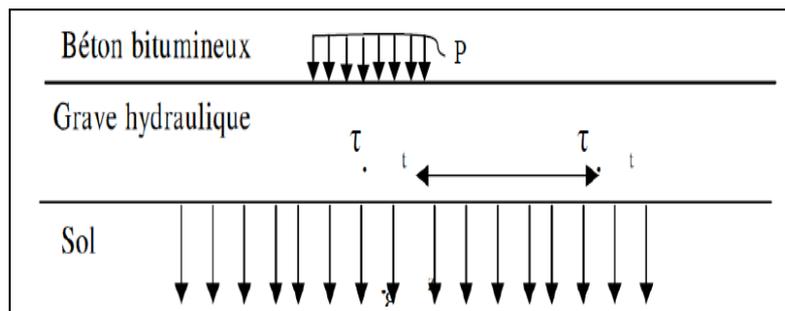
### 1.5.4. Les chaussées semi-rigides(ou à assise aux liants hydrauliques) :

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



**Fig.I.8 : chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques**

Ces chaussées sont qualifiées de semi-rigide. La grande rigidité des couches d'assises traitées limite les contraintes transmises aux couches de chaussée. Elles sont par contre soumises à des contraintes de traction-flexion déterminantes pour leur dimensionnement.



**Fig.I.9. Schématisation du fonctionnement des chaussées semi-rigides.**

L'interface couche de surface-couche de base est une zone délicate car:

- Elle est soumise à de fortes contraintes normales et de cisaillement horizontal.
- Les centimètres supérieurs de l'assise traitée sont souvent de plus faible résistance.

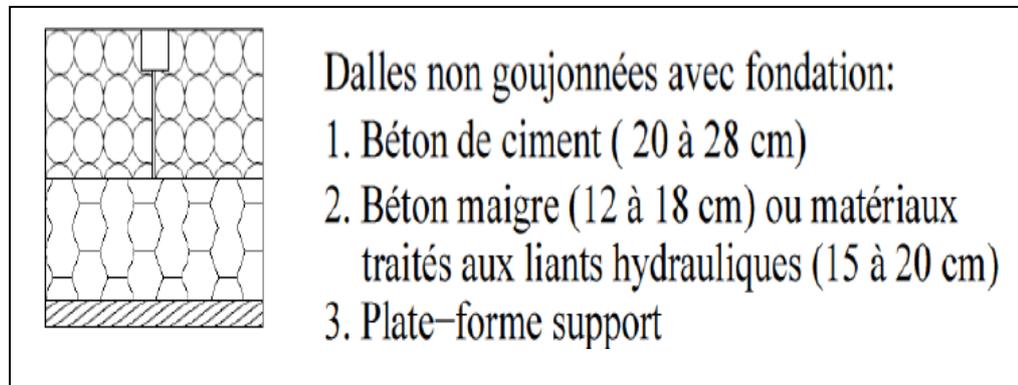
Le phénomène de retrait est l'un des problèmes qu'on rencontre dans ce type de chaussées, nonobstant qu'il est empêché par le frottement entre la couche d'assise et le sol support jusqu'à la couche de roulement; il remonte au travers la couche de roulement

### 1.5.5. Les chaussées rigides (ou en béton de ciment) :

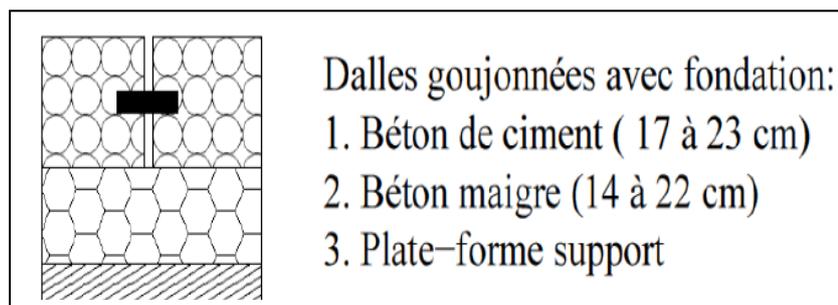
Sont constituées d'une couche de béton de 15 à 40 cm recouverte d'une couche mince en enrobés bitumineux. La couche de béton peut surmonter :

- Une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques ou en béton de ciment ;
- Une couche drainante en matériaux non traités.

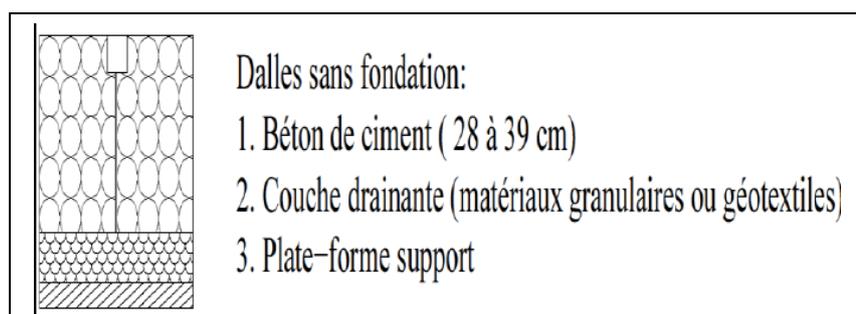
- Une couche bitumineuse qui repose sur une couche de forme
- La couche de béton peut être continue avec un renforcement longitudinal (béton armé continu) ou discontinue avec ou sans éléments de liaison aux joints.



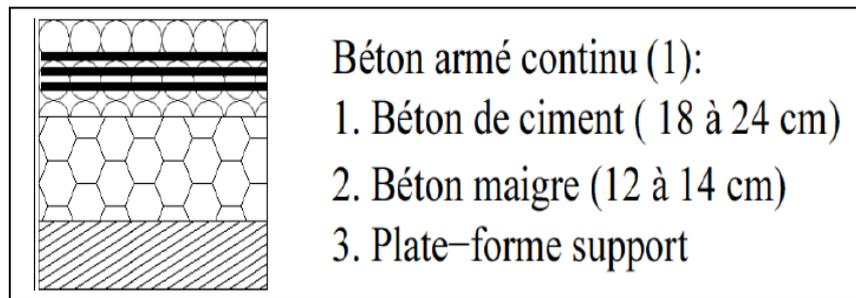
**Fig.I.10 : dalles non goudonnées avec fondation**



**Fig.I.11. dalles goudonnés avec fondation**



**Fig.I.12. dalle sans Fondation**

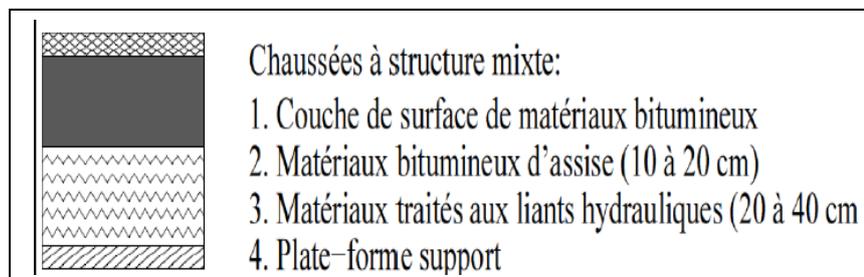


**Fig.I.13. béton armé continu**

Au regard du module d'élasticité élevé du béton armé, les sollicitations déterminantes sont celles de traction par flexion dans la dalles. La mise en œuvre du béton de ciment sur une longueur importante provoque l'apparition des fissures transversales suite au phénomène de retrait empêché. Pour tenir compte de ce phénomène, les dernières types de cette structure introduisent les notions de goujon ou de béton armé continu afin d'assurer une continuité mécanique au franchissement de la fissure.

#### **I.5.6. Les chaussées à structures mixte :**

Comporte 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 0,5.



**Fig.I.14. chaussées à structure mixte**

La couche de matériau traité aux liants hydrauliques arrangée en fondation, diffuse et affaiblit, du fait de sa raideur élevée, les efforts transmis au sol support.

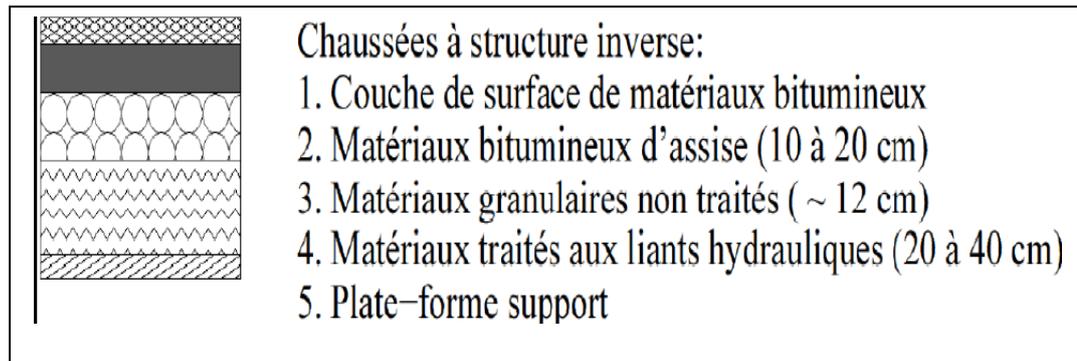
Elle constitue un support de faible déformabilité pour les couches supérieures de matériaux bitumineux. La faiblesse de ces structures tient dans la sensibilité des interfaces aux dilatations différentielles, les couches peuvent alors se décoller et les couches supérieures supporter des contraintes qui produisent leur destruction.

### I.5.7. 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 12 cm .

Cette couche 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 .

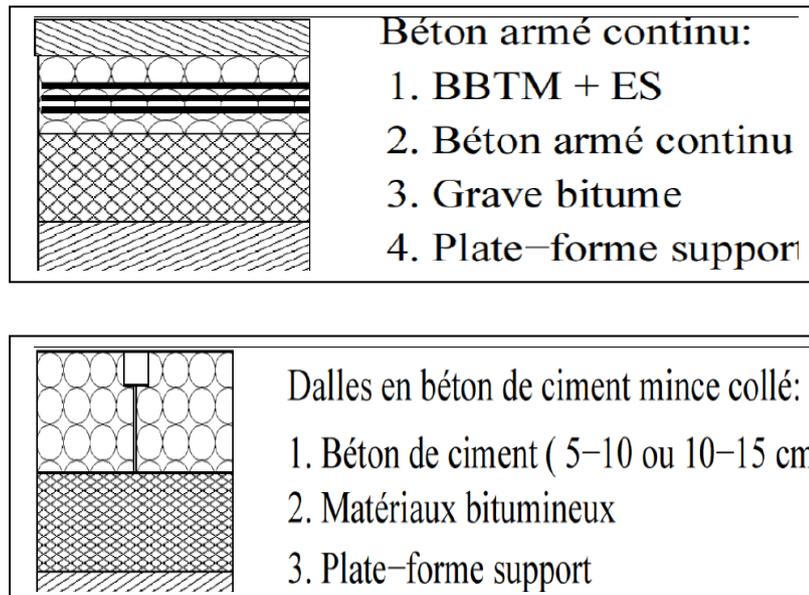


**Fig.I.15: chaussées à structure inverse**

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

### I.5.8. Les chaussées à structures composite :

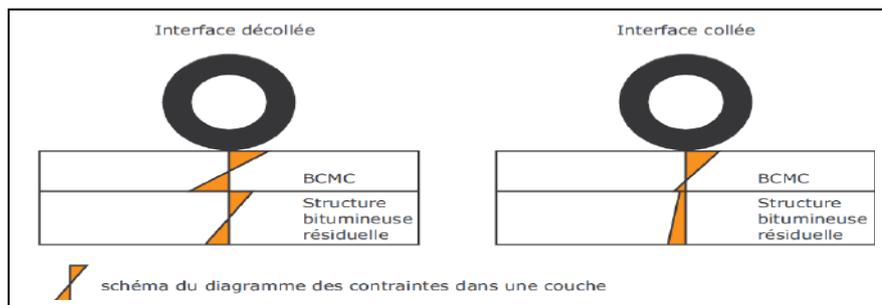
C'est une structure qui a été l'objet d'une étude technico-économique au début des années 1990. Cette étude a pour but d'assembler la qualité de durabilité des bétons de ciment avec les qualités souplesse et capacité d'adaptation des matériaux bitumineux. Deux nouvelles structures ont été développées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



**Fig.I.16. béton armé ciment mince collé (BCMC)**

### 1.5.8. a. Béton de ciment mince collé (BCMC) :

Est une technique d'entretien superficiel des structures bitumineuses dégradées, apparue aux États-Unis. Elle consiste d'abord à raboter et à nettoyer la structure dégradée, puis étaler une couche de béton de ciment non armé (épaisseur 5 à 10 cm). L'intérêt de cette technique réside dans l'adhérence de la couche de béton à la structure en matériaux bitumineux.



**Fig.17 : influence du collage sur le diagramme des contraintes (a) interface non collée (b) interface collée.**

Sous l'influence du changement du trafic, la structure composite présente grâce à l'interface collée une réduction des contraintes de traction à la base de la couche de béton et garantit à la couche mince une résistance à la fatigue.

### 1.5.8.b. Béton armé continu sur grave bitume (BAC/GB) :

Elle est composée d'une couche de fondation en grave bitume d'épaisseur 9 cm qui surplombe la plateforme support de chaussées. La GB est grenailée avant la mise en œuvre de la couche de béton armé continu (BAC) dont l'épaisseur varie en fonction du trafic. Le rôle des armatures dans le BAC est principalement d'examiner la fissuration transversale sans

collaborer à la résistance aux sollicitations du trafic (Poteau 2004). A son tour la couche BAC, est grenillée avant la surmonter par une couche d'enduit superficiel qui assure l'adhérence entre le BAC et la couche de roulement en béton bitumineux très mince (BBTM) (2.5cm d'épaisseur). Cette adhérence présente l'intérêt de cette technique.

### **I.6.Dimensionnement des chaussées :**

La chaussée doit représenter les qualités recherchées pour qu'elle satisfasse les exigences de l'utilisateur d'une part et pour qu'elle puisse avoir la durée de vie et la qualité de comportement calculées avec toutes les contraintes auxquelles elle est soumise, et autre part elle doit répondre à moindre coût pour cela le dimensionnement de la chaussée tient compte des paramètres suivant :

- le trafic
- la qualité de la plate-forme support de chaussée
- les caractéristiques des matériaux de chaussée et la qualité de réalisation,
- les conditions climatiques.

#### **I.6.1. La démarche :**

La démarche de dimensionnement reste sensiblement la même quelle que soit la technique de chaussée,

##### **Etape 1**

Consiste à choisir la couche de roulement puis au pré dimensionnement de la structure,

##### **Etape 2**

Modélisation de la structure : il s'agit de la présentation de l'empilement de la chaussée puis le calcul des contraintes et les déformations, sous l'essieu de référence de 130km.

##### **Etape 3**

Vérification en fatigue de la structure et de la déformation du support : les contraintes et les déformations calculées doivent être inférieures aux valeurs admissibles.

##### **Etape 4**

Ajustement des épaisseurs calculées qui a pour but de :

- tenir compte des contraintes technologiques d'épaisseur minimales et maximales pour atteindre les objectifs de compacité et d'uni
- minimiser les risques de défauts de collage aux interfaces,
- protéger les assises traitées de la remontée des fissures,

##### **Etape 5**

Vérification de la tenue au gel-dégel,

##### **Etape 6**

Définition de la coupe transversale de la chaussée.

**I.7. Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présentés les différentes structures des chaussées, leurs comparaisons et leurs différences sont résumées au tableau 1, ci-après. La couche de roulement est généralement faite en enrobé bitumineux. Ce dernier va être étudié dans le chapitre deux.

La comparaison des différentes structures donne :

Structure type	Nature des couches			Domaines d'utilisation usuelle	Conditions aux interfaces	commentaires
	Surface	Base	Fondation			
Souples	Bitumineuse	GNT		Trafic faible à moyen faible	Interfaces collées	Epaisseur totale :30 à 60cm
Rigide	Béton de ciment (15à40cm)	-MTLH -GNT -bitume		Trafics moyens forts à forts trafics spéciaux et charges lourdes : aéroport, plate-forme industrielles et portuaires, tramways ....	L'interface entre les couches base-fondation décollée	-couche de forme en MTLH -dispositions particulières (dalle goujonnées ou non, béton armé continu etc.) afin d'assurer une continuité mécanique franchissement d'une fissure d'une fissure due au retrait du béton

**TAB.I.1. Comparaison des différentes structures.**

# CHAPITRE II

## Types des enrobés bitumineux et leurs formulations



## **II.1.Introduction :**

Nous présentons dans le présent chapitre les différents types des enrobés bitumineux ainsi que leurs formulations. Puis on présente les différents centrales utilisés pour la fabrication de ces enrobés.

## **II.2.Types des enrobés bitumineux :**

Il y a plusieurs formules d'enrobés bitumineux classer selon leur domaines d'utilisation et leurs caractéristiques mécaniques, qui seront prises en compte pour le dimensionnement des structures de chaussées.

### **II.2.1.Béton Bitumineux (BB) : [7]**

C'est un enrobé bitumineux utilisé pour les couches de roulement, il contient plusieurs classe en fonction de la granulométrie:

#### **II.2.1.a- Béton Bitumineux Très Mince (BBTM) :**

Ce type béton bitumineux est utilisé pour la couche roulement, leur épaisseur moyenne d'emploi est de 2.5 cm. Le (BBTM) est employé pour las couches de roulement giratoire dans le but de diminution et d'atténuation du bruit de roulement. Ses caractéristiques générales sont:

- \*Etude de niveau 2 au minimum
- \*granularité 0/10 ou 0/6.3 mm

#### **II.2.1.b- Béton Bitumineux Mince (BBM):**

Il est employé en couche de roulement ou de liaison. Son épaisseur moyenne d'utilisation est de 4 cm. Ses caractéristiques générales sont :

- \*Etude de niveau 2
- \*granularité 0/10 discontinue entre 2 mm et 6.3 mm

#### **II.2.1.c-Béton Bitumineux Souple (BBS)**

Il est utilisé pour la couche de roulement des chaussées à faible trafic sur support déformable, leur épaisseur moyenne est de 4 à 6 mm Ses caractéristiques générales sont :

- \*Etude de niveau 2
- \*granularité doit permettre l'obtention des caractéristiques mécaniques avec % des fines de l'ordre de 8%.

#### **II.2.1.d-Béton Bitumineux Semi-Grenu (BBSG) :**

Il est employé pour la couche de roulement ou de liaison. Son épaisseur moyenne d'utilisation est de 5 à 7 cm. Il se caractérise par :

- \* Etude de niveau 2
- \*granularité permettre l'obtention des caractéristique mécanique

#### **II.2.1.e-Béton Bitumineux à Module Elevé (BBME) :**

Son usage est en couche de roulement ou liaison pour des chaussées fortement sollicités ou en couche de roulement pour voies d'arrêts de bus. Ses caractéristiques sont :

- \*Etude de niveau 3 au minimum
- \*granularité permettre l'obtention des caractéristique mécaniques

## **II.2.2.Grave Bitume (GB) :**

C'est un enrobé à faible teneur en bitume, il est employé en couche de base et en couche de fondation. Leur épaisseur moyenne est de 8 à 14 cm.

## **II.2.3. Les produits à froid:**

Ce sont des enrobés fabriqués et appliqués à froid. Ils sont de faible granulométrie (0/4 ou 0/6) avec une forte teneur en liant et en fines. Ils sont généralement utilisés de manière temporaire pour

permettre la circulation des véhicules sur voies en cours de travaux, ou encore pour reboucher des petites trachées, trous, nids de poules sur des chaussées déformées. Ces enrobés sont très utilisés au printemps en période de dégel, pour réparer les détériorations de la chaussée dus au gel.

### II.2.4. Les Graves Emulations :

Ce sont des mélanges de grave avec une faible proportion d'émulsion de bitume. Ils existent d'autres enrobés bitumineux à froid, qui sont destinés à la réalisation de couche de roulement ce sont des enrobés hydrocarbonés à froid (non stockables) ou tous les granulats sont recouverts de liant.

### II.3. Les Méthodes de Formulations et les Essais pour Enrobés Bitumineux : [8]

Il est prescrit cinq (5) niveaux de formulation consignés de 0 à 4 :

- Niveaux 0 : Il sert à établir une courbe granulométrique et fixer la teneur en lient;
- Niveaux 1 : Il est basé sur l'essai de Presse à Cisaillement Giratoire (PCG) et l'essai de tenue à l'eau (Essai Duriez);
- Niveaux 2 : En plus des essais du niveau un (essai PCG et essai de Duriez), on utilise l'essai d'orniérage;
- Niveaux 3 : On rajoute l'essai de module aux essais précédents;
- Niveaux 4 : On complète les essais du niveau quatre par l'essai de fatigue.

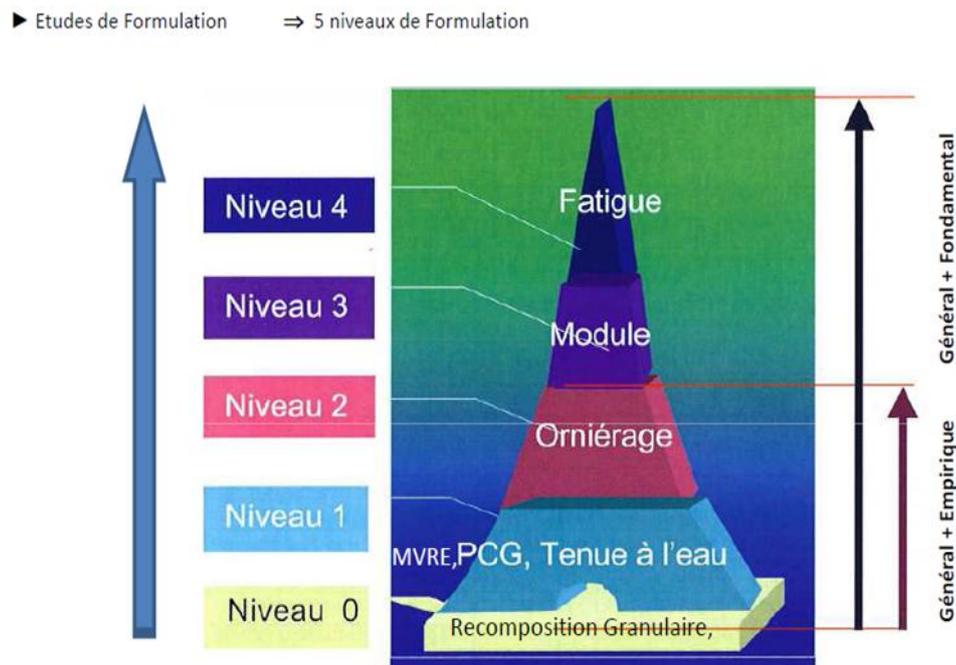


Fig.II.1 Les cinq niveaux de formulations des bétons bitumineux

### II.3.1. Fabrication du mélange en laboratoire : [9]

-Les constituants (gravillons, sable et fines) sont pesés et conditionnés dans une étuve ventilée à une température de  $(110 \pm 5^\circ\text{C})$  pendant au moins 8 heures.

-Les liants bitumineux sont préchauffés à  $100^\circ\text{C}$  et ils sont ensuite quartés puis chauffés à des températures plus importantes ( $150^\circ\text{C}$  pour le bitume pur et  $170^\circ\text{C}$  pour le bitume modifié) juste avant la fabrication des mélanges. Le malaxeur doit être conditionné à la même température que les mélanges constitutifs (granulats, bitume, fins) soit  $150^\circ\text{C}$  (suivant la norme EN 12697-35). On introduit les différentes tailles de granulat dans le malaxeur. Puis, on mélange l'ensemble à sec pendant 30 secondes. On introduit ensuite le bitume dans le

malaxeur et on poursuit le malaxage pendant 2 min. Ce temps nous permet d'obtenir un mélange homogène.

### II.3.2. Les Essais sur les enrobés bitumineux :

#### II.3.2.1. L'essai P.C.G :

Son principe consiste à diminuer le pourcentage des vides sous une force axiale plus un cisaillement giratoire, ce qui revient à l'optimisation de la composition granulaire et à la prédiction du pourcentage des vides aux chantiers.



Fig.II.2 Machine d'essai PCG

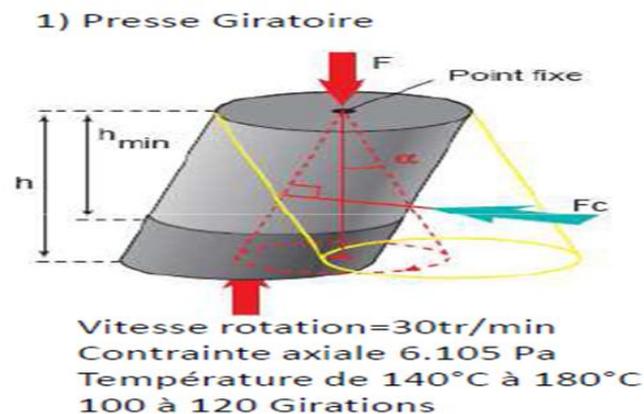


Fig.II.3 Presse Giratoire

#### Interprétation de l'essai:

Pour un nombre de girations donné, fonction du type d'enrobés, de la nature des granulats et de l'épaisseur de mise en œuvre, le formulateur peut prévoir le pourcentage des vides au chantier. Dans le cas de couches de roulement très minces, le but consiste plutôt à approcher la macro texture que la compacité.

#### ► Spécifications:

- NFP 98-138 pour les GB= 5 à 10%
- NFP 98-130 pour les BB= 4 à 9%

#### II.3.2.2. L'essai de tenue à l'eau (Essai Duriez) :

Son principe est le suivant :

Le mélange hydrocarboné est compacté dans un moule cylindrique par une pression statique à double effet 5 min. Une partie des éprouvettes est conservée pendant 7 jours sans immersion à température de 18°C et hygrométrie contrôlées, l'autre partie est conservée immergée.

Chaque groupe d'éprouvettes est écrasé en compression simple écrasement vertical 1mm/s.[10]



Fig.II.4 Essai Duriez

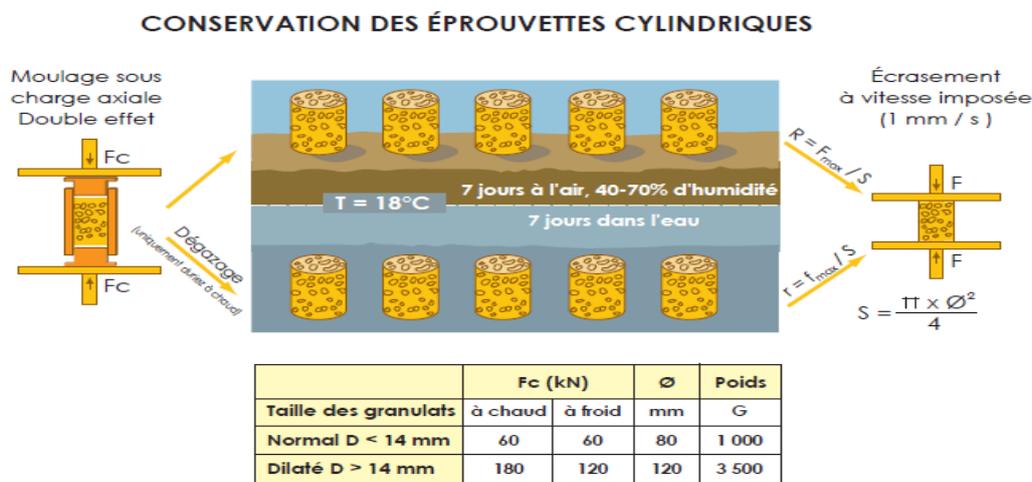


Fig.II.5 Principe de l'essai Duriez

Interprétation:[10]

Le rapport de la résistance après immersion à la résistance à sec donne la tenue à l'eau du mélange. La résistance à sec est une approche des caractéristiques mécaniques, et la compacité constitue un indicateur complémentaire à l'essai de compactage à la PCG. Avec :

- R résistance à la compression à sec
- r résistance à la compression après immersion

Type d'enrobés	Norme produit	Spécification pour le rapport immersion/compression (r/R)	
à chaud	BBSG	NF P 98-130	≥0,75
	BBA (roulement)	NF P 98-131	≥0,8
	BBME	NF P 98-141	≥0,8
	BBDr	NF P 98-134	≥0,8
	BBM	NF P 98-132	≥0,75
	BBTM	XP P 98-137	≥0,8
	GB cl3 ou cl4	NF P 98-138	≥0,7
	EME cl2	NF P 98-140	≥0,75
à froid	BBF	NF P 98-139	≥0,7
	GE	XP P 98-121	≥0,55

TAB.II.1 Spécification du rapport R/r pour les différents enrobés

### II.3.2.3. L'essai d'orniérage :

#### Principe :

Le corps d'épreuve est une plaque parallélépipédique de 5 cm ou de 10 cm d'épaisseur, selon que l'épaisseur de mise en œuvre de l'enrobé est inférieure ou supérieure à 5 cm. Cette plaque est soumise au trafic d'une roue équipée d'un pneumatique (vitesse un cycle/s, charge : 5KN, pression:6 bars) dans des conditions sévères de température 60°C. [11]

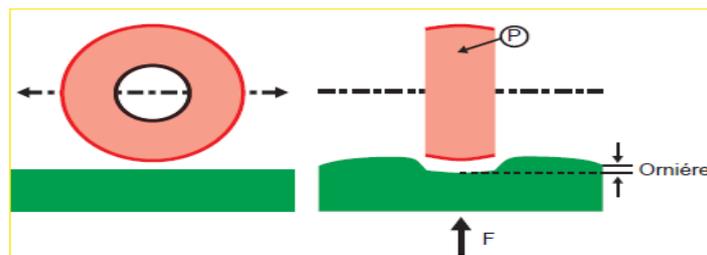


Fig.II.6 Machine d'essai d'orniérage

#### Interprétation :

La profondeur de la déformation produite dans le passage de roue, est notée en fonction du nombre de cycles. Les spécifications portent sur un % d'ornière à un nombre de cycles donné, qui dépend du type de matériau, et de sa classe. [11]

Ornière P = % d'ornière pour un nombre de cycles donné.

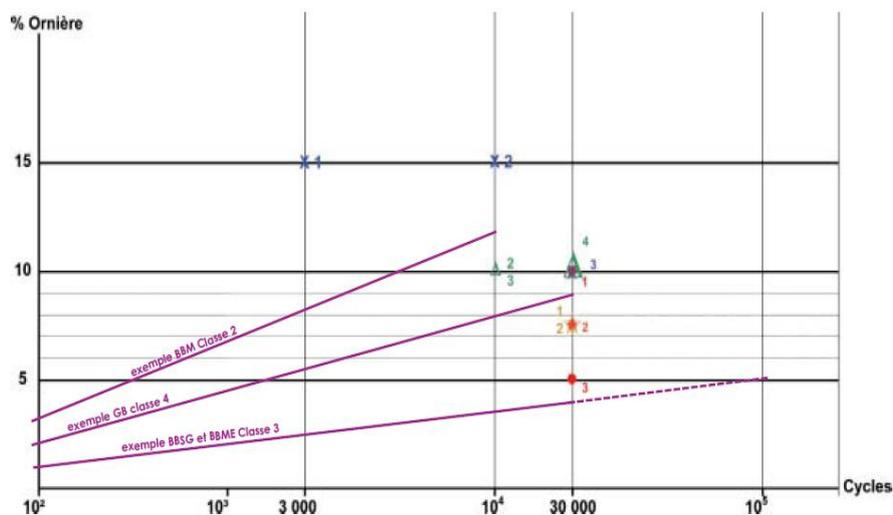


Fig.II.7 Diagramme d'un essai d'orniérage

### II.3.2.4 Essai de module : [12] [13]

#### Principe :

La rigidité du mélange est déterminée par un essai de traction uni-axial (sur éprouvette cylindrique ou parallélépipédique). La charge est appliquée dans un domaine de petites déformations, en contrôlant le temps ou la fréquence, la température, la loi de chargement.

#### Interprétation :

Le module (rapport de la contrainte à la déformation) est calculé pour chaque essai élémentaire. Grâce à l'équivalence temps-température, on trace la courbe maitresse du module à une température donnée. Cette représentation permet de connaître le comportement du mélange sur un large spectre de temps de charge ou de fréquences. La spécification porte sur le module à 15°C et fréquence de 10 Hz ou un temps de charge de 0.02 s.

EXEMPLES DE SPÉCIFICATIONS POUR ENROBÉS		
Type d'enrobés	$ E^* $ à (15°C;10Hz) MPa	$\epsilon_6$ à (10°C;25Hz) MPa
BBSG cI2 ou cI3	$\geq 7\ 000$	$\geq 100$
BBA cI3	$\geq 8\ 000$	$\geq 100$
BBME cI3	$\geq 12\ 000$	$\geq 100$
GB cI2	$\geq 9\ 000$	$\geq 80$
GB cI3	$\geq 9\ 000$	$\geq 90$
GB cI4	$\geq 11\ 000$	$\geq 100$
EME cI1	$\geq 14\ 000$	$\geq 100$
EME cI2	$\geq 14\ 000$	$\geq 130$

TAB.II.2 Exemple de résultats d'essais de module

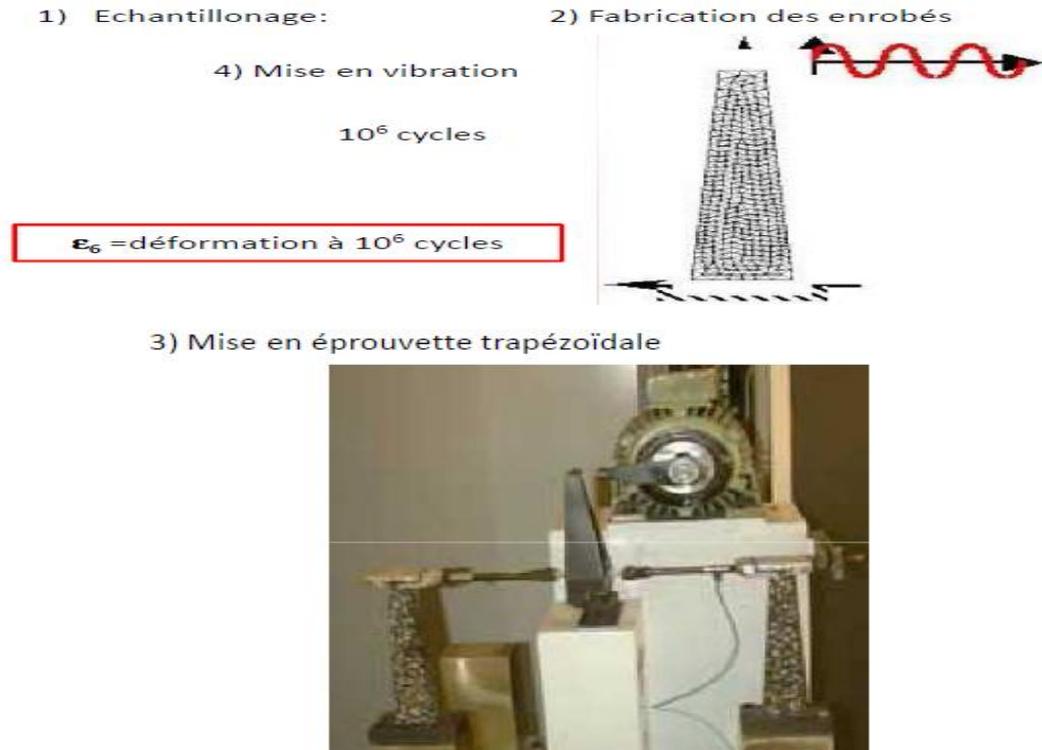
### II.3.2.4 Essai de fatigue : [14]

#### Principe :

Une éprouvette trapézoïdale est soumise, à une température et pour une fréquence de chargement fixée, à une déformation imposée. Lorsque la contrainte appliquée pour maintenir la déformation constante est diminuée de moitié, l'éprouvette est considérée comme endommagée au nombre de cycles considéré. [12]

**\* Spécifications:**

- NFP 98-138 pour les GB=  $>90 \cdot 10^6$  à  $> 100 \cdot 10^6$  (à  $10^\circ$  et 25 Hz)
- NFP 98-130 pour les BB=  $>100 \cdot 10^6$  à  $> 130 \cdot 10^6$  (à  $10^\circ$  et 25 Hz)

**Fig.II.8 Principe de l'essai de fatigue****II.3.2.5 Essai Marshall : [15]****But de l'essai :**

Détermination de la teneur en vides et des caractéristiques mécaniques d'un enrobé bitumineux. L'essai Marshall ne donne pas d'indications sur la résistance aux déformations d'un revêtement: il sert de valeur indicative et donne des indications sur la régularité d'une production.



Fig.II.9 Presse Marshall digitale

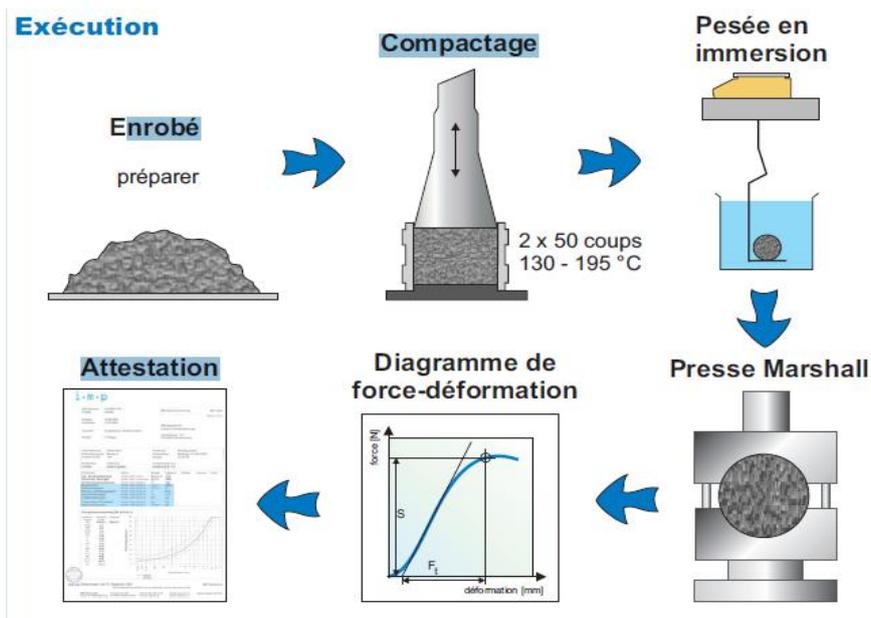


Fig.II.10 Principe de l'essai Marshall

**Résultats :**

- \*Teneur en vides de l'enrobé [%-vol.]
- \*Masse volumique apparente de l'enrobé [g/cm]
- \*Stabilité S [kN] et la valeur de fluage F [mm]

#### **II.4.Trafic et climat : [16]**

L'étude de la formulation des enrobés bitumineux à chaud (mélange à chaud de granulats séchés et de bitume pur), a pour but :

- De déterminer les caractéristiques adéquates des constituants en fonction du trafic et du climat considérés ;
- De définir les teneurs des différents constituants permettant l'obtention des mélanges bitumineux les plus performants, selon leur utilisation dans la structure de chaussée (couche de base ou couche de roulement) en tenant compte des paramètres trafic et climat.
- Les principaux facteurs (trafic et climat), les caractéristiques des constituants et l'étude de laboratoire faisant évaluer les performances des enrobés sont développés dans le présent document, en précisant les spécifications adéquates au contexte algérien.

##### **II.4.1.Trafic : [16]**

Le trafic de véhicules poids lourds (charge utile supérieure ou égale à 3.5 tonnes) intervient dans le critère de choix des caractéristiques des constituants des enrobés bitumineux. Il est déterminé sur la base du trafic poids lourds par sens, compté en moyenne journalière annuelle (PL/MJA), pour la voie la plus chargée à partir de l'année de mise en service. Lorsqu'on ne connaît pas la répartition du trafic entre les voies, pour le calcul du (PL/MJA); compte tenu du recouvrement des bandes de roulement, on retiendra les règles données par le 'guide algérien de renforcement des chaussées' comme suit :

-Routes bidirectionnelles :

Chaussée à 2 voies de circulation : 50% du trafic total PL des deux sens ;

Chaussée à 3 voies de circulation : 50% du trafic total PL des deux sens ;

Chaussées à 2\*2 voies de circulation : 100% du trafic total PL pour le sens considéré :

Chaussées à 2\*3 voies de circulation : 80% du trafic total PL pour le sens considéré :

-Routes unidirectionnelles

Chaussée à 1 et 2 voies de circulation : 100% du trafic total PL ;

Chaussée à 3 voies de circulation : 80% du trafic total PL ;

En Algérie, l'essieu de référence est l'essieu isolé à roues jumelées de 130 KN (essieu maximum légal).

##### **II.4.2.Le Climat : [16]**

Une étude spécifique sur la diversité du climat algérien a permis de faire un découpage de l'Algérie en trois principales zones climat.

La Zone 1: Il s'agit de la région nord du Tell. Elle est dominée par un climat méditerranéen caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux. Elle représente la zone la plus humide de l'Algérie.

La Zone II: Elle correspond principalement à la région des hauts plateaux. Caractérisée par un climat semi-aride, elle étale de longs hivers froids avec de courtes périodes de neige et des étés chauds et courts.

La Zone III: Il s'agit du Sahara. C'est une région très aride soumise à des vents fréquents et violents. Les températures y sont extrêmement élevées durant la journée.

## II.5. Les différents types de centrales : [17]

### II.5.1 Les centrales à chauds :

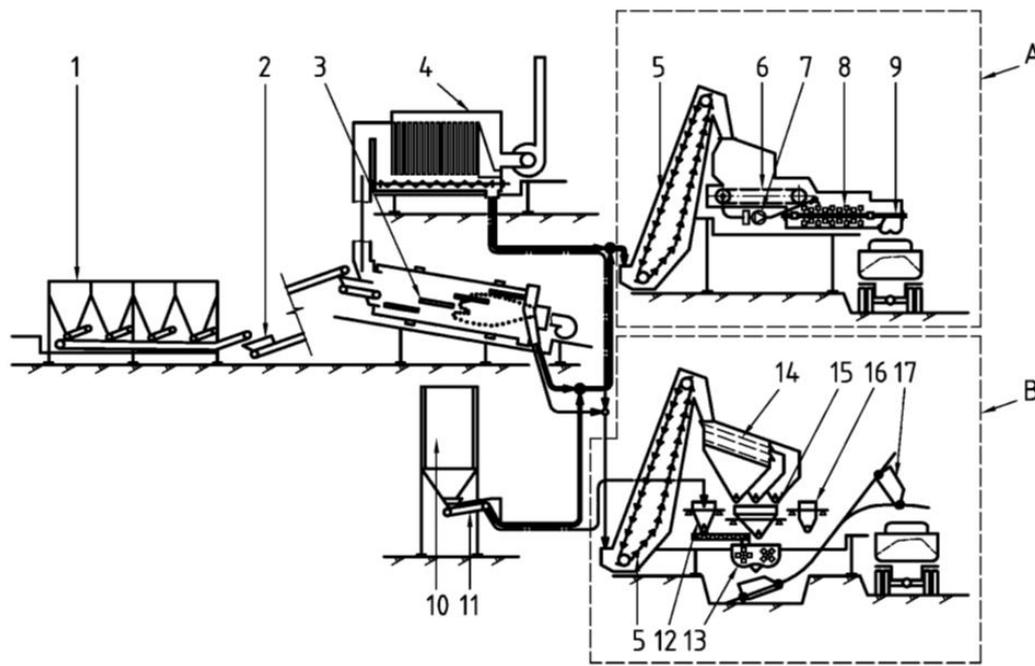
Elles sont de deux types :

#### -les centrales continues :

Contrairement aux centrales discontinues, les opérations de préparation du mélange et de malaxage sont accomplies par des équipements et des systèmes de manutention continue.

#### -les centrales discontinues :

Les opérations de préparation du mélange sont procédées par gâchées successives dans un malaxeur interrompant le flux de matériaux.



**Fig.II.11 Les centrales à béton bitumineux (à chaud)**

#### A- Centrale continue B- Centrale Discontinue

- |   |                                |                                      |
|---|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Doseurs continus de granulats froids      | 2 Transporteur à courroie      | 3 Tambour sécheur                    |
| 4 Dépoussiéreur                             | 5 Élévateurs à godets          | 6 Doseur continu de granulats chauds |
| 7 Doseur de liants hydrocarbonés            | 8 Malaxeur continu             | 9 Trémie anti-ségrégation            |
| 10 Conteneur vertical pulvérulents          | 11 Doseur continu pulvérulents | 12 Doseur pondéral pulvérulents      |
| 13 Malaxeur discontinu                      | 14 Crible                      | 15 Doseur pondéral granulats chauds  |
| 16 Bac peseur pondéral liants hydrocarbonés | 17 Skip                        |                                      |

### II.5.2. Les centrales à froids :

Elles sont spécifiques pour les matériaux traités à froid. Leur description est présentée à la figure Fig.12.

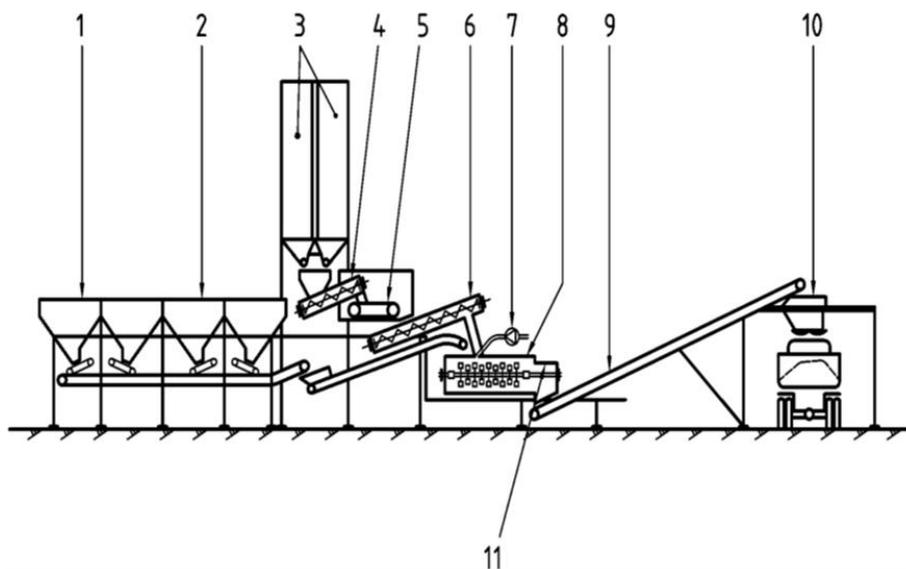


Fig.II.12 Centrales à béton bitumineux (à froid)

- |                                       |   |  |
|---------------------------------------|---|--|
| 1 Doseurs continus des granulats      | 2 Transporteur à courroie                                       | 3 Conteneurs verticaux de pulvérulents |
| 4 Trémie tampon et transporteur à vis | 5 Doseur en continu à débit pondéral sur courroie transporteuse |  |
| 6 Transporteur à vis des pulvérulents | 7 Doseur d'eau d'apport   | 8 Malaxeur continu                     |
| 9 Convoyeur                           | 10 Trémie anti-ségrégation                                      | 11 Dosage pour émulsion                |

### II.5.3. mode de dosage des granulats et des fines : [18]

Le dosage des granulats est opéré par un ensemble de trémies doseuses comprenant chacune une trappe de réglage (élément réglable d'un doseur permettant de calibrer la veine de matériau en sortie du doseur, à une épaisseur donnée) et un extracteur à vitesse réglable. Le cloisonnement des trémies doseuses entre elles doit permettre d'éviter tout mélange inter granulaire. Chaque trémie doit être équipée d'une grille à barres d'espacement de 10 cm pour éviter l'introduction des éléments indésirables. Le dosage peut être volumique pour les gravillons propres et les sables roulés ou pondéral pour les sables broyés ou concassés, il s'effectue, selon le type de centrale, de la façon suivante :

- **pour les centrales continues traditionnelles** : les granulats provenant du sécheur sont stockés dans une trémie tampon équipée d'indicateur de niveaux. Le dosage des granulats secs se fait vol métriquement grâce à un extracteur métallique qui extrait les granulats de la trémie tampon au travers d'une trappe à hauteur réglable.

- **pour les TSM** : (tambour sécheur malaxeur) parmi les centrales continues

Les granulats humides préalablement dosés et éventuellement les fines d'apport sont introduits dans le tambour rotatif par un convoyeur à bande équipé d'un débitmètre (appareil mesurant la quantité de matériau transportée par unité de temps par la courroie d'un transporteur fonctionnant en continu). Afin de corriger les débits des granulats, il est nécessaire de tenir compte de leur humidité moyenne. Le sécheur doit permettre d'abaisser la teneur en eau du granulat la teneur en eau max résiduelle est limitée à 0.5%.

- pour le cas des centrales discontinues : les granulats secs, auparavant reconstitués avant séchage, sont stockés dans une trémie intermédiaire. S'il est réalisé un criblage à chaud, les granulats secs sont stockés par fraction granulaire dans des trémies intermédiaires.

#### **II.5.4.les méthodes de calibrage des doseurs des matériaux granulaires : [18]**

Il s'agit d'exécuter des essais consistant à comparer les valeurs de recommandations de programmation et les valeurs mesurées à partir de la pesée d'une quantité de matériau remis par le doseur dans des conditions bien déterminées. Pour réaliser ces essais les appareils suivants sont nécessaires :

- \*un dispositif de pesage
- \*un récipient pouvant comporter une quantité de produit sans perte au cours des différentes manutentions
- \*un chronomètre opinant de mesurer le temps de fonctionnement
- \*un tachymètre permettant de mesurer la vitesse linéaire de la courroie
- \*un cadre de prélèvement souscrivant de délimiter sur toute la largeur de la courroie une quantité de matériau

#### **II.5.5.La température de fabrication des enrobes à chaud : [18]**

La température de fabrication des enrobés bitumineux à chaud peut entraîner :

- \*lorsqu'elle est faible (température < 120°C), un mauvais enrobage des granulats par le bitume et un mauvais compactage se traduisant par de faibles densité
- \*lorsqu'elle est trop élevée (température > 180°C) un vieillissement important du bitume.

#### **- La température des enrobés à la sortie de l'unité d'enrobage :**

La température des enrobés à la sortie de l'unité d'enrobage est fixée en fonction du type de centrale et de la classe de bitume utilisée

Types de centrales/classe de bitume	Classe de bitume		
	40/50	60/70	80/100
Central (TSM)	150-175°C	145-170°C	140-165°C
Centrale discontinue et traditionnelle	150-170°C	145-165°C	140-160°C

**Tab.II.3. La température de fabrication des enrobes à chaud**

#### **II.6.Le transport des enrobés bitumineux à chaud : [18]**

Compte tenu de la durée du trajet, le parc de camions de transport des enrobés nécessite d'avoir une capacité suffisante pour assurer une concordance entre le débit de la centrale et celui de l'atelier d'épandage. Le transport doit s'effectuer dans des camions ou semi-remorques à bennes métallique dont la hauteur du fond et le porte-à-faux arrière doivent être suffisants pour réaliser un vidange correct des enrobés dans la trémie sans la heurter. Avant chaque chargement l'intérieur des bennes doit être propre et enduit d'un produit anti-adhérent. Toutes utilisations susceptibles de dissoudre le liant (fuel, mazout, huile...) est interdite. Afin d'éviter la ségrégation en cours de transport, les enrobés doivent être étalés dans la benne du camion (il faut éviter le chargement en tas conique). Les camions doivent être équipés d'une bâche dès la fin du chargement au niveau de la centrale jusqu'au déchargement de la benne dans la trémie du finisseur.

**II.7. Conclusion**

Les enrobés bitumineux présentés dans le présent chapitre se dégradent par différents phénomènes (fissuration, déformation,...). L'étude de ces dégradations fait l'objet du chapitre suivant (chapitre III). Les chaussées souples (couche de roulement) ont une durée de vie limitée (5-10 ans)

# CHAPITRE III

## LES DEGRADATIONS DES CHAUSSEES



### III.1.Introduction :

Les divers climats, le type et l'intensité de trafic, l'aptitude des sols et les matériaux utilisés ainsi que le système de drainage sont les facteurs primordiaux 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 méprises diverses en particulier l'orniérage constituant ainsi la principale pathologie des chaussées revêtues et les non revêtues. Ce phénomène se découle des déformations dans la couche de surface ou des déformations dans les autres couches de la chaussée. Dans ce chapitre, nous nous intéresserons à l'étude des différentes dégradations des chaussées ainsi que leurs facteurs déclenchant.

### III.2 Dégradation des chaussées bitumineuses :[1] [5] [6]

#### III.2.1.Les arrachements :

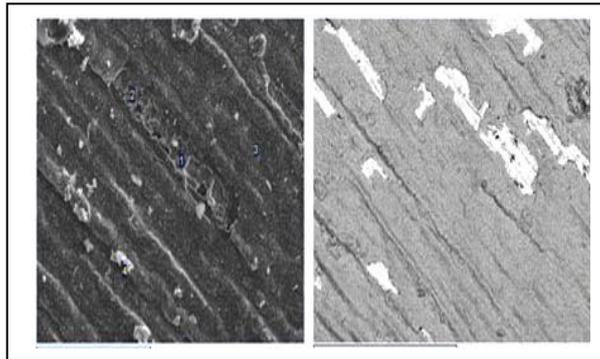
Généralement c'est une perte des matériaux de la couche de roulement. Nous recensons les pertes par :

- Décollement
- Plumage
- Dés enrobage
- Pelade
- Tête de chat
- Nids de poule

#### 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.

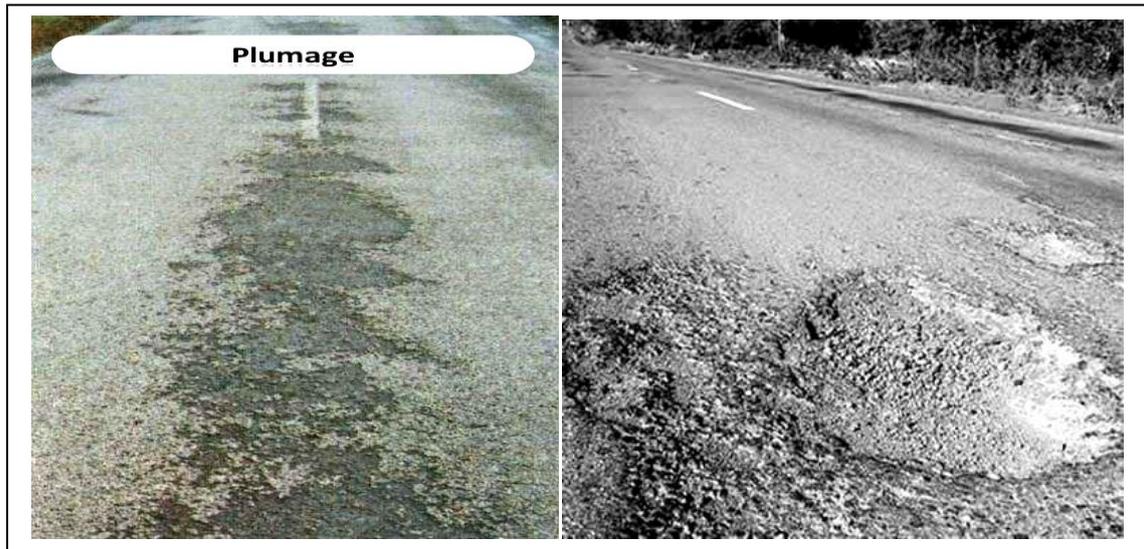
##### d-Remèdes :

- Effectuer un enduit général.

#### III.2.1.2.Plumage :

##### a- Description :

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



**Fig. III.2: plumage**

**b- Aggravation plausible :**

Constitution de nids de poule.

**c- Cause:**

- Teneur en liant insuffisante.
- Ségrégation des granulats lors de 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. Désenrobages :**

**a- Description :**

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



**Fig.III.3:désenrobage**

**b- Aggravation :**

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

**c- Causes possibles :**

- Usures dues à la circulation intense.
- Sous- dosage de bitume ou mauvaise qualité de l'enrobé.

- Mauvaise adhésivité des granulats.
- Mauvais compactage.
- Stagnation d'eau sur la chaussée.

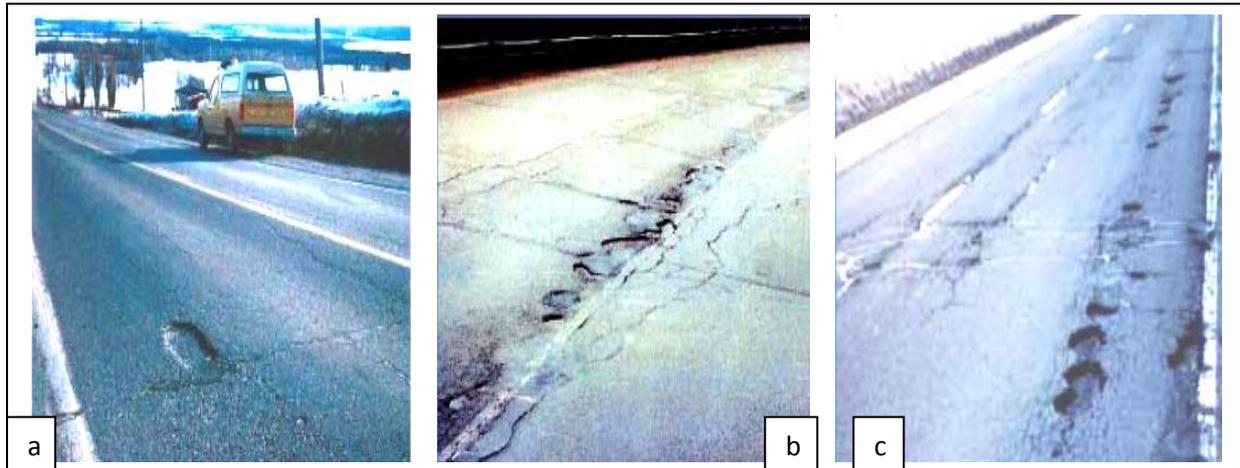
**d- Remèdes :**

- Balayage et nettoyage de la surface.
- Renouveaulement de la couche de roulement.

**III.2.1.4. Pelade :**

**a- Description :**

Arrachement du vêtement de la couche de surface, par lamelles plus au moins grandes.



**Fig.III.4 : pelade (a : faible – b : moyenne – c : majeur).**

**b- Aggravation prévisibles :**

L'altération de l'étanchéité.

La génération de nids de poule.

**c- Causes possibles :**

- Epaisseur 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.
- Arasement de 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.

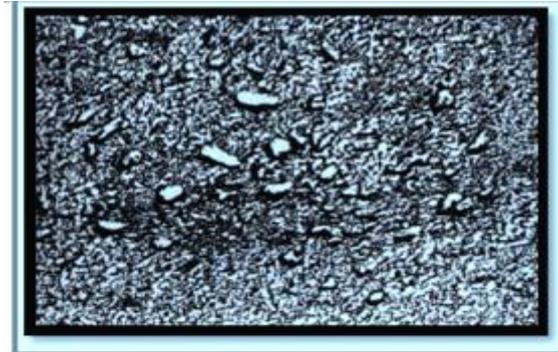


Fig.III.5 Têtes de chat

#### b- Amplification 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 constituée 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 pourtour bien défini, de dimension et de profondeur variables.

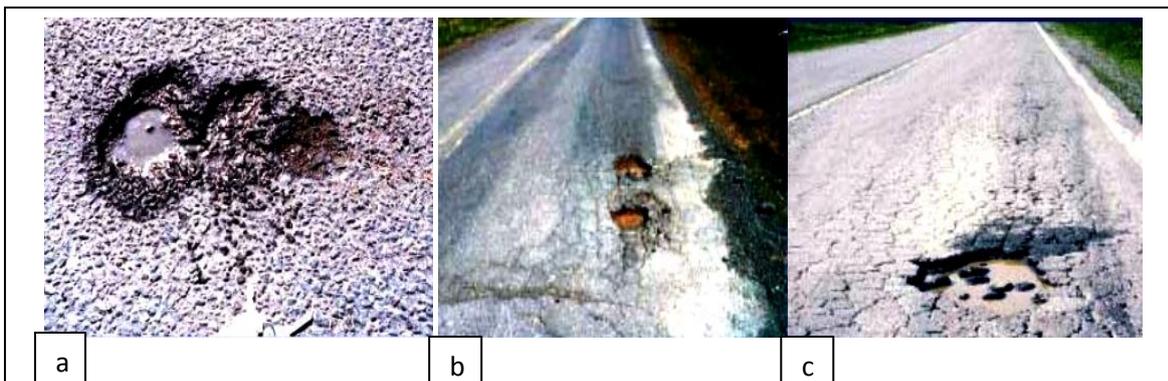


Fig.III.6: nid de poule (a : faible – b : moyen – c : majeur)

#### b- Signes annonciateurs :

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 éventuels

- Atteinte des dégradations de diverse nature le stade ultime.

- Utilisation de matériaux inadaptés lors d'une réparation dans des mauvaises conditions.

**e- Remèdes à exhiber :**

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

**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- Symptôme précurseurs:**

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

**c- Aggravations prévisibles :**

- Accroissement de la fissure.
- Formation de faïençage.
- Formation de nids de poule.

**d- Causes envisageables:**

- Rupture du revêtement provoqué 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 continuations 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.

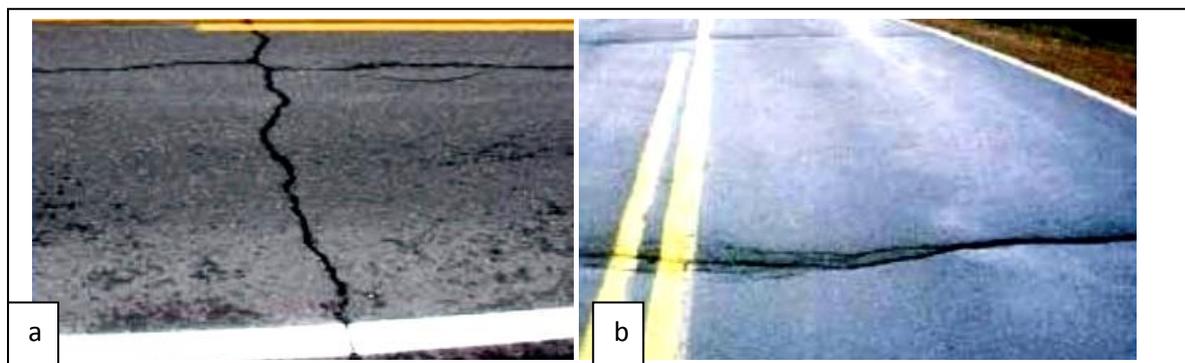
**e- Traitements à apporter :**

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

**f- Différents types de fissures :**

**-Les fissures transversales :**

Ces fissures se manifestent orthogonalement à la chaussée. Elles peuvent être séparées ou alternatifs d'espacement variables, elles peuvent également toucher toute la largeur de la chaussée ou une fraction.



**Fig.III.7 : fissures transversales (a : moyen – b- majeur)**

**-Fissure en piste de roues :**

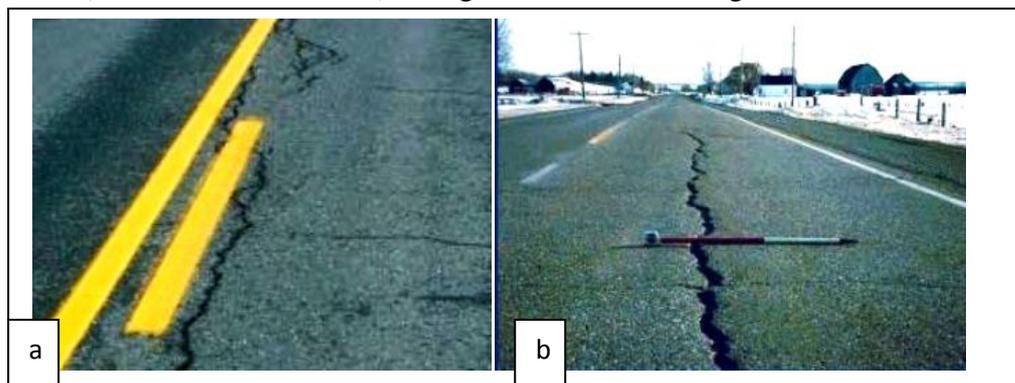
Rupture du revêtement parallèle à la direction de la route et située dans les pistes de roues, soit dans les bandes numéro 2 et 4.



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

**-Fissures longitudinales (excepté 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). Éloignant les fissures du gel.



**Fig.III.9: Fissures longitudinales (a : faible – b- majeur)**

**-Fissures de rives :**

Ce sont des fissures qui apparaissent le long de l'accotement ou de la bordure du revêtement sous forme de lignes 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 gercée sans localisation précise.



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

**III.2.2.2.Le faïençage :****a- Description :**

Assortiment de fissures établissant un maillage à petites mailles polygonales dont la dimension moyenne est de l'ordre de 30 cm 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 annonciateurs:**

- Affaissement.
- Flaches.
- Fissures.

**c- Aggravation prévisibles:**

Formation de nids de poule.

**d- Causes probables:**

- Tassement du corps de chaussée (retrait ou gonflement des matériaux de la couche de base).
- Mauvais accrochage de la couche de surface sur la couche de base.
- Affaiblissement de la chaussée (oxydation et fragilisation du bitume dans l'enrobé).
- Capacité portante insuffisante.

**e- Traitements à apporter :**

- Mise en œuvre d'un enduit superficiel avec balayage des rejets par aspiration ou pontage des fissures.
- Rejet de la couche de roulement après rabotage (purge éventuelle de la structure).

**III.2.2.3. Les épaufrures :****a- Description :**

Ecrasement et désintégration du revêtement en bord de chaussée ou du rail



**Fig.III.13: Epaufrures**

**b- Symptômes précurseurs:**

Erosion dégressive de l'accotement.

**c- Amplification à craindre:**

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

**d- Causes probables:**

- Fluage de l'enrobé lors de la 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- Traitements :**

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

**III.2.3. Les remontées :****III.2.3.1. Remontées (d'eau ou d'argile) :**

**Fig.III.14 Remontées (d'eau ou d'argile)**

**a- Description :**

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

**b- Causes probables:**

- 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- Amplification plausibles :**

- Désenrobage et désagrégation des matériaux du corps de chaussée.
- Déficit de capacité portante.
- Dégradation de l'adhérence.
- Formation de nid de poule.

**d- Traitements ;**

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

**III.2.3.2.Ressuage :****a- Description :**

Élévation en surface de la haussée du liant recouvrant complètement les granulats. Cette élévation est généralement accentuée dans les pistes des roues.



**Fig.III.15Ressuage**

**b- Aggravation possibles:**

- Dégradation de l'adhérence.
- Plumage.
- Menace de dérapage.

**c- Causes possibles :**

- Quantité élevée du liant.
- Liant trop liquide.
- Evaporation intensif.
- Nature d'enrobé inadapté avec les sollicitations.
- Effet combiné de la température élevée du revêtement et des sollicitations du trafic.

**d- Remèdes à apporter :**

- Renonciation par jet d'eau haute pression.
- Grenailage.
- Procéder à un sablage par temps chaud.

### III.2.3.3. Boursouflure :



Fig. III.16 Boursouflure

**a- Description :**

Déformation du revêtement par zone localisées et formant une irrégularité importante.

**b- Symptôme annonciateurs :**

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

**c- Aggravation plausibles :**

- Effondrement de portance.
- Apparition de diverses déformations résiduelles.

**d- Causes probables:**

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

**e- Traitements à apporter ;**

- 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 : [1] [4] [6]

#### III.2.4.1. L'affaissement :

**Description :**

Abaissement cerné du niveau du profil de la chaussée, on le rencontre fréquemment sur les voiries secondaires dont la chaussée est souple



Fig.III.17 : affaissement

**Amplification prévisible :**

- Génération de fissure.

- Genèse de faïençage puis de nids de poule.

**Causes probables :**

- Insuffisance de portance du corps de chaussée provoqué par :
- Sous-dimensionnement du corps de chaussée.
- Tassement des couches de chaussée.
- Existence d'eau dans le sol (drainage insuffisant, niveau très élevé de la nappe phréatique).
- Compactage imparfait 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.

**Traitements à appliquer:**

- Restauration 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 barder le tout par un enduit superficiel.

**III.2.4.2 Le bourrelet (gonflement):**



**FIG. III.18 le bourrelet**

**Description:**

- Ballonnement plus au moins prononcé apparaissant à la surface de la chaussée.

**Amplification probable :**

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

**Origines possibles :**

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

**Solution :**

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

**III.2.4.3.flache**

**Description**

Déformation de la surface de la chaussée dormant une dépression arrondie (ou elliptique)

**Aggravations prévisibles :**

Formation de fissures, de faïençage puis de nids poule

**Causes possibles**

Manque de portance localisée dans le corps de chaussées 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



**Fig.III.19 LE FLACHE**

**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 :**

**Description :**

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



**Fig. III.20: tôles ondulée**

**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.

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 accompagnés par l'apparition des dégradations prématurées notamment l'orniérage qui est l'un des principaux modes de dégradation des chaussées.

Est une déformation permanente longitudinale de la chaussée caractérisée par un tassement de celle-ci qui se crée sous le passage répété des roues. Ce phénomène évident sur un chemin boueux où un véhicule laisse immédiatement les traces de ses pneus intervient sur tout type de route.

#### -Types d'orniérage :

En fonction de leur taille (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 :

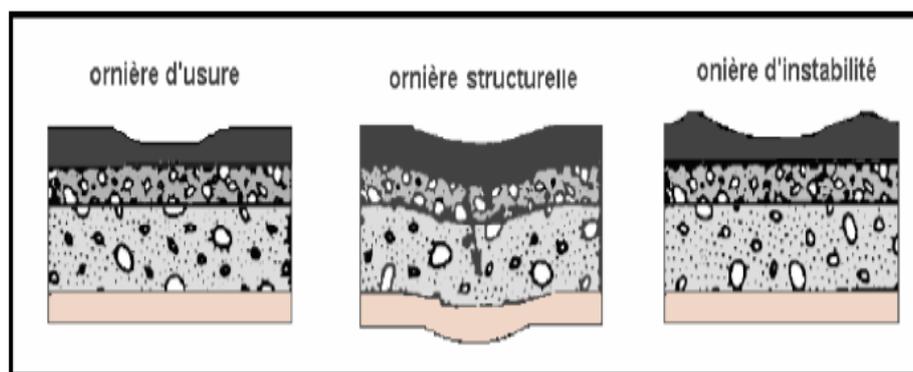
Sont dues au départ et à la perte progressive des particules de granulats de la couche de surface, sous l'effet combiné des facteurs d'environnement et de trafic

#### -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 déplacements latéraux des matériaux dans la couche bitumineuse, Elles sont plus fréquentes dans les chaussées souples à mauvaises caractéristiques,



**FigIII.21.types d'orniérage**

**III.3.Conclusion :**

Les dégradations étudiées dans ce chapitre rendent la chaussée dans la plus part du temps inutilisable et elle demande un renforcement et/ou une réparation. Les enrobés vétustes (fraisât) vont être réutilisé par recyclage. Les techniques de recyclages, la formulation et les conditions d'utilisation vont être discutées au chapitre quatre

## Chapitre IV

# Recyclage des Bétons Bitumineux



### **VI.1. Introduction :**

Le recyclage des matériaux routiers est une impérieuse vis-à-vis de la protection de l'environnement, d'espaces naturels (décharges), d'énergie (réduction des gaz à effet de serre) et d'économie de ressources naturelles (granulats).

Tous les matériaux routiers sont recyclables. Ils peuvent être réutilisés en centrale en place. Le recyclage en place pallie des économies de transport supplémentaires.

Il existe toute une gamme de techniques de recyclage dont le choix découlera de la nature du matériau à réutiliser, de son mode de traitement et de la destination finale du produit en dérivant. Le degré de pénétration des opérations de recyclage est très variable d'un pays à l'autre, et même d'une région à l'autre. Aussi, aux États-Unis, la situation est fort différente d'un état à l'autre. Mais, en Europe du Nord, le recyclage est pratiquement systématique.. Quel que soit le pays le recyclage s'est étendu plus tôt et plus vite dans les zones très urbanisées, suite à l'éloignement croissant des carrières et à la rareté des sites de décharge.

En France, les recyclages et retraitements ont débuté vers la fin des années soixante-dix suite à la première crise du pétrole. Leur essor a ensuite été plutôt lent du fait de l'abondance des carrières et des postes d'enrobage. [19]

En Algérie, le recyclage n'a pas encore trouvé sa place en pratique. Le fraisât des couches de roulement dégradées est seulement utilisé pour ouvrir quelques pistes montagnaises.

### **VI.2. La cause du recyclage :**

Les questions environnementales sont actuellement intégralement prises en compte. D'une façon habituelle la société a décidé que la culture consistant à "utiliser et jeter" n'est pas la piste à suivre. Une situation dans laquelle le bien-être d'une génération peut affecter négativement les générations futures n'est plus tolérable. Donc il y a l'obligation honnête de limiter la pollution de l'environnement. Cependant, les comportements ne peuvent pas être changés en peu de temps. La pollution dans le monde a augmenté depuis des siècles en particulier depuis la révolution industrielle. Néanmoins, beaucoup d'efforts ont été déployés dans le but de l'inversion de cette aptitude à long terme.

L'ingénierie des routes est une activité dans laquelle beaucoup de matériaux naturels sont consommés. En Europe, la production de béton bitumineux (nouveau + ancien) est d'environ deux cent soixante-dix millions de tonnes par an. Plusieurs millions de tonnes de matériaux non traités sont aussi utilisés en couches de base et de fondation. Du point de vue environnemental, la solution la plus intéressante est de recycler les matériaux sur place pendant les travaux de rénovation.

La décision de ne pas recycler des matériaux de couches de surface emmènerait la perte surabondante d'une quantité considérable de nouveaux matériaux comme : les gravillons, l'asphalte, le sable et les roches concassées. En plus, des surfaces importantes seraient employées par le stockage des matériaux. De ce fait, la capacité de mise en décharge devient rare et d'autres méthodes d'élimination ou d'utilisation des déchets doivent être vues. L'adoption et la mise en œuvre de programmes de recyclage devraient résulter en une quantité inférieure de matériaux à éliminer par enterrement.

Des considérations économiques, ainsi que les points cités en haut, participent à un contexte politique où l'intention est de réaliser un cycle de construction fermé dans la réutilisation des matériaux de chaussées. L'utilisation efficace des ressources primaires en granulats est souvent un privilège pour la société. Les exigences de recyclage peuvent

cependant être si limitatives qu'elles pourraient gêner le développement de cette solution. Alors que les spécifications ont besoin de minimiser le risque d'utilisation de matériaux peu appropriés, elles sont si répressives dans certains cas, tel que :

- Les spécifications oppriment l'innovation ;
- Les garanties de performance bornent l'innovation ;
- Les exigences techniques implorent aux matériaux réutilisés une performance équivalente ou meilleure que celle des matériaux neufs.

### **VI.3. Les matériaux recyclable :**

Bien que le bitume et les granulats soient de constitution très variable, les matériaux rattrapés peuvent être classés en trois familles selon :

- Qu'ils peuvent être réutilisés dans la construction routière
- Qu'ils peuvent être réutilisés dans un autre domaine tel que le bâtiment.
- Qu'ils peuvent être réutilisés et recyclés ce qui impose la réduction du volume des déchets.

Ordinairement, les facteurs influents sur le choix comprennent le risque éventuel que le matériau pourrait engendrer à l'environnement, le volume des déchets, les avantages de sa réutilisation et l'existence d'un marché réel ou potentiel pour le matériau récupéré.

Le recyclage de chaussées souples inclut le recyclage/réutilisation de couches bitumineuses et de couches de base non traitées ainsi que la couche de fondation sous les couches bitumineuses. Les couches bitumineuses peuvent être réutilisées comme de nouvelles couches bitumineuses (recyclage à chaud) ou comme couches de base en graves traitées ou non traitées (recyclage à froid). Les couches de base en graves découlant de chaussées existantes peuvent être utilisées comme couches de base en graves traitées ou non. De même, le sable provenant de la couche de fondation peut aussi être recyclé sous forme traitée ou non. Dans ces cas, les matériaux traités sont des mélanges de sable et de granulats avec des liants à base de ciment ou d'émulsion. Selon la méthode privilégiée, le malaxage peut avoir lieu soit en place soit en centrale. Donc, presque tous les composants d'une chaussée souple existante peuvent être recyclés.

Les aspects à examiner en vue du recyclage comprennent :

- a) La faisabilité technique,
- b) Les règlements juridiques et techniques du pays concernant le développement durable, la promotion du Recyclage et les contrôles de la contamination du terrain naturel,
- c) L'aspect économique. [20]

### **VI.4. La manière de recyclage :**

Le recyclage des matériaux des chaussée a un rôle important à jouer dans la mise en œuvre d'une politique de développement durable Cette politique a cependant besoin d'être encouragée activement par des spécifications pertinentes, des projets expérimentaux et le transfert de connaissances Les activités particulières qui stimulent le recyclage sont :

- Une orientation vers les garanties de performance des matériaux de chaussée: Bien que la recherche sur les spécifications de performance soit actuellement en cours, des "spécifications de moyens" sont encore largement utilisées Une des façons principales d'augmenter la réutilisation et le recyclage dans l'industrie de la construction est d'inclure les matériaux recyclés et réutilisés dans les normes et dans les spécifications nationales et internationales des matériaux L'intégration dans les spécifications peut être encouragée par -la

promotion d'une approche basée sur la performance. De plus, une certaine souplesse est permise dans la sélection des matériaux dans une spécification des produits finaux.

-La promotion des dimensionnements de structures de chaussée permettant d'optimiser la réutilisation de tous les matériaux de chaussée : Les normes et spécifications suggérées ci-dessus doivent être promues par des projets expérimentaux, des démonstrations et une publicité appropriée. Les gouvernements pourraient lancer une campagne de publicité pour promouvoir la réutilisation des granulats de qualité inférieure et secondaires. L'efficacité d'une telle campagne serait accrue si elle était accompagnée de quotas ou d'objectifs imposés par la loi et. Éventuellement, par des mesures fiscales pour rendre les granulats recyclés plus compétitifs par rapport aux granulats neufs.

-Les problèmes logistiques de la mise en œuvre de programmes de recyclage ainsi que tous les avantages économiques ont besoin d'être soulignés - C'est à l'origine du projet que la réutilisation et le recyclage des matériaux de construction peuvent être encouragés et soutenus, en particulier pendant que les grandes lignes sont en cours de définition. La minimisation des déchets dans l'étude du projet devrait être une préoccupation importante. Il semble y avoir de la réticence à réutiliser et à recycler de la part des concepteurs et des entrepreneurs du génie civil. Les contraintes clés sont le temps et le coût, ainsi que la perte de marchés. Les avantages économiques du recyclage émergent progressivement, mais l'industrie doit faire face à de nombreuses difficultés pratiques dans la mise en œuvre des programmes de recyclage.

L'utilisation d'outils économiques (tels que les impôts/droits sur les granulats primaires, ou les droits sur la mise en décharge) est une option possible, qui a déjà été adoptée avec succès au Danemark et aux Pays-Bas. [20]

Il n'existe pas de directive unique pour décrire ou même prescrire le recyclage des enrobés en centrale à chaud ; il y a plutôt diverses méthodes, qui donneront des résultats plus ou moins bons. Il n'y a pas non plus une seule réglementation ou un seul élément préférentiel d'équipement. Ce rapport se situe donc entre une directive stricte et une description de l'« état de la technique ». L'avantage est que chaque pays, indépendamment de la phase de développement du recyclage des enrobés en centrale dans laquelle il se trouve, apprendra quelques nouveautés, sans avoir à réinventer la roue. [21]

Abréviation	Définition
RA	Recyclats d'enrobés ( par ex. conformément à la norme européenne prEN 13108-8) Enrobés bitumineux - Projet). Le granulat RA est obtenu en concassant des enrobés démolis ou à partir du fraisage de couches bitumineuses de routes ou de digues. Ces granulats ont habituellement un calibre maximum de 40 mm (13 à 32 mm pour l'application dans les couches de roulement et les couches de liaison).
ARA	Enrobé de recyclage à base de recyclats d'enrobés.
NA	Enrobé neuf, c'est-à-dire sans RA.
HAP	Hydrocarbures polycycliques aromatiques
RAT	Recyclat d'enrobé contenant du goudron

**Tableau IV.1. Abréviations**

### **VI.5. La Pyramide des exigences pour le recyclage : [21]**

La « pyramide d'exigences » est un modèle « intelligent » utilisé aux Pays-Bas et qui peut s'appliquer pour définir les paramètres destinés à spécifier certaines qualités. Elle a plusieurs niveaux :

Niveau d'exigences	Type d'exigences
1 : Exigences de l'utilisateur	Sécurité, confort, durabilité, accessibilité, temps de parcours
2 : Exigences fonctionnelles	Frottement, uni, réduction de bruit, nombre de voies
3. Exigences de la structure	Résistance, capacité portante, durabilité
4 : Propriétés élémentaires des matériaux	Résistance contre la fatigue et l'ornièrage, degré de compactage, porosité
5. Exigences concernant les matériaux	Composition de mélange, résistance à l'écrasement et au polissage, propriétés rhéologiques de liant, compactabilité, vides

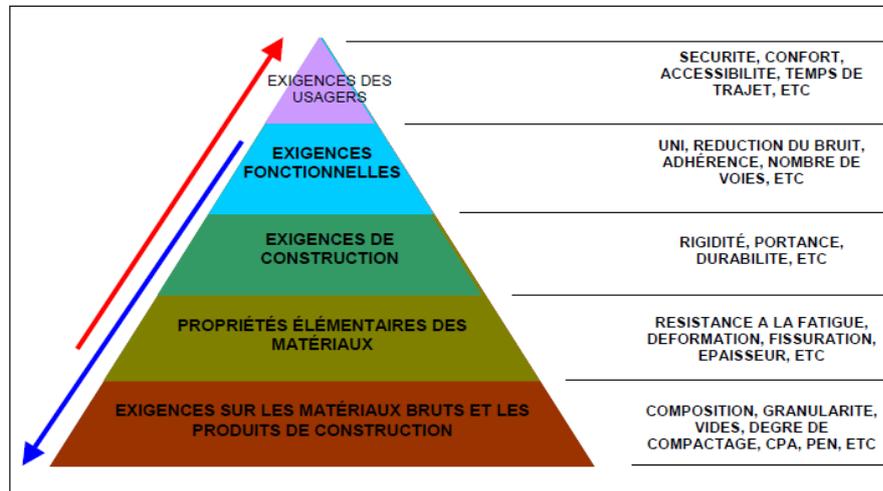


Figure.IV.1. La pyramide des exigences

### VI.6. Etudes préliminaires, essais et classification du recyclât d'enrobé (RA) :

On décrit dans cette section les essais qui doivent être effectués sur le RA avant qu'il soit utilisé. Ce sont en particulier :

- Les méthodes pour calculer la quantité, les propriétés et la viscosité du liant dans l'ARA (enrobé de recyclage à base de recyclât d'enrobés) à produire ;
- La façon de régir les changements au niveau du liant compris dans le RA ;
- La manière de traiter la composition des minéraux du RA (quantité de pierres rondes et concassées) ;
- Qu'es ce qu'on doit faire du RA pollué par du goudron ;
- Les exigences concernant l'homogénéité du RA.

Par ailleurs, comment calculer les quantités et des propriétés de l'ancien et du nouveau liant dans l'Enrobé de Recyclage à base de Recyclât d'Enrobé (ARA)?

Comme c'est indiqué ci-dessus, il est facile de composer de l'ARA ayant les mêmes propriétés que l'enrobé neuf (NA), car tous les matériaux de construction de l'ARA peuvent être renouvelés pour survenir au même niveau de qualité que de nouveaux matériaux. Cela est applicable également à l'appréciation de la qualité du liant, en mélangeant le vieux liant avec une certaine quantité d'un nouveau liant propre.

Pour le bitume de pénétration, trois approches permettent de calculer la quantité et le type du liant, à savoir :

- Une approche d'après la pénétration ;
- Une approche d'après le point de ramollissement ;
- Une règle concernant la viscosité est appliquée pour le bitume de classe de viscosité spécifiée (spécialement utilisé dans les climats froids: bitume mou),

### **VI.6.1 Traitement du gravier du recyclas d'enrobés :**

Dans les régions où le gravier est utilisé dans les couches d'assises, les enrobés à base de gravier et les enrobés à base de pierres concassées devraient être séparés. Les enrobés à base de gravier peuvent être réutilisés dans les couches d'assises, mais non dans les couches de liaison ou dans les couches de roulement [4]. Des expériences ont été réalisées, consistant à broyer des enrobés anciens à base de gravier en une petite dimension et à les réutiliser dans des couches de liaison et des couches de roulement.

### **VI.6.2 Granulométrie des minéraux: [21] [22]**

La granulométrie des minéraux dans le RA doit être étudiée, pour que la granulométrie des minéraux intacts ajoutés pour le nouvel ARA puisse être composée. Les exigences pour les nouveaux types d'enrobés, comme dans le cas de l'ARA, varient et sont absolument décrites dans des spécifications des normes. Par exemple, il y a des limites au calibre et à la quantité maximum des granulats RA par rapport au type de mélange d'enrobés appliqué.

### **VI.6.3 Homogénéité du RA:**

De nombreuses précisions ordonnent que le granulat de RA doit être homogène, et que ceci soit vérifié par inspection visuelle. Si le résultat de cette entrevue est négatif, le granulat de RA doit être homogénéisé. Les paramètres suivants doivent être déterminés à partir d'échantillons : la pénétration, la teneur en liant et la viscosité. Le granulat RA est dit « homogène » si les écarts-types des échantillons ne dépassent pas les valeurs limites pour les trois paramètres. Ces valeurs peuvent se différencier, selon les tolérances normalement utilisées dans un pays pour NA et la quantité de RA à ajouter. Si des améliorations de l'homogénéité sont nécessaires, la procédure énoncée doit être répétée.

### **IV.6.4. Essais et classification du RA :**

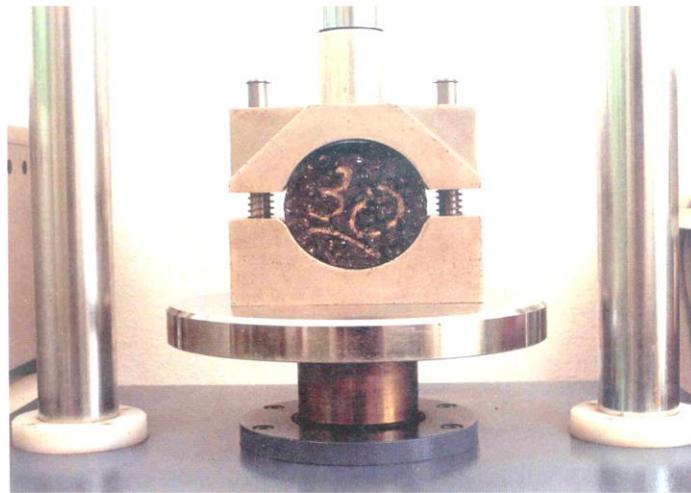
Les renseignements sur l'ancien enrobé enlevé ou à prélever d'une ancienne route, jointes aux essais en laboratoire constituent des données d'entrée pour utiliser le matériel pour une composition parfaite dans une situation donnée. Cela signifie :[21]

- La manière de prélèvement du matériau de la route ;
- On doit choisir un recyclage à chaud ou un autre mode de réutilisation ;
- Le type de l'ARA à reproduire ;
- La structure à exécuter ;
- L'aspect particulier du contrôle de la qualité à opérer.

### **VI.7. La formulation du mélange :**

Les exigences pour la formulation du mélange de NA et de l'ARA dans la plupart des pays sont spécifiées au niveau le plus bas dans la pyramide des exigences. C'est-à-dire le niveau cinq, donc le niveau des spécifications relatives aux matériaux, par exemple : les exigences liées à la méthode Marshall. La première étape pour la conception de l'ARA consiste à étudier les matières premières, dont le RA est la plus importante. La majorité des pays appliquent la méthode de la formulation Marshall pour concevoir le mélange ARA, mais d'autres méthodes de formulation peuvent être appliquées, et il existe aussi une vaste gamme

de méthodes d'essais distinctes. D'après les propriétés des matériaux constitutifs, le producteur peut formuler un mélange qui répond aux exigences de la composition pour l'application de ce mélange spécifique.[21]



**Figure .IV. 2. Machine de l'essai Marshall**

D'autres exigences doivent être remplies, d'après le trafic local et les conditions climatiques; toutefois, en principe, le mélange ARA doit satisfaire aux semblables exigences qu'un mélange NA. Il est permis de formuler un mélange au plus bas niveau de la pyramide des exigences. La plupart des pays appliquent cette approche après que cette méthode a été validée par des mesures et des essais in situ plus poussés, mais bien entendu, il est possible de formuler un mélange à un niveau supérieur.

Des pays, tel que l'Allemagne, la Suède, la Belgique et les Pays-Bas ont parfois des rigueurs de cahier de charges du niveau quatre. Dans ces cas, les essais dits « fonctionnels » exposés ci-dessous sont utilisés :

- Mesure de la résistance à l'orniérage et à la fatigue;
- Mesurage de la rigidité, de la résistance et de la compactibilité des différentes couches.

Pour la Belgique, le recourt systématique aux tests fonctionnels ne se fait que pour la mesure de la résistance à l'orniérage. La Suède exige une méthode basée sur les propriétés fonctionnelles des couches (rigidité, fatigue et déformation). Les Pays-Bas limitent leurs méthodes fonctionnelles à la rigidité, la fatigue, la résistance à l'orniérage et à la fissuration dans des cas expérimentaux.[21]



**Figure.IV.3. Machine d'essai triaxial pour déterminer**

Il convient de veiller essentiellement aux procédures réglementaires pour effectuer les essais, à titre d'exemple :

- Le réchauffage du RA en laboratoire pose le risque de durcissement du bitume, donc il faut faire un réchauffage de courte durée en étuve et/ou exclusion de l'oxygène (par exemple : dans des boîtes en fer blanc fermées);
- La durée de malaxage (pour le RA avec des minéraux neufs) ;
- Le programme d'addition et de malaxage (correspondant au programme du malaxage en centrale). [21]

### **VI.8. Etude de formulation Consistance et méthodologie: [23]**

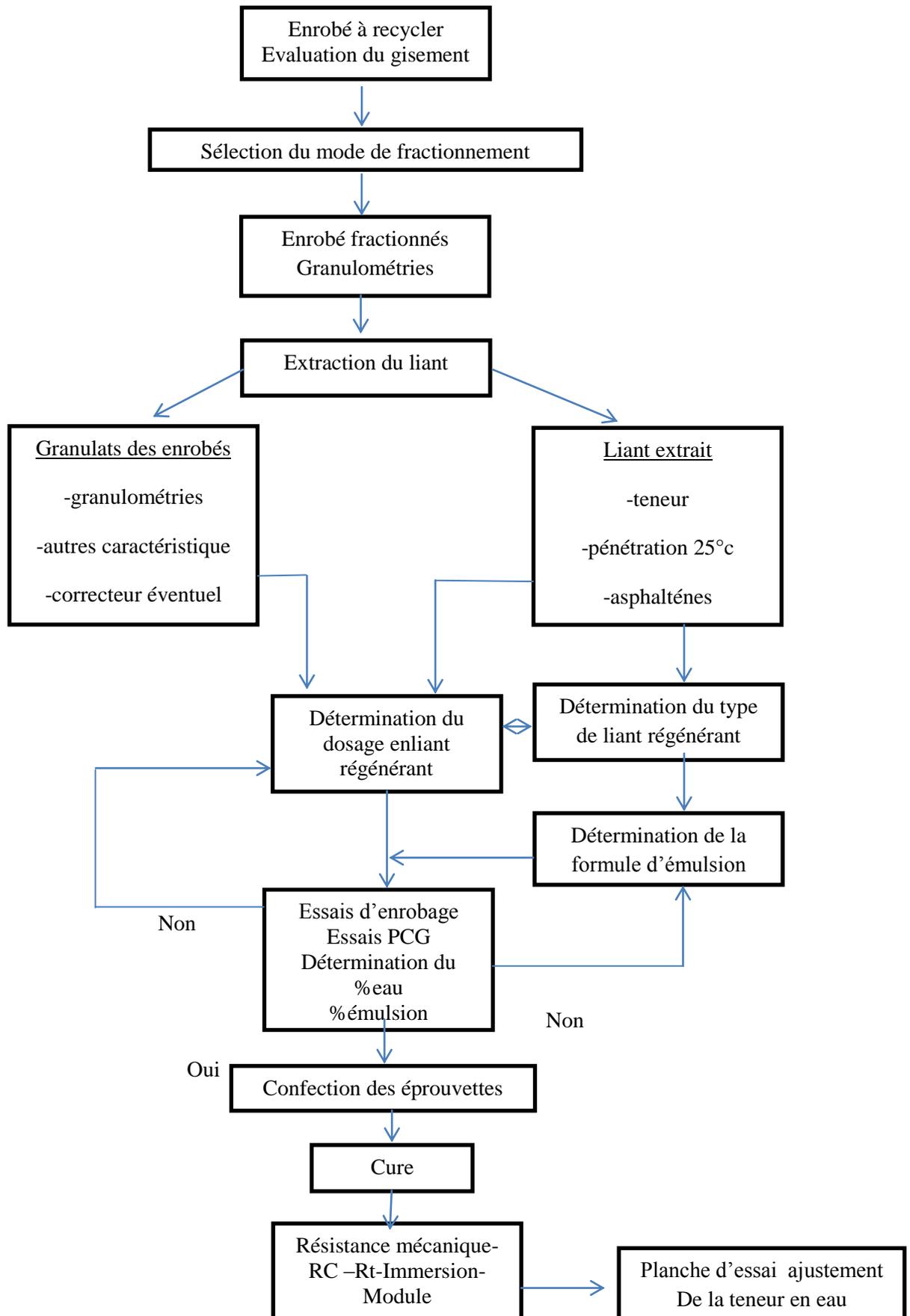
Le déroulement d'une étude de recyclage à l'émulsion est conceptualisé par le diagramme ci-dessous :

a- L'homogénéité du gisement à recycler est un facteur crucial pour la réussite d'un recyclage à fort ou un moyen taux. Le gisement se caractérise bien entendu par des valeurs moyennes et ultimes de ses caractéristiques.

b- Le mélange final devant être mis en œuvre à température ambiante (20°), le liant d'apport a un rôle essentiel dans la renaissance du vieux bitume et l'obtention d'un niveau de maniabilité adéquate. Le choix du liant d'apport, en termes de viscosité et de composition est donc un point-clé.

c- A titre indicatif, la plupart des caractéristiques des liants vieillis étudiés se situent dans les limites ci-après :

- pénétrabilité à 25°c : 8 à 35 mm
- température de ramollissement bille-anneau (TBA): 55 à 75°c
- teneur en asphaltées : 15 à 25%



**Organigramme de formulation du béton bitumineux recyclé.**

### **VI.9. Caractéristiques mécaniques des matériaux de recyclage et dimensionnement des chaussées :**

Produire un mélange ARA avec des propriétés à un niveau haut n'est pas plus compliqué que de composer un mélange NA habituel, en raison de la capacité à adapter les caractéristiques de l'ancien liant dans le RA en le mélangeant avec la quantité exacte de liant avec des caractéristiques appropriées. Il est relativement facile d'obtenir le mélange approprié pour l'ARA décrit ci-dessus. Néanmoins, il convient de noter que lorsqu'on produit de l'ARA :

- Il faut connaître ses caractéristiques;
- Il faut que la variété des caractéristiques du RA soit limitée.

Comme c'est indiqué plus haut, les caractéristiques mécaniques de l'ARA tel que : la rigidité, la durabilité, la fatigue, la résistance à l'orniérage et la résistance à la fissuration sont équivalents à celles du NA, pourvu que les exigences soient respectées. Par rapport au type de mélange, au type d'application et aux méthodes d'essai localement utilisées, il est conseillé de suivre les valeurs naturellement prescrites pour le NA. La majorité des pays annoncent qu'il n'y a pas de différence entre les méthodes de dimensionnement pour la construction de chaussées bitumineuses avec ou sans ARA. Ceci porte naturellement au fait qu'il n'y a pas de différence entre les propriétés fonctionnelles de l'ARA et du NA. Les méthodes de dimensionnement dans différents pays vont du dimensionnement judicieux à la structure standard pour différentes catégories de routes. Enfin, pour les différentes méthodes, la validation empirique est l'étape finale avant d'arriver à l'approbation complète de la formulation.

### **VI.10. Les équipements de recyclage :[21]**

Dans cette section on décrit les principaux types de Centrales d'enrobage pour produire de l'ARA. De plus larges détails sont disponibles dans des manuels et des rapports, tels que le rapport AIPCR « Recyclage de chaussées souples existantes ».

#### **VI.10.1. Les Types de centrales d'enrobage :**

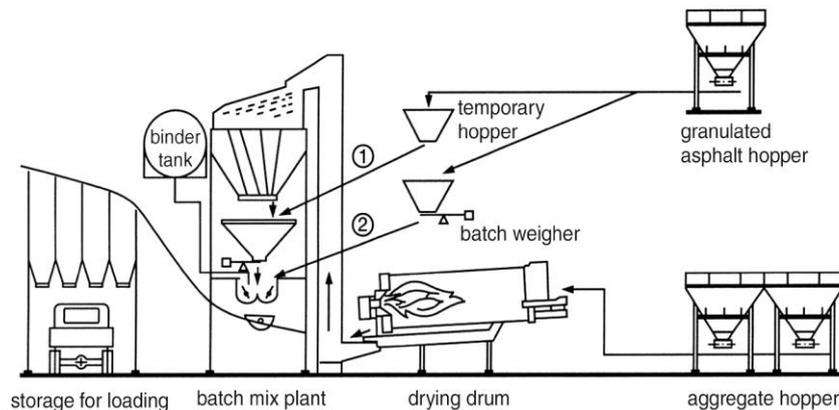
Les centrales de recyclage d'enrobés utilisés dans les différents pays sont mentionnées ci-après :

- Les centrales discontinues avec un tambour de chauffage séparé aussi appelé tambour parallèle (addition chaude)
  - Les centrales discontinues sans tambour de chauffage séparé (addition froide)
  - Les tambours-mélangeurs.

Les Pays-Bas citent des centrales appropriées pour produire de l'ARA contenant presque 100 % de RA. L'Allemagne annonce des cas de 100 % de recyclage avec des tambours parallèles pour des enrobés à utiliser en couches d'assises. La centrale discontinue avec un tambour de chauffage séparé est la technique la plus répandue, en raison des avantages présentés ci-dessous.

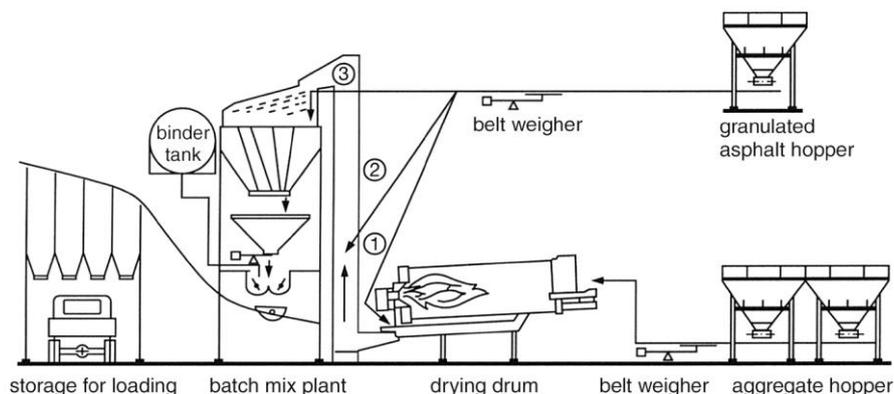
### a -Centrales discontinues sans tambour de chauffage séparé (addition froide):[21]

Dans les centrales discontinues sans tambour de chauffage séparé, le granulat RA est ajouté directement, dans l'unité de pesage, aux matériaux vierges surchauffés (jusqu'à 275°C). Au lieu d'être chauffé dans un tambour de chauffage distinct. Une éminente quantité de vapeur est ainsi formée, et doit être aliénée et décampée par le système de collecte de poussière et la cheminée de la centrale. Dans de tels cas. La température maximale est limitée, afin d'éviter l'endommagement de certaines parties de la centrale. D'usage, on peut ainsi recycler 15 % de de RA (au maximum environ 20 %), selon la teneur en humidité.



**Figure.IV.4. Addition discontinue de granulat RA et de nouveaux minéraux**

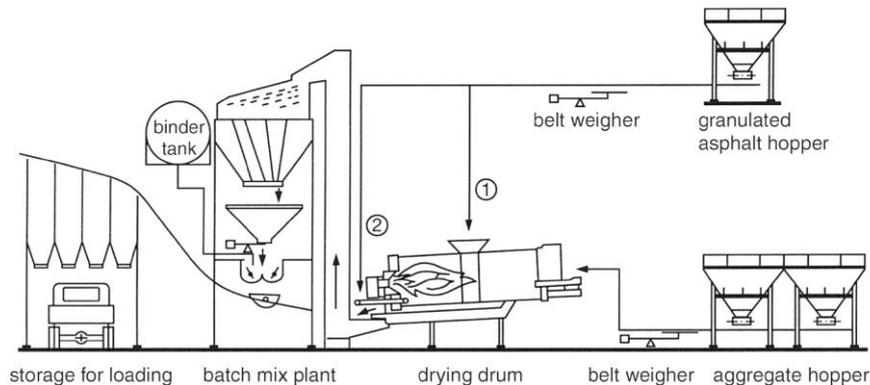
Le RA peut être ajouté dans l'équipement de pesage des granulats ou dans une balance séparée. Permettant ainsi aux granulats neufs d'être tamisés sans aucune influence du RA. Pour éviter le durcissement du liant il est conseillé que les agrégats neufs soient mélangés au RA avant d'ajouter le liant neuf. L'ajout de RA est combiné à la proportion de minéraux neufs. Comme il y a plus de temps pour réchauffer le RA, le mélange donne moins de vapeur. Le tamisage à chaud du mélange d'agrégats neufs et de RA n'est pas possible dans ce processus, si bien qu'il n'y a pas de possibilité de corriger la granulométrie.



**Figure.IV.5. Addition continue de granulat RA et de nouveaux minéraux**

### **b-Centrales discontinues sans tambour de chauffage séparé (chauffage simultané) :[21]**

Dans ce type de centrale le RA est chauffé en même temps que l'agrégat neuf dans un seul tambour de chauffage, doté d'installations spéciales pour les additions. Le RA est ajouté soit au milieu soit à l'extrémité, à l'endroit de la flamme de chauffage (flux inverse). Si le RA est ajouté du côté du brûleur du tambour, le matériau est déversé (par exemple, par un système spécial de courroie) sur les agrégats intacts, quelque part avant la fin du tambour de séchage. Dans ce cas, le délai restant pour le chauffage et pour le déplacement dans le sens opposé à la direction de la flamme est très court. En appliquant le système du flux contraire, l'addition de 40 % de RA est éventuelle.

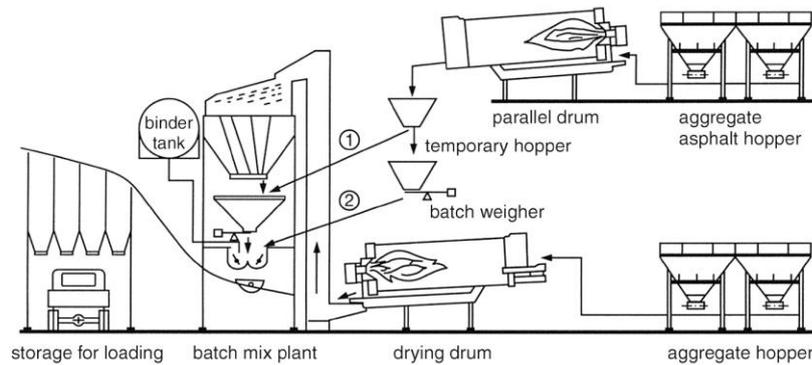


**FigureIV.6. Centrale discontinue, réchauffage du RA dans le tambour sécheur des granulats vierges**  
Centrales discontinues avec un tambour de chauffage

### **c-Centrales discontinues avec un tambour de chauffage séparé (tambour parallèle) :**

Le tambour de chauffage complémentaire a son propre dispositif de chauffage pour sécher le RA et le préchauffer à 130°C. Après, le granulat RA, étant une matière première séparée, est transporté via l'unité de pesage dans le mélangeur, et il est mélangé avec les granulats neufs doucement surchauffés, de sorte que la température finale aboutira environ 160° C.

En ajoutant ce granulat sec et préchauffé, la quantité maximale de granulat RA peut atteindre jusqu'à 50 % ou même 80 %, lorsqu'il peut être garanti que le granulat RA a une provenance constante et une qualité très haute. Le pré-malaxage du RA avec les nouveaux minéraux ne devrait pas dépasser 10 secondes, afin d'éviter le durcissement du bitume qui va être additionné. Selon le type d'installation, la durée totale de malaxage est plus longue et la tendance de production est inférieure à celle de la fabrication de NA dans une centrale ordinaire.

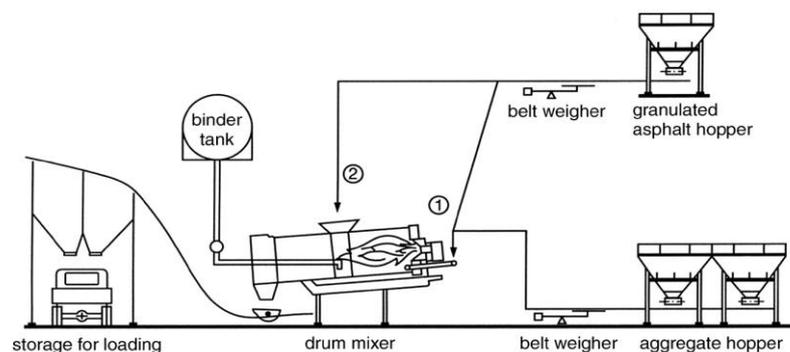


**FigureIV.7. Centrale discontinue avec tambour de chauffage séparé**

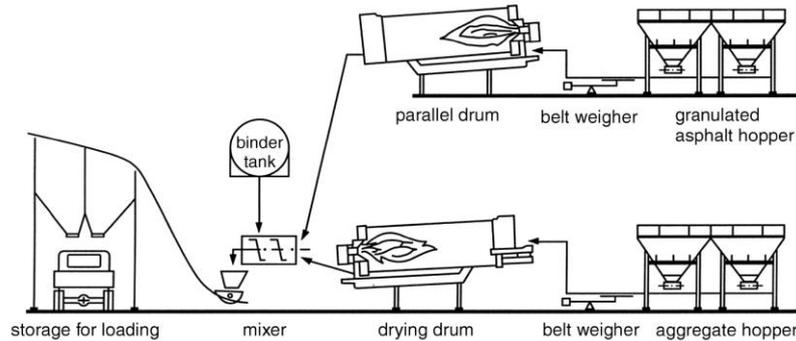
#### **d-Tambours sècheurs-enrobeurs :**

D'une manière générale, le granulat RA est ajouté au milieu du tambour, en dehors de l'influence de l'élément réchauffeur, pour éviter de brûler le bitume contenu dans le granulat RA. De la vapeur se figure, mais elle n'est pas explosive, parce que le flux de granulat RA entrete nu est dans ce cas très uniforme.

Pour ce type de centrales, la quantité maximale de granulat RA à ajouter atteint environ 50 %, de même que dans le cas des centrales discontinues avec tambours de chauffage séparés. Un désagrément des tambours sècheurs-enrobeurs est que les quantités exactes de granulat RA et de matières premières doivent être réglées au niveau des trémies de (pré)dosage. Dans ces cas, il n'y a pas de tamisage ni de pesage des fractions après le séchage. Le mélange a lieu en continu dans la dernière partie du tambour, après le séchage (et il ne se fait pas séparément pour chaque lot). Aussitôt, la production de faibles quantités de différents types de mélanges, et le changement fréquent entre plusieurs types de mélanges, entraînent d'importantes pertes de production et de qualité. Par conséquent, s'il est nécessaire de substituer entre différents types de mélanges. Il n'est pas recommandé d'utiliser des tambours sècheurs-enrobeurs pour produire de l'ARA.



**FigureIV.8. Tambour sécheur-enrobeur: chauffage du RA en même temps que les granulats ; ajout avec les granulats (1) ou au milieu du tambour de séchage (2).**



**FigureIV.9. Chauffage du RA dans un tambour parallèle et ajout du RA dans un mélangeur continu supplémentaire**

### **e-Centrales pour le recyclage complet de RA en enrobés à chaud : [21]**

Seuls les Pays-Bas citent l'utilisation de ce type de centrale. Depuis 1980, trois sortes de centrale permettant de recycler environ 100 % de RA ont été mises au point :

- La centrale « Renofalt » ;
- La centrale de Bitumarin (pour les mélanges d'enrobés utilisés dans les travaux hydrauliques),
- La centrale « MARS ».

### **f-Centrales pour la destruction de goudron du RA et la production d'ARA avec du RA dépollué : [24]**

Une « centrale pilote grandeur nature » a dernièrement été construite aux Pays-Bas. Dans cette centrale, la totalité du liant, et par conséquent la totalité du goudron dans le RA, est intégralement démantelée par un processus thermique. Les agrégats nettoyés résultant sont réutilisés pour produire de l'ARA. Maintenant, des efforts sont déployés pour installer le processus Unité de Conversion Thermique (TCU) dans d'autres centrales d'enrobés à chaud aux Pays-Bas. La capacité totale de ces installations devrait atteindre environ 100.000 tonnes par. De même, d'autres techniques thermiques, basées sur le nettoyage thermique de sol contaminé, sont opérationnelles, et leurs capacités aboutissent jusqu'à 500.000 tonnes par an.

### **VI.10.2. Les Procédures d'approbation pour la production d'ARA :**

La qualité de L'ARA dépend d'un bon équipement et de bonnes procédures Certains pays ont déjà mis en place des normes connexes. Les exigences pour produire du NA et de l'ARA sont mentionnées dans la spécification des Pays-Bas. Pour le RA et l'ARA. Notons que pour les centrales discontinues, avec ou sans tambour de chauffage séparé produisant de l'ARA, des exigences existent pour :

- L'enregistrement de la durée de pré-malaxage pour le granulé RA ;
- Le mesurage et l'enregistrement de la température (maximum 150°C) des matériaux RA quittant le tambour de chauffage séparé ;
- Le pesage séparé du granulat RA ;
- La durée de pré-malaxage du granulat RA et des minéraux chauffés avant que le bitume ne soit additionnée, à moins qu'il ne soit établi qu'une durée plus courte ne soit suffisante.

Pour les tambours sècheurs-enrobeuse produisant de l'ARA sur la courroie de transport centrale :

- Le pesage continu des matières premières est essentiel ;

- Le granulat RA doit être pesé indépendamment ou dosé via une courroie de pesage séparée.

Lorsque la centrale satisfait à toutes les exigences concernant les rigueurs. Elle reçoit un certificat (« Certificat de qualité KOMO pour la production d'enrobés ») lui permettant de produire des enrobés et de l'ARA [25]

### **VI.10.3. La Capacité des centrales pendant la production :**

Le délai supplémentaire nécessaire pour pré-mélanger les granulats RA avec les agrégats neufs, parfois fixé à 10 secondes, peut réduire la capacité de production [21].

### **VI.11. La production du RA :**

#### **VI.11.1. La préparation et stockage de RA :[21]**

Homogénéité et qualité du RA

Les facteurs clés en vue d'obtenir une bonne homogénéité et une bonne qualité de l'ARA sont :

- garder les matériaux différents strictement séparés ;
- homogénéiser tous les matériaux destinés à être recyclés.

Bien entendu, le choix de la méthode préférée dépend largement :

- Des caractéristiques du vieil enrobé disponible ;
- Du type d'ARA à produire ;
- Des possibilités de stockage dans la centrale.

Lorsque des matériaux différents doivent être conservés séparément, il est important d'étudier l'épaisseur et la planéité de la chaussée existante en vieil enrobé. Le fraisage doit être effectué de manière à empêcher que les différents types d'enrobés ne soient mélangés.

Le goudron, le PMB ou les contaminants contenus dans les granulats de RA doivent être stockés séparément. Cette méthode est celle qui est préférée pour collecter du RA s'il faut produire des mélanges spéciaux d'ARA, par exemple pour des couches de liaison ou des couches de roulement.

Dans le cas de grands travaux, par exemple la reconstruction d'autoroutes, il est plus facile de fabriquer du RA avec une composition plus ou moins constante. Dans la pratique, le nombre de mises en tas de RA différents est limité, en particulier à cause de l'emplacement de la centrale d'enrobés et de facteurs économiques (Figure VI.10).



**Figure VI.10. Le stockage des vieux enrobés nécessite de l'espace et des installations supplémentaires**

Pendant de longues périodes de production, la composition de l'ARA peut changer. C'est le producteur qui a la responsabilité de contrôler à la fois le matériau entrant et le matériau sortant, et d'ajuster la production, si nécessaire. En particulier, lorsque les pourcentages de recyclage sont élevés, il est important de contrôler les propriétés et les variations de la composition et de la qualité du RA. Ce contrôle est également très important pour les mélanges destinés aux couches de roulement et aux couches intermédiaires, car leur granulométrie doit être très précise.

Lorsque la composition du RA a changé, il faut répéter la procédure de la formulation du mélange.

Les Pays-Bas signalent que de plus en plus, la granulométrie de la fraction de pierres ( $> 2$  mm, provenant d'échantillons de carotte d'ARA posés et compactés), ne correspond pas aux spécifications. Apparemment, cela tient aux variations, mentionnées ci-dessus, de la composition du granulat RA appliqué dans ces constructions.

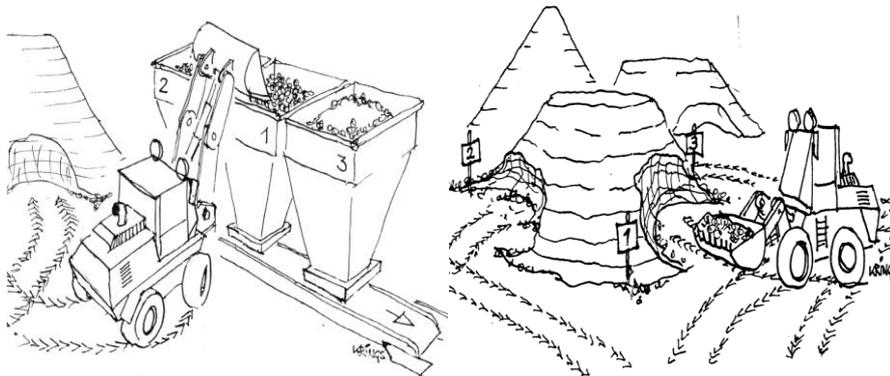
La plupart des pays ne pénalisent pas les producteurs d'enrobés pour ces variations en dehors des spécifications. Ces « erreurs » ont pour seule conséquence que l'entrepreneur est désapprouvé et, exceptionnellement, qu'il paie une amende.

Un strict contrôle de la qualité concernant les propriétés des matières premières, et en particulier du RA, revêt une importance vitale ! L'homogénéité des enrobés récupérés peut être améliorée pendant le stockage ou le traitement par :

- La transplantation (le passage d'un lieu à un autre) pendant le stockage ;
- Le broyage et le mélange ;
- L'ajout de RA dans plus d'un seul silo d'agrégat.

Dans les centrales où des enrobés récupérés ont des compositions différentes et proviennent de différents emplacements, il faut mélanger ces enrobés pour obtenir des propriétés homogènes.

Par conséquent, des livraisons différentes de RA devraient être stockées en couches horizontales dans le tas de stockage. Le matériau sera ensuite enlevé verticalement par un chargeur sur roues à partir d'au moins trois emplacements (côtés) du tas, et il sera dirigé vers un broyeur. S'il n'y a pas de broyeur, les trémies à granulats seront remplies par le chargeur de manière alternée. L'alimentation du mélangeur devra alors être prélevée simultanément dans tous les bacs d'agrégat. Cette méthode entraîne un niveau d'homogénéité raisonnable.



### **VI.11.2. La Protection du RA vis-à-vis aux facteurs climatiques: [21]**

Il est important de protéger le RA stocké contre la pluie, car le RA a tendance à retenir l'humidité. En moyenne, la teneur en humidité du RA atteint 5 %. Par conséquent, le chauffage et le séchage du RA humide absorbe beaucoup d'énergie, et augmentera fortement le coût de l'ARA.

Des températures ambiantes élevées feront coller le RA, le compactage dû aux camions ou aux pelles produira des conglomérats, et la lumière du soleil provoquera le vieillissement et l'oxydation du RA (radiation aux UV). Par mesure de prévention, il est donc recommandé de prévoir un abri.

### **VI.11.3. Le RA à base de bitume modifié par des polymères (PMB):[21]**

Les mélanges formulés de manière empirique ne contiennent pas plus de 10 - 20 % de RA avec PMB, parce que le test pour mesurer les caractéristiques de la viscosité du liant récupéré n'est pas concluant. Dans ces cas, au maximum 20 % du liant calculé pour le mélange ARA pourront être pris en compte en tant que nouveau liant. Cette restriction ne s'applique pas aux mélanges formulés à partir de premiers principes. Ces facteurs devraient être pris en compte lorsqu'on considère le contrôle de la qualité.

Dans des exemples de plus en plus nombreux, du RA avec du PMB est proposé aux laboratoires de centrales d'enrobage, sans que l'on sache s'il contient ou non du PMB. Cela

peut provoquer des problèmes lorsqu'on fait des hypothèses ou on prend des décisions. Comme indiqué ci-dessus, les règles applicables pour déterminer le grade du bitume à ajouter ne sont pas valables pour les PMB.

### **VI.12. Les avantages du recyclage : [26]**

Les privilèges les plus reconnus du recyclage sont dans le domaine environnemental avec la suppression de la mise au rebut des matériaux et la réduction de l'utilisation de ressources naturelles. Tout en cherchant à respecter l'environnement, le recyclage des enrobés doit aussi répondre à des éléments d'exploit technique et de rentabilité économique.

**a. Sur le plan environnemental :** le recyclage des enrobés s'explique par :

- une économie des ressources naturelles : il y a une réduction de l'utilisation de nouveaux matériaux comme les granulats et le bitume. Le recyclage à froid permet de réduire la quantité d'enrobés chauds conventionnels nécessaires lors de réhabilitation de la chaussée;
- une diminution de la quantité de déchets : Avec le nouveau règlement qui sera bientôt en vigueur, il n'y aura plus de possibilité d'ouvrir de site d'enfouissement et les sites actuels devront s'ajuster aux normes sans s'agrandir. Le recyclage des enrobés préserve donc la capacité de mise à décharge des municipalités afin d'y déposer les déchets qui sont plus difficilement recyclables ou réutilisables;
- une diminution des gaz à effet de serre (GES). Que ce soit par procédé à froid ou à chaud, le recyclage des enrobés diminue la quantité de GES émise;
- une meilleure rentabilité énergétique. Lorsque le cycle de vie complet des enrobés est considéré, le recyclage à chaud a une meilleure rentabilité énergétique que la fabrication et la mise en œuvre à partir de matériaux neufs. Quant au recyclage à froid, il consomme cinq fois moins d'énergie lors de l'opération de mise en œuvre routière que les enrobés à chaud conventionnels;
- une économie de transport. Lors de procédé de recyclage en place, il y a une diminution du transport et donc de l'usure et de la sollicitation du réseau adjacent nécessaire lors d'un apport de nouveaux matériaux. Tout récemment, l'utilisation de logiciels éco-comparateurs permet de mettre en évidence plus aisément les avantages des différentes techniques de recyclage existantes et de les comparer avec les techniques d'intervention routière traditionnelles.

**b. Sur le plan technique :** différents avantages sont réalisés selon la technique de recyclage utilisée. Pour le recyclage à chaud, les avantages généralement rencontrés sont les suivants:

- amélioration de la résistance au dérobage
- amélioration à l'essai de tenue à l'eau du mélange : Les mélanges d'enrobés contenant des GBR répondent aux mêmes exigences de performance que les enrobés constitués uniquement de matériaux neufs. Le seuil de recyclage généralement reconnu par les donneurs d'ouvrage est de 20%.

Pour le recyclage à froid en place, qui est une technique permettant uniquement la réhabilitation de chaussée, d'autres avantages techniques peuvent être observés:

- renforcement de la structure de la chaussée
- élimination du patron de fissuration de la chaussée existante
- ralentissement de la remontée de fissure dans le revêtement de surface
- prolongation de la durée de vie de la chaussée.

**VI.13. Conclusion :**

Les enrobés récupéré devrait être recyclé en béton bitumineux de la même qualité que l'original, du point de vue de l'environnement, c'est un cycle optimal de construction.

# Conclusion Générale

## **Conclusion Générale**

Le recyclage des enrobés est profitable autant du point de vue technique, environnemental qu'économique. Non seulement les enrobés sont des matériaux de construction recyclables; ils sont aussi réutilisables dans leur application première, soit en revêtement de chaussée. L'objectif de tout participant routier doit être de recycler de plus en plus et d'augmenter progressivement les taux de recyclât dans les divers mélanges d'enrobés bitumineux que ce soit à chaud ou à froid. Cette nouvelle approche, à savoir le recyclage des bétons bitumineux, permettra de diminuer l'utilisation des ressources naturelles (agrégats...), de l'énergie de fabrication et de mise en œuvre des chaussées souples. Dans la situation actuelle de développement durable et de préservation de l'environnement, les efforts de tous les intervenants doivent poursuivre tout en ayant comme objectif ultime que 100 % des bétons bitumineux conséquences d'une opération de fraisage soient recyclés. Par le présent projet nous avons mis en évidence la faisabilité de recyclage dans notre pays du point de vue technique. Le décollage vers cette technique nécessite une volonté politique et une étude économique pour chaque projet.

## Bibliographie

- 1- Chabrekdehbia mémoire de magistère thème étude du phénomène de l'orniérage des chaussées bitumineuse université mouloud mammertziouezou 2012
- 2- Michel Faure routes EMTPE, Aléas octobre 1997 TOMME 1
- 3- Michel Faure routes EMTPE, Aléas juin 1998 TOMME 2
- 4- Bassem Ali thèse modèle numérique pour comportement mécanique des chaussées application à l'analyse de l'orniérage 2006 univ de Lille
- 5- Ali Bou kari "THESE" étude des défauts de surface des chaussées souple revêtues 1990 école polytechnique de Thiès
- 6- Catalogue des dégradations de surface des chaussées technique et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC) 1998
- 7- NF P98-150
- 8- NF EN 13/08-1
- 9- NF EN 126997-26
- 10- NF P 98-251-1
- 11- NF P 98-253-1
- 12- Cours route "CETE DE L'OUEST" smailHamlat laboratoire d'argers
- 13- Sourseuilluaims M.L landelR.F Ferryj.D the temperature dependence of relaxation mechanisms in amorphous polymers and otherglass. Formingliguide j Amhem soc
- 14- NF EN 12697-24 Mars 2005
- 15- N EN 12697-34
- 16- Recommanation sur l'utilisation Des Bitumes et des enrobés Bitimuhesuri chaud [FASCIULE] 2
- 17- NF EN 536:juill et 1999 Centrales de production de M'élorges bitumineux
- 18- Recommandation sur l'utilisation Des Bitumes et des enrobés Bitimuhesuri chaud [FASCIULE] 3
- 19- TECHNIQUE DE L'ingénieur livre recyclage en centrale des matériaux de chaussées
- 21- Guides pour le recyclage des chaussées comité technique AIPCR C7/8 "chaussées routières"

- 20- Rapport de recyclage des chaussées souples existantes 2001
- 22- Bureau de normalisation du Québec NQ2560-600 Granulats-Matériaux recyclés 2002
- 23- Serfass (JP) Recyclage des enrobés et retraitement en place de chaussées a l'émulsion RGRA n°627 fév1986
- 24- Pavement recycling Guide line for state and local government Publication NO FHWA-SA98-042 Washington dc (USA) 1997 1-2
- 25- Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments. Publication No. FHWA-SA-98-042, Federal Highway Administration, Washington DC (USA), 1997 1-2
- 26- Haddadi S 2007 influence de poudrette de caoutchouc sur compétemment au fluage des enrôlés bitumineuse thèse de doctorat, USTHB, Alger Algérie proteou M&pousct bitumes modifiés par agout de polmères à la résistance à l'orniérage, REVUE Générale Routes et sérdvomes