

UNIVERSITÉ LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

**FACULTÉ DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES
APPLIQUÉES**

DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

**CARACTÉRISATION DES BITUMES UTILISÉS
DANS LA VILLE DE GOMA EN VUE DE LEUR
MEILLEURE UTILISATION**

Par **CHIRHALWIRWA SHINGE Charles**

Travail présenté et défendu en vue de l'obtention du
Diplôme de Bachelor en Sciences de l'Ingénieur

Option : Génie Civil

Directeur : Dr. Ally ALINABIWE

Encadreur : Ir. KOKO KATUMBI Pascal

ANNÉE ACADÉMIQUE 2023 - 2024

Épigraphe

« Le caractère construit l'homme, les critères le maintiennent debout. »

Anonyme

Dédicace

À nos très chers parents **SHINGE BADESI Jean** et **MASIKA MAKASYAHWA Judith** pour le sacrifice qu'ils se sont donnés afin que nous soyons à ce niveau.

CHIRHALWIRWA SHINGE Charles

Remerciements

Notre gratitude en premier lieu, s'adresse à Dieu, Maître des temps et des circonstances, pour ce travail et tous les bienfaits qu'il nous accorde gratuitement.

Nos remerciements s'adressent deuxièmement au Docteur Ingénieur **Ally ALINABIWE**, qui, malgré ses nombreuses responsabilités, a pris le temps de diriger ce travail.

À notre encadreur, l'ingénieur **KOKO KATUMBI Pascal**, pour ses orientations précieuses et son accompagnement constant malgré ses occupations. Ses remarques constructives ont grandement enrichi ce travail.

Nous exprimons également notre profonde gratitude à l'ULPGL/Goma, qui par l'intermédiaire de la faculté des sciences et technologies, de ses autorités et de son personnel académique et administratif, a mis à notre disposition les ressources et l'environnement propices à notre apprentissage tout au long de nos quatre années de formation.

À nos chers parents, **SHINGE BADESI Jean** et **MASIKA MAKASYAHWA Judith**, pour tous les sacrifices consentis durant nos études ainsi qu'à toute la famille pour le soutien moral et les encouragements.

Nos remerciements s'adressent aussi à nos amis et camarades qui, d'une manière ou d'une autre, nous ont soutenu et accompagné dans la réalisation de ce travail.

CHIRHALWIRWA SHINGE Charles

Résumé

Ce travail porte sur la caractérisation des bitumes utilisés dans la ville de Goma en vue d'optimiser leur domaine d'utilisation dans la construction routière locale. Face à un trafic routier intense et des conditions climatiques spécifiques, il est crucial d'évaluer la qualité des matériaux pour assurer la durabilité des infrastructures. L'étude s'est concentrée sur l'analyse des propriétés physico-mécaniques des bitumes, notamment la pénétrabilité, le point de ramollissement, la densité, l'adhésivité à la plaque et la perte de masse au chauffage. Ces paramètres sont essentiels pour déterminer la performance des bitumes dans leur environnement d'utilisation et leur capacité à résister aux contraintes thermiques et mécaniques. Les résultats montrent que les bitumes présentent une pénétrabilité élevée (92,3 et 81,5 dixièmes de millimètre) et un point de ramollissement modéré (51 °C et 50,5 °C), indiquant des matériaux relativement souples et résistants à la chaleur, adaptés aux conditions climatiques modérées de Goma. La densité mesurée (1,08 et 1,02 g/cm³) et la faible perte de masse au chauffage (0,97 % et 0,89 %) témoignent d'une bonne stabilité thermique favorable à la performance des enrobés. Cependant, l'adhésivité à la plaque a été jugée médiocre, ce qui limite la qualité de la liaison entre le bitume et les granulats, compromettant ainsi la durabilité des couches de roulement sous trafic intense. Cette faiblesse souligne la nécessité d'améliorer cette propriété pour garantir la cohésion du mélange bitumineux et prévenir la dégradation prématurée des routes. L'interprétation de ces résultats souligne, bien que les bitumes étudiés soient globalement adaptés à leur domaine d'utilisation dans les couches de roulement et de liaison, leur performance pourrait être significativement améliorée par l'emploi de bitumes modifiés ou l'ajout d'additifs visant à renforcer l'adhésivité. Ce travail met en lumière l'importance d'adapter les caractéristiques des bitumes à leur usage spécifique pour assurer la pérennité des infrastructures routières à Goma.

Mots clés : Caractérisation, bitumes, domaine utilisation, adhésivité, durabilité, routes.

Abstract

This study focuses on the characterization of bitumen used in the city of Goma with the aim of optimizing its application in local road construction. Faced with heavy traffic and specific climatic conditions, it is crucial to assess the quality of materials to ensure the durability of infrastructure. The study concentrated on analyzing the physico-mechanical properties of bitumen, notably penetration, softening point, density, adhesion to plate, and mass loss upon heating. These parameters are essential to determine the performance of bitumen in its usage environment and its ability to withstand thermal and mechanical stresses. The results show that the bitumen samples have high penetration values (92.3 and 81.5 tenths of a millimeter) and moderate softening points (51 °C and 50.5 °C), indicating relatively soft and heat-resistant materials suitable for Goma's moderate climate. The measured density (1.08 and 1.02 g/cm³) and low mass loss upon heating (0.97% and 0.89%) demonstrate good thermal stability favorable to the performance of asphalt mixtures. However, adhesion to the plate was found to be poor, limiting the quality of the bond between bitumen and aggregates, thus compromising the durability of wearing courses under heavy traffic. This weakness highlights the need to improve this property to ensure the cohesion of the bituminous mix and prevent premature road deterioration. The interpretation of these results emphasizes that, although the bitumen studied is generally suited to its domain of use in wearing and binder courses, its performance could be significantly enhanced by using modified bitumen or additives aimed at strengthening adhesion. This work emphasizes the importance of adapting bitumen characteristics to their specific use to ensure the longevity of road infrastructure in Goma.

Keywords: Characterization, bitumen, domain of use, adhesion, durability, roads.

Sommaire

Épigraphe	i
Dédicace.....	ii
Remerciements.....	iii
Résumé.....	iv
Abstract	v
Sommaire	vi
Liste des abréviations.....	ix
Liste des tableaux.....	x
Liste des figures	xi
Introduction générale	1
Chapitre 1 Généralités	4
1.1 Introduction	4
1.2 Généralités sur les routes	4
1.2.1 Définition de la route	4
1.2.2 Classification des routes	4
1.3 La structure d'une chaussée	8
1.3.1 Les différentes couches d'une chaussée	8
1.3.2 Type de chaussées	10
1.3.3 Types de dégradation des chaussées souples	13
1.4 Le bitume et les enrobés bitumineux	18
1.4.1 Introduction.....	18

1.4.2	Les produits noirs.....	18
1.4.3	Propriétés générales des liants hydrocarbonés.....	19
1.4.4	La houille et les goudrons	19
1.4.5	Le bitume	20
1.4.6	Les enrobés bitumineux	25
1.5	Conclusion partielle.....	27
Chapitre 2 Méthodologies.....		28
2.1	Introduction	28
2.2	Nature et origine des matériaux	28
2.2.1	Matériaux utilisés.....	28
2.2.2	Description.....	28
2.2.3	Origine des matériaux	29
2.3	Échantillonnage	29
2.4	Caractérisation des matériaux	29
2.4.1	Essai de pénétration	30
2.4.2	Essai de point de ramollissement.....	33
2.4.3	Essai d'adhésivité à la plaque	35
2.4.4	Essai de densité relative "méthode du pycnomètre"	37
2.4.5	Essai de perte de masse au chauffage	40
2.5	Évaluation du domaine d'utilisation	41
2.5.1	Classification des bitumes selon leur domaine d'utilisation.....	42
2.6	Conclusion partielle.....	44
Chapitre 3 Présentations et interprétations des résultats		45
3.1	Introduction	45
3.2	Caractéristiques des bitumes	45
3.2.1	La pénétrabilité	45
3.2.2	Le point de ramollissement.....	47
3.2.3	L'adhésivité à la plaque	49
3.2.4	La densité relative	50

3.2.5 La perte de masse au chauffage	52
3.3 Conclusion partielle.....	54
Conclusion générale.....	55
Bibliographie.....	57
Annexe A Photos démontrant les résultats de l'essai de pénétrabilité	60
Annexe B Photos démontrant les résultats de l'essai de point de ramollissement	61
Annexe C Photos démontrant les résultats de l'essai de l'adhésivité à la plaque	62
Annexe D Photos démontrant les résultats de l'essai de densité relative.....	63
Annexe E Photos démontrant les résultats de l'essai de perte de masse au chauffage.....	64

Liste des abréviations

AICPR : Association Internationale des Conférenciers et Professionnels de la Route

m : mètre

h : heure

km : kilomètre

Km/h : Kilomètre/heure

μm : micromètre

°C : degré Celsius

mm : millimètre

g : gramme

s : seconde

EN : Norme Européenne

TBA : Température, Bille et Anneaux

ml : millilitre

NF : Norme Française

d : densité bitume

g/cm³ : gramme/centimètre cube

Kg/m³ : kilogramme/mètre cube

ρ_{eau} : masse volumique de l'eau

ρ : masse volumique du bitume

P : perte de masse au chauffage

Liste des tableaux

<i>Tableau 1.1: Vitesses en fonction des catégories de routes.....</i>	<i>7</i>
<i>Tableau 2.1 : classification des bitumes selon la pénétrabilité et TBA</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 3.1 : Essai de pénétration de l'échantillon 1</i>	<i>46</i>
<i>Tableau 3.2 : Essai de pénétration de l'échantillon 2</i>	<i>46</i>
<i>Tableau 3.3 : Essai de point de ramollissement de l'échantillon 1</i>	<i>48</i>
<i>Tableau 3.4 : Essai de point de ramollissement de l'échantillon 2</i>	<i>48</i>
<i>Tableau 3.5 : Résultat synthétique pour les deux échantillons sur l'adhésivité à la plaque ...</i>	<i>49</i>
<i>Tableau 3.6 : Résultat synthétique pour les deux échantillons sur la densité relative</i>	<i>51</i>
<i>Tableau 3.7 : Résultat synthétique pour les deux échantillons sur la perte de masse au chauffage.....</i>	<i>53</i>

Liste des figures

<i>Figure 1.1: Représentation structurale de la chaussée</i>	10
<i>Figure 1.2: Représentation de la structure d'une chaussée souple</i>	11
<i>Figure 1.3: représentation de la structure d'une chaussée bitumineuse épaisse</i>	11
<i>Figure 1.4: Représentation de la structure d'une chaussée semi-rigide</i>	11
<i>Figure 1.5: Représentation d'une chaussée à structure mixte</i>	12
<i>Figure 1.6: Représentation d'une chaussée à structure inverse</i>	12
<i>Figure 1.7: Représentation d'une chaussée en béton de ciment</i>	12
<i>Figure 1.8: Exemple d'un affaissement de rive</i>	13
<i>Figure 1.9: Exemple des déformations d'orniérage</i>	14
<i>Figure 1.10: Exemple d'une déformation du sol support</i>	14
<i>Figure 1.11: Exemple d'une déformation de la couche bitumineuse</i>	14
<i>Figure 1.12 : Exemple d'une fissure transversale</i>	15
<i>Figure 1.13 : Exemple d'une fissure longitudinale</i>	15
<i>Figure 1.14 : Faiénçage moyen sur une chaussée</i>	16
<i>Figure 1.15 : Exemple des fissures diverses sur une chaussée</i>	16
<i>Figure 1.16 : Exemple d'un nid de poule sur une chaussée</i>	17
<i>Figure 1.17 : Exemple d'un plumage sur une chaussée</i>	17
<i>Figure 1.18 : Exemple d'un pelage dans la chaussée</i>	17
<i>Figure 1.19 : Exemple des remontées sur le revêtement bitumineux</i>	18
<i>Figure 1.20 : Séparation du bitume en asphaltènes, résines et huiles</i>	22
<i>Figure 2.1: Les bitumes et les graviers concassés 8/15</i>	29
<i>Figure 2.2 : Principe de l'essai de pénétration</i>	30
<i>Figure 2.3 : Pénétromètre</i>	31
<i>Figure 2.4 : Principe de l'essai du point de ramollissement</i>	33
<i>Figure 2.5 : Le thermomètre, le récipient pour braise-vase cylindrique en verre, les anneaux, le support d'anneaux, et les billes</i>	34

<i>Figure 2.6 : Réchaud</i>	34
<i>Figure 2.7 : La plaque</i>	36
<i>Figure 2.8 : Principe de l'essai de densité</i>	38
<i>Figure 2.9 : Le pycnomètre</i>	38

Introduction générale

En général, le réseau routier de tout pays est l'héritage le plus important de son développement. En effet, la route relie l'intégration de l'économie avec la production, l'importation, l'exportation et la consommation à l'intérieur et à l'extérieur du pays. En outre, il garantit que le lien entre les personnes et la société est d'une importance inestimable car il permet l'établissement d'échanges culturels, sociaux, politiques et administratifs, qui se sont également avérés être l'un des éléments qui favorisent tout développement [1].

Le bitume est un liant hydrocarboné ou liant noir à base d'hydrocarbure. Sa consistance pâteuse ou dure à la température ordinaire et sa capacité à devenir liquide lorsqu'on le chauffe environ entre 120 et 170° lui permettent de se mélanger à chaud avec des granulats et de donner après refroidissement un mélange solide; ce qui fait tout son intérêt en technique routière. Cependant, le bitume est un liant qui est très difficile à utiliser correctement vu la grande complexité d'apprécier ses qualités techniques. [2]

Le bitume étant le liant utilisé lors de la construction des routes dans les couches de roulement nécessite une étude préalable avant son application, c'est l'un des composés noirs et visqueux largement utilisé dans la construction des routes en raison de ses propriétés adhésives et imperméables.

L'étude des caractéristiques des bitumes utilisés dans les couches de roulement des routes de Goma revêt une importance capitale pour garantir la durabilité, la performance et la qualité de ces infrastructures routières tenant compte des enjeux économiques et environnementaux. En effet, les conditions climatiques et la charge de circulation élevée peuvent exercer des contraintes importantes sur les revêtements bitumineux, nécessitant une sélection minutieuse de matériaux.

En RDC, le manque de voie de communication routière, de l'entretien ou de la construction de cette voie est un grand défi pour la circulation routière; ce constat est observé dans la ville de Goma où la population de cette partie voit la dégradation prématurée des couches de roulement,

cet état des routes se fait remarquer par le problème de dégradation des matériaux utilisés dans les routes de Goma. Soucieux de rendre plus durables ces routes, plusieurs paramètres nécessitent une étude pertinente dont primordialement, les caractéristiques des bitumes utilisés.

Pour y parvenir, la question suivante orientera la démarche de la recherche : Dans quelle mesure les propriétés physico-mécaniques des bitumes courants utilisés à Goma sont-elles normatives et correspondent-elles aux exigences de leur domaine d'utilisation pour garantir la durabilité des routes?

La problématique mentionnée ci-haut nous amène à l'hypothèse selon laquelle: Une meilleure adhérence entre le bitume et les granulats conduirait à une performance routière améliorée, réduisant ainsi l'orniérage et la dégradation des surfaces.

Cependant, ce présent travail vise à analyser les propriétés physiques des bitumes utilisés dans la ville de Goma. En comprenant mieux les caractéristiques des bitumes, il sera possible d'optimiser la conception des revêtements routiers et d'assurer une meilleure durabilité des infrastructures de transport dans la ville de Goma.

Cette étude se propose ainsi comme objectifs spécifiques :

- L'analyse au laboratoire des caractéristiques de bitumes utilisés comme liant dans la construction routière de la ville Goma;
- L'évaluation d'une meilleure adhérence entre le bitume et les granulats qui conduit à une performance routière améliorée, réduisant ainsi l'orniérage et la dégradation des surfaces.

L'intérêt porté à ce travail est d'apporter une solution efficace pour une bonne performance, qualité et durabilité lors de l'usage du bitume comme le liant dans les couches de roulement. C'est sous cette optique que ce travail présente un intérêt sur le plan socio-économique et technique.

Pour parvenir aux résultats et les interpréter, nous utiliserons différentes méthodes de recherche, notamment :

- La méthode documentaire pour recueillir les ouvrages et documents nécessaires à notre travail ;
- La méthode expérimentale pour guider nos travaux de laboratoire tout au long de l'exécution de notre étude ;
- Les méthodes statistiques pour évaluer les résultats obtenus et orienter nos conclusions.

Cependant, il sied de signaler que cette étude traitera uniquement les caractéristiques des bitumes courant utilisés dans la ville de Goma.

Le présent travail s'articule autour de trois chapitres hormis l'introduction et la conclusion générale; le premier chapitre traite de la revue de la littérature (dont les généralités sur les routes et les bitumes), le deuxième chapitre porte sur la méthodologie (notamment les essais qu'on aura à effectuer au laboratoire) et le dernier est consacré à la présentation et à l'interprétation des résultats obtenus.

Chapitre 1

Généralités

1.1 Introduction

Dans le présent chapitre, nous allons parler des généralités sur les routes et sur la structure des chaussées. Par la suite, nous allons aborder quelques points tels que le type de chaussées, le bitume et les enrobés bitumineux, les produits noirs et nous allons voir différents types de dégradations qu'on peut observer sur les chaussées souples.

1.2 Généralités sur les routes [3]

Dans cette partie, nous allons donner une définition du mot "route" et faire une classification administrative et par catégorie des routes.

1.2.1 Définition de la route

Parmi les diverses définitions de la route, nous retenons la suivante : « La route est une infrastructure de communication terrestre qui permet le déplacement des biens et des personnes par des véhicules automoteurs. »

De ce fait, la route est à différencier des autres infrastructures de transport des personnes et des biens qui sont notamment la voie ferrée (chemin de fer), la voie fluviale ou maritime et la voie aérienne (aéroport).

1.2.2 Classification des routes

L'infrastructure routière est un ouvrage important et stratégique dans le développement économique d'un pays. Les routes peuvent être classées selon plusieurs critères, la classification peut être propre au pays, régionale ou d'ordre international (actuellement l'AICPR penche sur ce dernier cas pour une uniformité globale des routes du monde).

La classification administrative des routes est basée sur la domanialité du terrain et du point de vue technique, les routes sont classées selon la vitesse de référence ou selon le trafic qu'elles supportent; les routes peuvent être aussi classées selon leurs fonctions ou selon les différentes contraintes environnementales. Certains pays classent les routes selon leurs modes de gestion ou d'exploitation (routes publics, routes privées, ...).

La référence des routes est le plus souvent faite en usage avec les deux principales classifications, qui sont la classification administrative et la classification par catégorie des routes selon la vitesse de référence.

1.2.2.1 Classification administrative

Selon la classification administrative, nous distinguons quatre types des routes :

a) Chemins communaux

Les chemins communaux constituent un maillon important dans le réseau routier, elles permettent la liaison des villages au réseau principal de routes. Elles peuvent s'étendre sur une ou plusieurs communes entretenues par les collectivités locales.

b) Chemins de wilaya

Les chemins de Wilaya ou chemins départementaux relient le réseau de routes communales au réseau national. Ces routes peuvent desservir uniquement la wilaya (le Département) et sont à la charge de celle-ci comme elles peuvent desservir deux wilayas (Départements) avoisinantes.

c) Routes nationales

Les routes nationales sont d'un intérêt commun pour plusieurs wilayas (départements) ou pour le pays entier. Elles constituent des itinéraires inter-wilaya qui supportent un grand trafic. La construction, l'aménagement, l'entretien et la gestion de ces routes sont faits par le budget de l'état.

d) Autoroutes

Les autoroutes sont des routes nationales d'une catégorie spéciale, elles sont constituées de deux chaussées unidirectionnelles séparées par un terre-plein central, ne comportant aucun passage ou

carrefour à niveau. Les autoroutes sont réservées à la circulation mécanique rapide et ne sont accessibles qu'à des points spécialement aménagés. Les autoroutes sont réalisées, aménagées, entretenues et gérées le plus souvent sur des capitaux privés ou des groupes d'investissement. Les autoroutes offrent : $\frac{3}{4}$ d'une grande réserve de capacité, $\frac{3}{4}$ des meilleures conditions de circulation et $\frac{3}{4}$ d'une sécurité maximale pour les usagers.

1.2.2.2 Classification par catégories de routes

Selon la classification par catégorie, nous distinguons cinq types routes.

a) Routes exceptionnelles

Ce sont des routes avec deux chaussées unidirectionnelles séparées, on admet que leurs tracés comportent quelques points de croisement plan.

b) Routes de I^{ère} catégorie

Ces routes correspondent aux routes de grand trafic dont le tracé est sur un terrain facile et peu accidenté avec quelques agglomérations et croisements.

c) Routes de II^{ème} catégorie

Ces routes correspondent aux routes supportant un trafic moyen dans un tracé développé dans un terrain vallonné, sortant du cadre de la première catégorie.

d) Routes de III^{ème} catégorie

Ce sont des routes qui supportent un trafic faible et dont le tracé correspondant à une section transversale difficile, dans un terrain avec un relief accidenté.

e) Routes de IV^{ème} catégorie

Ces routes sont tracées dans des sections très difficiles, où leurs reliefs ne permettent pas de passer ou de réaliser des routes de catégories supérieures. Le tableau 1.1 présente les catégories de route en fonction de leur vitesse.

Tableau 1.1: Vitesses en fonction des catégories de routes

Catégories	Exceptionnelles	I ^{ère} catégorie	II ^{ème} catégorie	III ^{ème} catégorie	IV ^{ème} catégorie
Vitesse (km/h)	120	100	80	60	40

1.2.2.3 Classification des routes en RDC

En RDC, les routes sont classifiées en deux catégories principales : les routes d'intérêt général et les routes d'intérêt local. Les routes d'intérêt général sont ensuite subdivisées en routes nationales, routes provinciales prioritaires et routes provinciales secondaires.

a) Routes d'intérêt général

- Routes nationales

Elles sont sous la responsabilité de l'État et constituent le réseau routier principal, reliant les grandes villes et régions.

- Routes provinciales prioritaires

Elles sont sous la responsabilité des provinces et sont importantes pour le développement régional.

- Routes provinciales secondaires

Elles sont également sous la responsabilité des provinces et sont moins importantes que les routes prioritaires, mais elles permettent de relier les zones rurales.

b) Routes d'intérêt local

Ce sont les routes qui ne sont pas classées comme routes d'intérêt général et qui sont gérées par les collectivités locales.

1.3 La structure d'une chaussée [1]

La compréhension de la chaussée peut s'établir selon que l'on réfléchisse suivant son comportement géométrique ou sa composition structurale. Du point de vue géométrique, la chaussée est la partie de la route sur laquelle circulent les véhicules.

Du point de vue structurale, la chaussée est l'ensemble formé des couches de structure d'une route, elle comprend de bas en haut : La plate-forme support de la chaussée (sol support et couche de forme), les couches d'assises (couches de fondation et de base) et les couches de surface (couches de liaison et de roulement).

1.3.1 Les différentes couches d'une chaussée

Les différentes couches d'une chaussée sont :

1.3.1.1 Les couches de surface

Ces couches comprennent deux niveaux distincts dont :

a) La couche de roulement

C'est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat. On lui demande des qualités d'usage précises à savoir : une forte adhérence, une bonne dérivabilité, et une réduction du bruit de roulement des véhicules. Selon les besoins, on utilise soit la technique des enrobés épais, soit celle des enrobés minces ou bien celle des enrobés très minces voire ultra minces.

b) La couche de liaison

L'apport structurel de cette couche est secondaire (sauf les chaussées à assise granulaire dont la couche de surface est la seule couche liée), elle est tributaire de la pérennité de la chaussée. Le choix de la couche de surface doit résulter de la prise en considération de plusieurs objectifs tels que :

- La sécurité et le confort des 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.

1.3.1.2 Les couches d'assise

Les couches d'assise comprennent :

a) Couche de base

C'est la couche située sous la couche de surface assurant une protection thermique de la plateforme (couche de forme) et assure une capacité portante du revêtement. Elle est destinée à répartir les efforts dus aux charges verticales vers les couches inférieures.

b) Couche de fondation

C'est la couche située sous la couche de base, destinée à répartir les efforts dus aux charges verticales sur le sol de fondation et à former le support du revêtement. Elle assure ensemble avec la couche de base la protection thermique de la plate-forme.

1.3.1.3 La plate-forme support

Elle est constituée de :

a) La couche de forme

Elle est constituée de matériaux sélectionnés, de matériaux rapportés (remblai) ou réalisée par un traitement spécial destiné à améliorer les caractéristiques du terrain. Elle assure la protection du sol support et contribue à l'homogénéisation des caractéristiques portantes.

Remarque : lorsque le sol d'infrastructure n'a pas les qualités requises de portance, on y appose une couche de forme.

b) Le fond de forme (sol support)

C'est l'ensemble des matériaux en place, existant avant les terrassements ou à défaut le déblai, qui est l'ensemble des matériaux en place obtenu après excavation.

La figure 1.1 illustre la représentation structurale d'une chaussée

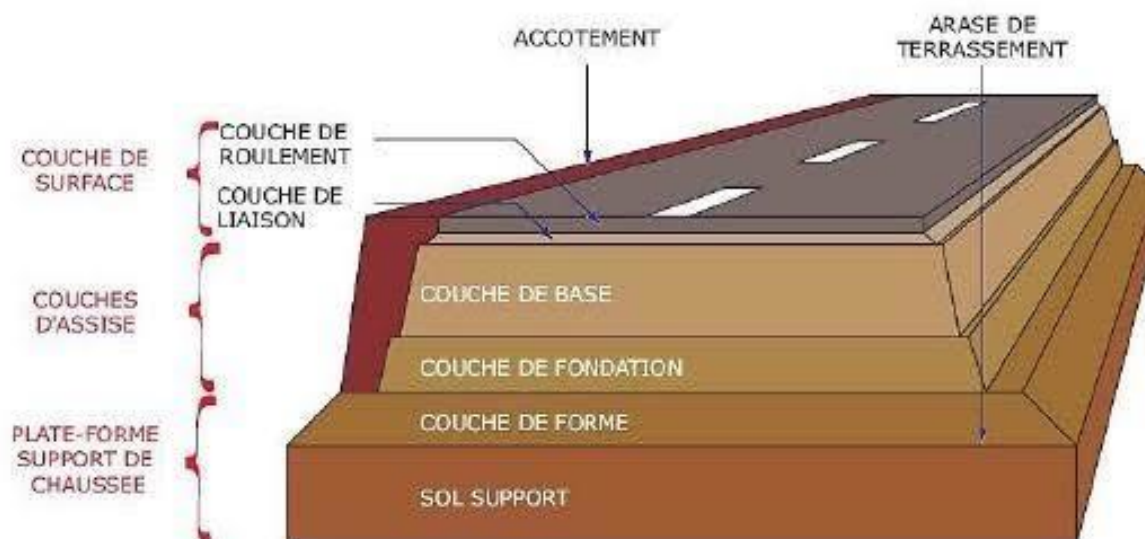


Figure 1.1: Représentation structurale de la chaussée [3]

1.3.2 Type de chaussées [4]

Le réseau routier est caractérisé par une grande diversité de structures de chaussées que l'on peut regrouper en six grandes familles.

1.3.2.1 Les chaussées souples

Elles sont constituées d'une couche de fondation en grave non traitée et d'une couche de base bitumineuse d'épaisseur inférieure à 15 cm. La couche de surface est constituée d'une faible épaisseur de matériaux bitumineux parfois réduite à un simple enduit. La figure 1.2 présente la structure d'une chaussée souple.

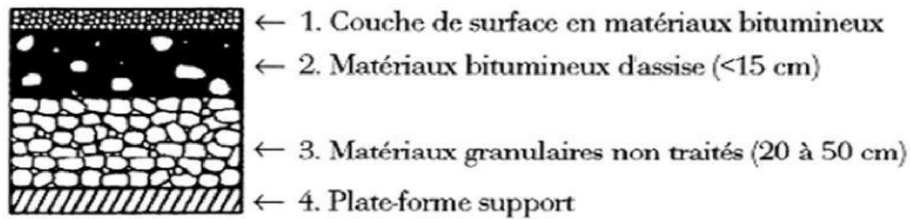


Figure 1.2: Représentation de la structure d'une chaussée souple [5]

1.3.2.2 Les chaussées bitumineuses épaisses

Elles sont constituées de matériaux bitumineux en assise (couches de base et fondation) d'épaisseur totale pouvant aller jusqu'à 40 cm et sont recouvertes d'une couche de surface bitumineuse. La figure 1.3 présente la structure d'une chaussée bitumineuse épaisse.

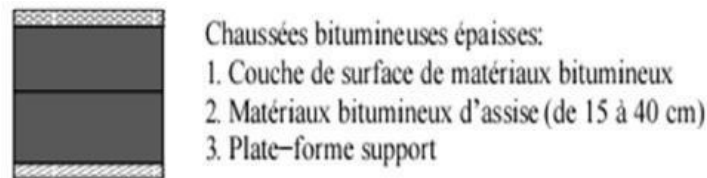


Figure 1.3: représentation de la structure d'une chaussée bitumineuse épaisse [5]

1.3.2.3 Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques ou chaussées semi-rigides

Elles comportent sous une couche de surface bitumineuse, des couches de base et de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (grave ciment, grave laitier, grave cendres volantes). L'assise a une épaisseur totale comprise entre 20 à 50 cm. La figure 1.4 représente la structure d'une chaussée semi-rigide.

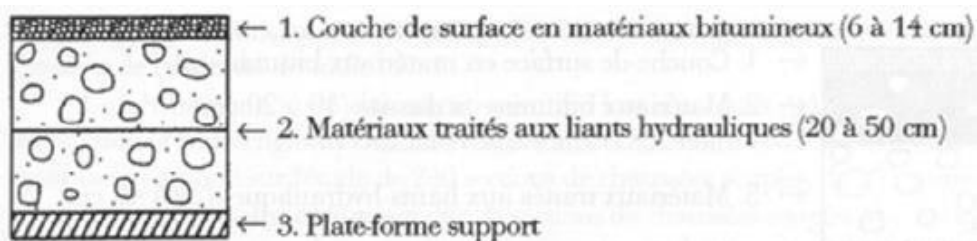


Figure 1.4: Représentation de la structure d'une chaussée semi-rigide [5]

1.3.2.4 Les chaussées à structure mixte

Elles présentent une couche de surface et une couche de base (de 10 à 20 cm) en matériaux bitumineux sur une couche de fondation (de 20 à 40 cm) traitée aux liants hydrauliques. La figure 1.5 présente la structure d'une chaussée à structure mixte.

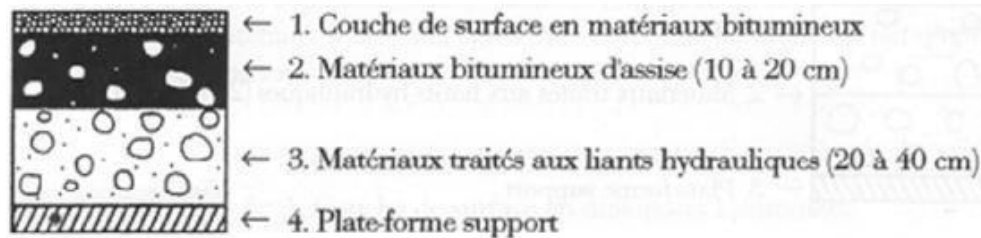


Figure 1.5: Représentation d'une chaussée à structure mixte [5]

1.3.2.5 Les chaussées à structures inverse

Elles sont des chaussées à structure mixte dans lesquelles une couche de grave non traitée vient s'intercaler entre les couches bitumineuses et hydraulique. La figure 1.6 présente la structure d'une chaussée à structure inverse.

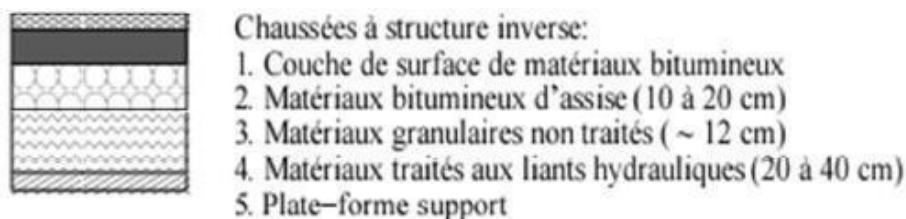


Figure 1.6: Représentation d'une chaussée à structure inverse [5]

1.3.2.6 Les chaussées en béton de ciment

Elles sont constituées par une couche de fondation en grave ciment (15 cm), surmontée par une dalle de béton de 25 cm d'épaisseur. Des joints transversaux et longitudinaux sont réalisés tous les 4 à 5 m pour éviter une fissuration anarchique du béton. La figure 1.7 présente la structure d'une chaussée en béton de ciment.

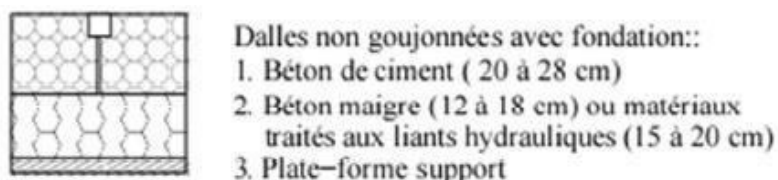


Figure 1.7: Représentation d'une chaussée en béton de ciment [5]

1.3.3 Types de dégradation des chaussées souples

La dégradation de la chaussée est définie par toute anomalie observée sur la chaussée; au niveau de la surface ou à n'importe quel niveau de la structure, à cet effet les dégradations connues sont classées en quatre catégories principales :

1.3.3.1 Déformations

Ce sont des dégradations qui reviennent à un défaut profond dans la structure de la chaussée, qui conduisent à des phénomènes irréversibles visibles en couche de roulement, causés en première phase par: l'eau infiltrée et mal drainée, la remontée par capillarité, ou le dégel engendrant le décollement entre les couches suite au gonflement, qui mènent à une influence sur le sol support par diminution de sa portance. En deuxième phase, sous l'effet des actions externes telles que l'environnement et le trafic, ces déformations deviennent visibles en surface [6]. On peut distinguer

- La flache: c'est un tassement de forme ovale, positionné au milieu de la chaussée.
- L'affaissement de rive: il s'agit d'un tassement en forme de cuvette avec un bourrelet, se retrouvant en bordure de la chaussée. La figure 1.8 présente un exemple d'un affaissement de rive



Figure 1.8: Exemple d'un affaissement de rive [5]

- L'orniérage: c'est le tassement le plus connu par son influence sur la circulation routière, il apparaît longitudinalement sur la bande de roulement, et se produit surtout sur les chaussées à fort trafic. Ce type de déformation permanent est considéré faible si sa profondeur est inférieure à 10 mm, si elle dépasse 20 mm l'orniérage est majeure [7]. La figure 1.9 présente un exemple d'orniérage.



Figure 1.9: Exemple des déformations d'orniérage [5]

Deux types d'orniérages peuvent être observés sur la coupe d'une chaussée dégradée dont :

- Orniérage du sol support: lorsque la charge verticale appliquée par le trafic provoque une déformation permanente traverse la couche bitumineuse et atteint le sol support qui n'est pas assez stable. La figure 1.10 présente un exemple d'une déformation du sol support.

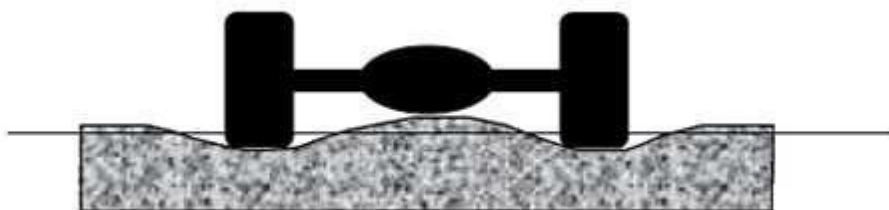


Figure 1.10: Exemple d'une déformation du sol support [5]

- Orniérage de la couche bitumineuse: c'est une déformation qui concerne uniquement la couche bitumineuse. La figure 1.11 présente un exemple d'une déformation de la couche bitumineuse.

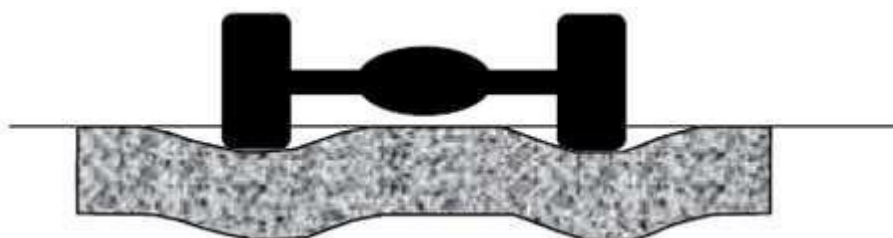


Figure 1.11: Exemple d'une déformation de la couche bitumineuse [5]

1.3.3.2 Les fissures

Ce sont des déformations irréversibles, leur apparition sur la chaussée implique une auscultation et des précautions pour éviter leur propagation et évolution dans la chaussée. La cause revient au vieillissement, ou endommagement par fatigue des enrobés bitumineux, elles sont considérées faibles si l'ouverture est moins de 5mm, et elles sont majeures si cette valeur atteint 20mm [8]. Les fissures sont classées selon leur forme et leur sens, on distingue:

- Les fissures transversales: elles sont dans le sens perpendiculaire à l'axe de la route, elles sont isolées ou regroupées sur toute la largeur de la chaussée. La cause revient aux phénomènes de retrait thermique ou la prise qui créent des fissures, remontantes à la surface [9]. Ce type se produit sur les chaussées: mixte, inverse, et bitumineuse épaisse. La figure 1.12 montre un exemple d'une fissure transversale.



Figure 1.12 : Exemple d'une fissure transversale [5]

- Les fissures longitudinales: elles sont dans le sens parallèle à l'axe de la route, elles se trouvent sous le passage de pneumatique, ce type est observé dans les chaussées: mixte, inverse, souple, bitumineuse épaisse. Ces fissures sont initiales ou développées après propagation [10]. La figure 1.13 présente un exemple d'une fissure longitudinale.



Figure 1.13 : Exemple d'une fissure longitudinale [5]

- Les fissures obliques: ce sont des fissures qui forment un angle de 30° ou 60° avec l'axe longitudinal de la route et sont présentes dans toutes les catégories de la chaussée. Peuvent être causées par les contraintes de traction obliques.

- Le faïençage: c'est l'ensemble des fissures rapprochées, croisées qui forment un maillage de dimensions différentes sur la bande de roulement, il peut se présenter en mailles serrées, moyennes ou larges. La figure 1.14 illustre un exemple d'un maillage sur une chaussée.



Figure 1.14 : Faïençage moyen sur une chaussée [5]

- Les fissures diverses: Elles apparaissent en désordre sur la couche de roulement sous différentes directions et différentes formes et dans tout type de chaussée. La figure 1.15 présente un exemple des fissures diverses sur une chaussée.



Figure 1.15 : Exemple des fissures diverses sur une chaussée [5]

1.3.3.3 L'arrachement:

Ce type de dégradation se produit de trois façons distinctes:

- Les nids de poule: ce sont les cavités produites par la dispersion des matériaux bitumineux dans la couche de roulement de la chaussée. La figure 1.16 présente un exemple d'un nid de poule sur

sur une chaussée.



Figure 1.16 : Exemple d'un nid de poule sur une chaussée [5]

- Le plumage: il s'agit des gravions qui s'arrachent de l'enduit superficiel de la chaussée. La figure 1.17 présente un exemple d'un plumage sur une chaussée.



Figure 1.17 : Exemple d'un plumage sur une chaussée [5]

- Le pelage: il s'agit des plaques arrachées entièrement de la couche en béton bitumineux. La figure 1.18 présente un exemple d'un pelage sur une chaussée.



Figure 1.18 : Exemple d'un pelage dans la chaussée [5]

1.3.3.4 Les remontées

Appeler aussi ressuage, ce phénomène concerne le bitume qui remonte en surface. Il se produit si la chaussée est sous charge importante dans des conditions de températures élevées. La figure 1.19 présente un exemple des remontées sur le revêtement bitumineux.



Figure 1.19 : Exemple des remontées sur le revêtement bitumineux [5]

1.4 Le bitume et les enrobés bitumineux

1.4.1 Introduction

Les bitumes et les enrobés bitumineux sont des composants clés de l'industrie de la construction routière et des infrastructures. Ces mélanges complexes sont utilisés pour construire et maintenir des surfaces routières, autoroutières, aéroportuaires, et d'autres infrastructures de transport, ainsi pour stimuler l'innovation dans l'ingénierie [5].

1.4.2 Les produits noirs

L'exploration des produits à base d'hydrogène comme source d'énergie propre et renouvelable augmente, comme les piles à combustible pour la production de l'électricité en évitant les émissions de gaz à serre [11]. Les produits noirs contenant l'hydrogène et le carbone représentent une catégorie importante de matériaux utilisée dans diverses applications, le carbone noir ou un matériau carboné est composé des particules de carbone de dimension nanométrique, il est utilisé

industriellement pour fabriquer les pneus, les peintures, et est largement utilisé dans le renforcement des polymères [12].

La fonctionnalité de l'hydrogène et les nanomatériaux de carbone donnent des composés hybrides aux propriétés uniques, qui s'appellent hydrocarbures, et qui ont diverses exploitations dans différents domaines comme exemple le stockage d'énergie; Il existe deux types d'hydrocarbures naturels et pyrogènes [12].

1.4.3 Propriétés générales des liants hydrocarbonés

En général, ces substances se révèlent excessivement visqueuses dans leur forme naturelle, rendant impossible leur utilisation directe à des fins spécifiques. Ainsi, il est nécessaire de réduire leur viscosités ou de les rendre plus fluides en recourant à divers procédés tels que le chauffage, la dissolution dans des solvants volatils, ou encore la formation des émulsions dans l'eau [13]. Il est impératif que ces traitements ne modifient en aucun cas les caractéristiques fondamentales, qui sont :

a) La cohésion

Il s'agit de l'aptitude à la déformation dans toutes les directions sans avoir des fissures ou être arraché.

b) La viscosité

Il s'agit de la résistance interne qu'un liquide oppose à tout changement de forme ou de déformation.

c) L'adhésion

C'est une caractéristique spécifique du liant, qui est celle de se coller aux granulats minéraux.

1.4.4 La houille et les goudrons

La houille et les goudrons sont issus de diverses variétés de charbons gras distillés dans un environnement clos et non oxydant. Ce processus génère un produit dérivé essentiel, le goudron brut de la houille. Lorsque le goudron est distillé pour extraire les huiles, il laisse des résidus visqueux nommés brais de houille. Ces derniers peuvent être assouplis par les huiles qu'il contient

ou par celles rajoutées. Il sert à la confection des enrobés goudronneux, souvent appelés "brai mou", il peut également être employé pour la production de goudrons connus qui sont largement employés dans l'industrie routière pour le revêtement superficiel et l'imprégnation des surfaces. À l'aide de processus de distillation du goudron brut généralement effectué à des températures dépassant les 1000°C (environ 1100°C) [14].

1.4.5 Le bitume

1.4.5.1 Origine des bitumes

Ces matériaux proviennent soit de sources naturelles (les Bermudes et de la Trinité), où ils sont fréquemment associés à des fillers fortement imprégnés (par exemple le bitume de Trinité, composé de 56% de bitume très pur et 44% de filler), soit d'origine artificielle, issue de la distillation du pétrole brut. Ainsi, on peut distinguer différentes catégories de sources pour les bitumes [15] :

a) L'asphalte

Il s'agit d'un matériau naturel formé à partir d'une roche calcaire contenant une proportion significative d'hydrocarbures lourds, atteignant parfois jusqu'à 20%. Il est connu que l'asphalte naturel est intégré dans la conception des revêtements bitumineux, ou employé en tant qu'additif dans les mélanges d'enrobés, fournissant du liant et des particules fines [16].

b) Les bitumes purs

Ils sont produits à l'aide de processus de raffinage du pétrole brut sans aucune addition. La consistance du bitume est variable en fonction de processus de fabrication. Le choix du type de bitume approprié dépend de type de projet et des conditions climatiques [17]. Ils sont ordonnés en plusieurs classes, de plus dur au plus mous: 20/30, 40/50, 60/70, etc.

c) Fabrication des bitumes

Les bitumes sont découlés du processus de distillation du pétrole brut, où les huiles utilisées comme solvants sont distillées ou évaporées [14]. Le bitume est fabriqué selon divers procédés [15] :

- La distillation: est un processus réalisé dans les raffineries et sert à la séparation des fractions légères des fractions lourdes du pétrole brut (comme le gaz, les différents types d'essences, etc.). Par la suite, les fractions légères sont soumises à une distillation sous vide pour produire des carburants, des huiles et des bitumes. Cette distillation directe de bruts s'effectue au sein d'une unité spécifique de la raffinerie; sous atmosphère et sous vide.

- Le soufflage: il s'agit des bitumes qui sont spécifiquement destinés à des applications industrielles. Après la distillation sous vide, l'air est injecté dans le résidu sous températures élevées (environ 280 °C). C'est pour cela qu'ils sont appelés bitumes oxydés ou également bitume soufflé, ce mode a pour but d'améliorer les caractéristiques du bitume en les optimisant.

- Le désalphaltage: ce procédé est employé lorsqu'il y a une concentration excessive de fraction lubrifiante dans les résidus sous vide. Il consiste à faire passer un courant progressif de solvant à travers ces résidus. La différence de solubilité entre le solvant utilisé et les fractions bitumineuses permet d'obtenir le type de bitume souhaité.

- Le craquage: ce mode cible la transformation des fractions lourdes composées de longues chaînes d'hydrocarbures en fraction plus légères, en utilisant un catalyseur. À une pression atmosphérique, et à des températures variables de 450 à 550 °C, les grandes molécules hydrocarbonées subissent une fragmentation pour produire d'autres plus petites avec un indice d'octane élevé.

1.4.5.2 La composition chimique des bitumes

Dans la composition du bitume, les atomes ont un pourcentage élevé en hydrogène (8-12%) et très élevé en carbone (80 - 87%), un faible pourcentage des hétéroatomes tels que : l'azote (0 - 1.5 %), l'oxygène (0.5 - 1.5 %) et le soufre (1 - 9 %). Des traces de métaux (vanadium, nickel) ont également été détectées [18].

La séparation du bitume par solvant permet de séparer les bitumes en asphaltènes et en maltènes: les asphaltènes représentent 10 à 30% des bitumes, ils constituent la partie insoluble des bitumes dans les solvants de type n-alcane et se présentent sous la forme d'un solide dur friable, brun-noir qui contribue largement à la couleur noire du bitume. Les maltènes, partie soluble correspondent à l'association des résines et des huiles ; les résines ont un rôle essentiel vis-à-vis la stabilité

colloïdale du bitume, les huiles représentent 40% à 60% du bitume [13]. La figure 1.20 présente le schéma de séparation du bitume en asphaltènes, résines et huiles.

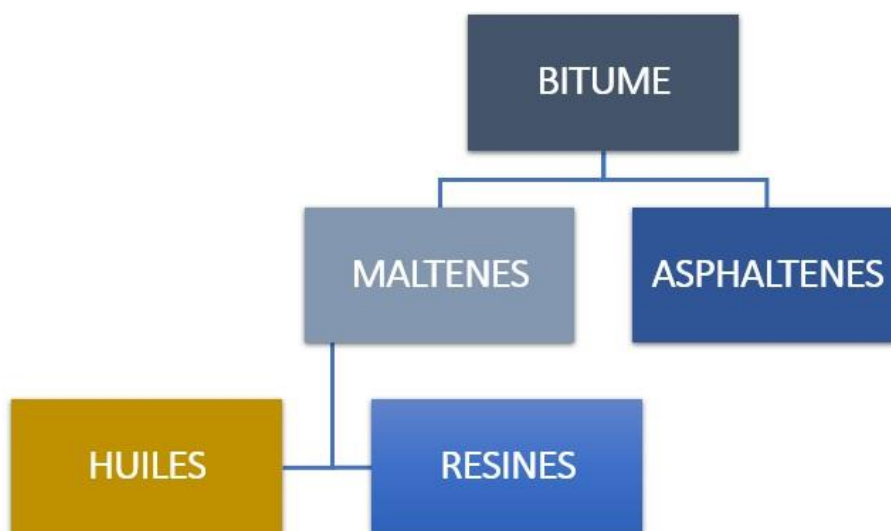


Figure 1.20 : Séparation du bitume en asphaltènes, résines et huiles [15]

1.4.5.3 Comportement des bitumes

Le comportement viscoélastique du bitume est lié principalement à la température. A basse température (à des fréquences élevées), il se comporte comme un solide élastique, ce qui signifie qu'il est cassant, en revanche, à haute température (à des fréquences faibles), il se comporte comme un fluide visqueux. Le bitume se comporte comme un matériau flexible à température ambiante, avec une densité d'environ 1 [12]. Le bitume est conventionnel, s'il répond à plusieurs critères rhéologiques essentiels; il doit être capable de [19] :

- être manipulé à des températures d'application d'environ 160 °C,
- devenir mou à basses températures, afin d'éviter le phénomène de fatigue par la relaxation des contraintes,
- devenir rigide à des températures élevées afin de maintenir la structure granulaire.

1.4.5.4 Relations entre composition chimique et rhéologie [20]

Les propriétés rhéologiques d'un bitume dépendent de façon importante de sa teneur en asphaltènes et de la masse moléculaire de ses molécules. A température constante, la viscosité du bitume s'accroît lorsque la concentration en asphaltènes augmente dans une même matrice maltènes. De plus, l'accroissement en viscosité est significativement plus important que ce qui serait attendu si les asphaltènes étaient sphériques. En fait, les asphaltènes peuvent interagir entre eux ainsi qu'avec le milieu solvato. Des études conduites à l'aide de la cryofracture suivie d'une observation au microscope électronique font apparaître la propension des asphaltènes à se rassembler en feuillets. Lorsque la température augmente, la viscosité diminue en même temps que les associations formées disparaissent. Inversement, lorsque la température décroît, les interactions se produisent et le bitume présente un caractère de plus en plus non-newtonien. Lorsque le bitume est soumis à des efforts de cisaillement, ces associations se déforment ou se défont d'une façon qui n'est pas décrite convenablement selon les concepts newtoniens classiques. Ainsi, aux températures ambiantes et intermédiaires, on conçoit que la rhéologie des bitumes est dominée par le degré d'association des asphaltènes et par la proportion relative des autres composants dans le système afin de stabiliser ces associations. En maintenant constante la teneur en asphaltènes dans le bitume et en faisant varier les autres constituants, on constate que :

- L'accroissement de la teneur en aromatiques, pour un rapport maintenu constant de saturés sur résines, a peu d'effet sur la rhéologie,
- L'accroissement de la teneur en saturés, pour un rapport résines sur aromatiques maintenu constant, ramollit le bitume,
- L'addition de résines durcit le bitume, accroît la viscosité mais réduit l'indice de pénétration et la susceptibilité au cisaillement.

1.4.5.5 Types du bitume [13]

On distingue différents types de bitume dont :

a) Les bitumes purs

Ils sont obtenus par raffinage de bruts pétroliers et ne comportent aucun ajout. D'après leur mode de fabrication, on peut obtenir des bitumes dont la consistance est variable.

Les conditions climatiques et le type de projet déterminent le choix du type approprié.

b) Les cut-backs

Ce sont des bitumes fluidifiés obtenus par un mélange de bitume pur soit avec des fractions légères de distillation du pétrole telles que le kérosène, soit avec des huiles légères provenant de la distillation de la houille afin de réduire leur viscosité. À leur exposition aux conditions atmosphériques, les solvants s'évaporent et laissent le bitume semi dur remplir sa fonction.

On utilise les cut-backs pour des enrobés pour couches de scellement et couches d'accrochage. On distingue ainsi :

- Les cut-backs à prise rapide : Cut-backs composés d'un ciment bitumineux et d'un diluant de haute volatilité comme l'huile de naphte ou de gazoline.
- Les cut-backs à prise moyenne : Cut-backs composés d'un ciment bitumineux et d'un diluant de volatilité moyenne comme le kérosène.
- Les cut-backs à prise lente : Cut-backs composés d'un ciment bitumineux et d'huiles de volatilité lente.

c) Les bitumes fluxés

Ce sont des bitumes purs dont on a diminué la consistance par incorporation de produits provenant de la distillation du pétrole pour au moins cinquante pour cent des ajouts, et de la distillation de goudron de houille.

d) Les bitumes composés

Ce sont des mélanges comportant au moins cinquante pourcent de bitume pur. On utilise comme additifs du brai de houille ou du goudron de houille.

e) Les bitumes modifiés

Ce sont des bitumes composés avec ajout de substances, le plus souvent macromoléculaires autres que les fines minérales ou additifs d'adhésivité.

f) Les émulsions de bitume

Les émulsions de bitume sont des dispersions de fines particules de bitume dans l'eau au moyen généralement d'un agent émulsif qui est un type de savon résineux qui stabilise le produit, l'une des particularités des émulsions est qu'ils éliminent les dangers d'incendie et l'effet toxique; ce qui n'est pas le cas pour les cut-backs. On distingue également plusieurs types d'émulsions suivant la teneur en agent émulsif : les émulsions à prise rapide, les émulsions à prise moyenne et les émulsions à prise lente.

1.4.6 Les enrobés bitumineux [21]

L'enrobé bitumineux est un mélange, dans une proportion donnée, de granulats et d'un liant hydrocarboné, en général de nature bitumineuse. Grâce à leur souplesse, résistance aux chocs, facilité de construction sans joints de dilatation, ni de retrait, effet bénéfique sur la pérennité des structures bitumineuses, les enrobés bitumineux ont, depuis plusieurs années, fait objet de nombreuses applications (routes, noyaux de barrages, chaussées aéronautiques, protection de digues, étanchéités de protection des barrages et bassins, ...).

1.4.6.1 Définition

L'enrobé bitumineux est un mélange des granulats minéraux et de liant hydrocarboné (bitume pur) dosé dans des proportions convenables. C'est aussi un corps hétérogène auquel le bitume confère un caractère visqueux, alors que sa partie minérale est responsable de sa résistance. Un enrobé bitumineux est défini comme un mélange de liant bitumineux (5 à 7% en masse), d'agrégats et de fines (passant à $80\mu\text{m}$).

L'obtention des enrobés par mélange des granulats et du bitume fait appel à des propriétés bien spécifiques aux liants hydrocarbonés en général et donc au bitume en particulier:

- Un pouvoir d'adhésion aux granulats,
- Une consistance variable avec la température.

Dans leur domaine d'utilisation, les enrobés présentent des caractéristiques mécaniques variables selon leur sollicitation par le climat et le trafic routier.

1.4.6.2 Sollicitation des couches en enrobés bitumineux

Les principales sollicitations auxquelles sont soumises les structures routières sont liées aux contraintes imposées par le passage des véhicules (effet de trafic) et aux effets créés par le changement climatique, principalement en raison des variations de température (effets thermiques).

a) Effet du trafic

Soulignons qu'en raison des propriétés particulières apportées par le bitume, les enrobés bitumineux ont un comportement fortement dépendant de la vitesse du chargement et également de la température. Il est clair que l'hypothèse d'un comportement élastique correspond à une approximation parfois non justifiée. En particulier, les effets des non-linéarités et des irréversibilités s'accroissent avec le nombre de cycles qui peut atteindre plusieurs millions dans la vie d'une chaussée.

En outre, en termes d'adhérence, les tractions répétées à la base des couches, sous l'effet du passage des véhicules et les conditions climatiques, créent un polissage des agrégats de la couche de surface. Ceci conduit généralement à une perte d'adhérence et une chute de frottement ce qui risque la sécurité des usagers.

b) Effet de la température

La température a deux effets mécaniques principaux :

- Le changement de la rigidité (module) du matériau et la création des contraintes et déformations au sein du matériau en raison de dilatation et contraction thermiques.
- La variation des températures saisonnières et les conditions climatiques extérieures influencent sur le coefficient de frottement au niveau de la couche de roulement et contribuent au vieillissement de l'enrobé.

Le premier effet, en général, est caractérisé par la dépendance du module de rigidité vis-à-vis de la température (thermo-susceptibilité).

Le deuxième effet est particulièrement néfaste, lorsque les températures très basses sont appliquées (verglas), et lorsqu'on a des gradients thermiques importants. Et même pour des températures très élevées, et à cause de la résilience du caoutchouc du pneu de roulement, le contact pneu-sol est nettement dégradé.

1.5 Conclusion partielle

Dans ce chapitre, il a été question de passer à la revue de la littérature de ce présent travail. Pour cela une présentation des généralités sur les routes nous menant aux notions de la structure d'une chaussée était d'une importance capitale. L'utilisation du bitume dans le domaine du génie civil précisément dans les infrastructures routières apporte de grands avantages sur les plans techniques qu'environnementaux. C'est dans cette optique que nous avons eu à étayer quelques détails sur le bitume pour mieux préparer l'étude des caractéristiques de ce dernier.

Chapitre 2

Méthodologies

2.1 Introduction

Conformément à la description de l'organisation du travail mentionnée dans l'introduction générale, le présent chapitre traite de la présentation des matériaux utilisés et la détermination des certaines caractéristiques de bitumes par une série d'essais. Enfin la présentation du mode opératoire de chaque essai effectué au laboratoire de Génie Civil de la Faculté de Sciences et Technologies Appliquées de l'ULPGL/Goma.

2.2 Nature et origine des matériaux

2.2.1 Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés pour l'accomplissement de notre travail sont de diverses natures et origines ainsi donc il sied de rappeler qu'il s'agit ici de deux échantillons de bitume et des graviers concassés 8/15 utilisés lors de l'essai d'adhésivité à la plaque.

2.2.2 Description

Cette section se concentre sur la description des matériaux utilisés dans notre étude, à savoir les bitumes et les graviers concassés 8/15. Le bitume, un liant dérivé du pétrole, est essentiel pour ses propriétés d'adhérence et d'étanchéité. Les graviers concassés 8/15, quant à eux, offrent une granulométrie optimale, garantissant une excellente stabilité et résistance. La figure 2.1 montre les matériaux utilisés notamment le bitume et les graviers concassés 8/15.



Figure 2.1: Les bitumes et les graviers concassés 8/15

2.2.3 Origine des matériaux

Concernant les graviers concassés, nous avons utilisés les graviers produits par l'entreprise CARRIGO Sarl et ils sont de classe 8/15. Et pour le bitume, il y'a un problème de manque traçabilité et d'informations techniques au niveau du marché, ce qui occasionne un déficit en informations concernant le produit.

2.3 Échantillonnage

Les essais effectués au laboratoire portent nécessairement sur des quantités réduites des matériaux, celles-ci devant permettre de mesurer les paramètres caractéristiques de l'ensemble de matériau sur lequel on effectue le prélèvement. Les échantillons prélevés doivent être représentatifs de l'ensemble.

2.4 Caractérisation des matériaux

Ici nous allons décrire l'ensemble des essais que nous aurons à effectuer au niveau du laboratoire, il s'agit de l'essai de pénétration, l'essai de point de ramollissement, l'essai d'adhésivité à la plaque,

l'essai de densité et l'essai de perte de masse au chauffage.

Il sied de signaler avant tout qu'en amont de tous ces essais, nous avons d'abord l'opération d'échantillonnage qui est une étape indispensable pour la suite des opérations.

2.4.1 Essai de pénétration

1. But de l'essai

Le présent mode opératoire a pour but de déterminer la consistance des bitumes et des liants bitumineux avec l'essai de pénétrabilité, ce mode est appliqué pour des liants de pénétrabilité inférieure à 500 1/10 mm

2. Principe de l'essai

C'est de mesurer la pénétration d'une aiguille de référence dans l'échantillon d'essai conditionné (bitume). Les conditions opératoires qui s'appliquent aux pénétrations inférieures ou égales à (500 x 0,1 mm), sont : la température à 25 °C, la charge appliquée de 100 g, et la durée d'application de la charge de 5 secondes. Pour les pénétrations supérieures à cette limite, la température d'essai doit être de 15 °C, alors que la charge appliquée et sa durée d'application restent inchanger. La figure 2.2 présente le principe de l'essai de pénétration.

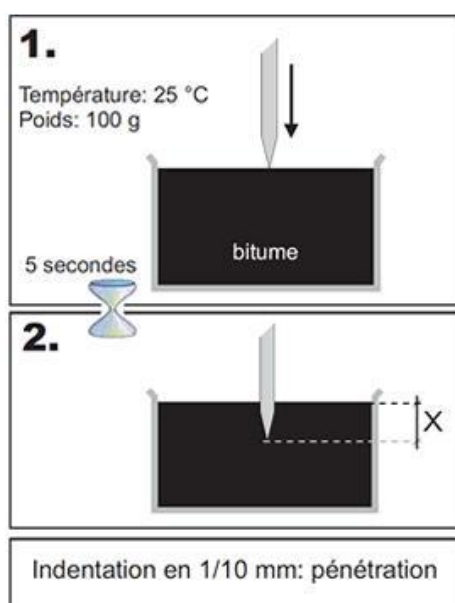


Figure 2.2 : Principe de l'essai de pénétration [1]

3. Appareillage

Il s'agit de l'éprouvette (récipient) contenant l'échantillon d'essai (bitume), la cuve contenant de l'eau (bain marin), le thermomètre, le chronomètre et du pénétromètre (la figure 2.3 présente l'image d'un pénétromètre) comportant :

- a. Une tige
- b. Un support gradué
- c. Un porte-aiguille
- d. Un système de blocage
- e. Une masse de 100g
- f. Une aiguille
- g. Un socle
- h. Des écrous de mise à niveau



Figure 2.3 : Pénétrromètre

4. Mode opératoire

Ce présent mode opératoire s'effectue suivant la norme EN 1426.

- Le bitume est chauffé à une température élevée pour permettre sa liquéfaction ainsi lui donnant le pouvoir de le mettre dans une éprouvette pour effectuer la pénétration, il faut la remplir assez suffisamment. Placer l'éprouvette à l'air libre pendant quelques minutes puis la poser dans un bain marin de température 25°C.

- Ajuster le pénétromètre à l'aide des écrous à niveau.
- Poser l'éprouvette dans le bain marin pour maintenir la température à 25°C.
- Poser le thermomètre et le récipient d'échantillon d'essai dans la cuve.
- Vérifier le support gradué pour s'assurer que la tige est au niveau zéro.
- Ajuster l'aiguille en la faisant descendre jusqu'à ce qu'elle touche la surface de l'échantillon.
- Poser le chronomètre et s'assurer qu'il est à zéro.
- Maintenir le système de blocage pendant (5 s) puis le lâcher ensuite appuyer sur la tige et lire sur le support gradué la valeur de la pénétration.
- Répéter l'opération trois fois dans différents points espacés de minimum 1cm chacun et prendre la moyenne entre eux de telle sorte qu'ils forment un triangle.

Note :

- Utilisez trois aiguilles pour éviter le frottement et obtenir des résultats plus précis.
- L'écart maximal entre la détermination la plus élevée et la plus basse ne doit pas dépasser 2.

5. Résultat

Pour lire les résultats indiqués sur le pénétromètre, il suffit d'observer jusqu'où l'aiguille s'arrête dans le cadran du pénétromètre lorsque vous appuyez sur la tige du pénétromètre.

Le tableau 2.1 présente la classification du bitume en fonction des résultats de l'essai de pénétration et de l'essai du point de ramollissement.

Tableau 2.1 : classification des bitumes selon la pénétrabilité et TBA [21]

	Unité	classes								
		20/30	30/45	45/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220	250/330
pénétrabilité	0,1 mm	20-30	30-45	45-50	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220	250-330
TBA	°C	55-63	52-60	50-58	46-56	46-54	43-51	39-47	35-43	30-38

2.4.2 Essai de point de ramollissement

1. But de l'essai

C'est de déterminer la température de ramollissement des bitumes et des liants bitumineux, dans la plage des températures de 30 °C à 150 °C.

2. Principe de l'essai

Deux anneaux de laiton contenant du bitume sont chauffés dans un bain liquide avec un taux d'élévation de la température contrôlée, alors que chacun soutient une bille d'acier. La température de ramollissement notée doit correspondre à la moyenne des températures auxquelles les bitumes se ramollissent suffisamment pour permettre à chaque bille enveloppée de liant bitumineux, de descendre d'une hauteur de 25mm. La figure 2.4 présente le principe de l'essai du point de ramollissement.

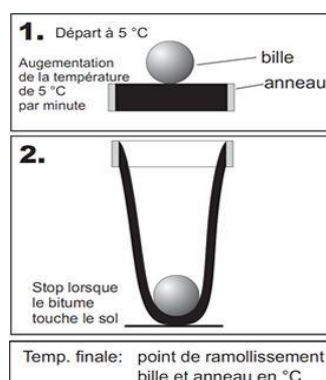


Figure 2.4 : Principe de l'essai du point de ramollissement [5]

3. Appareillage

- Les billes en acier.
- Les anneaux coniques en laiton.
- Le support d'anneaux.
- Le récipient pour braise-vase cylindrique en verre.
- Le thermomètre.
- Le réchaud.

Les figures 2.5 et 2.6 représentent respectivement les images du thermomètre, récipient pour braise-vase cylindrique en verre, anneaux, support d'anneaux, billes et réchaud.



Figure 2.5 : Le thermomètre, le récipient pour baigne-vase cylindrique en verre, les anneaux, le support d'anneaux, et les billes



Figure 2.6 : Réchaud

4. Mode opératoire

Ce présent mode opératoire s'effectue suivant la norme EN 1427.

- Choisir le liquide de bain et le thermomètre de la façon suivante, en fonction de la température de ramollissement attendue :
 - Utiliser de l'eau fraîchement distillée ou de l'eau déminéralisée pour des températures de ramollissement comprises entre 30 °C et 80 °C et un thermomètre avec des subdivisions de 0,2 °C. La température initiale de bain doit être de 5 °C.
 - Utiliser du glycérol pour les points de ramollissement supérieurs à 80 °C et jusqu'à 150 °C et un thermomètre avec des subdivisions de 0,5 °C. La température initiale de bain doit être de 30 °C.
- Assembler l'appareillage avec les anneaux contenant l'échantillon.

- Placer le bain dans l'eau glacée pour le refroidir jusqu'à 5 °C (bain d'eau), ou le réchauffer lentement jusqu'à atteindre 30 °C (bain de glycérol).
- Prendre les billes et les placer au centre des anneaux.
- Pour chaque ensemble bille et anneau, noter la température indiquée par le thermomètre au moment où le liant bitumineux qui entoure la bille touche la plaque inférieure.

Conditions nécessaires et suffisantes pour l'effectivité de l'essai :

- Les températures de ramollissement comprises entre 30 °C et 80 °C dans un bain d'eau. Noter le résultat obtenu.
- Les températures de ramollissement supérieures à 80 °C dans un bain d'eau. Éliminer le résultat en le considérant comme non valable, et répéter l'essai dans un bain de glycérol.
- Les températures de ramollissement inférieures ou égales à 84 °C dans un bain de glycérol. Répéter la détermination dans un bain d'eau. Si le résultat dans le bain d'eau est inférieur ou égal à 80 °C, noter ce résultat, sinon noter le résultat obtenu dans le bain de glycérol.
- Et si les deux billes ne tombent pas au même moment, on fait la moyenne des températures auxquelles les deux billes atteignent la plaque inférieure du support d'anneaux.

5. Résultat

Pour cette opération, il suffit d'apprécier la température indiquée par le thermomètre lorsque chacune de billes atteint la partie basse du support d'anneaux.

Le tableau 2.1 illustre les résultats de pénétrabilité et ceux de point ramollissement combinés.

2.4.3 Essai d'adhésivité à la plaque

1. But de l'essai

Cet essai nous permet de déterminer la capacité d'adhésion du bitume aux granulats.

2. Principe de l'essai

C'est de verser une quantité normalisée du bitume sur la plaque, ensuite plaquer des graviers sur l'entièreté de la surface couverte des bitumes. Et en dernier lieu la plaque est plongée dans un bain marin à une température ambiante pendant un jour.

3. Appareillage

L'outil utilisé pour cet essai est la plaque. La figure 2.7 présente l'image de la plaque utilisée lors de cet essai.



Figure 2.7 : La plaque

4. Mode opératoire

Ce présent mode opératoire s'effectue suivant la norme XP T66-043.

- Le bitume est chauffé à une température élevée pour permettre sa liquéfaction ainsi lui donnant le pouvoir de le mettre sur la plaque.
- On verse le bitume sur la plaque d'une épaisseur d'environ 2 à 3mm.
- On plaque sur toute la surface (100% de la plaque) les graviers concassés de 8/15.
- On place la plaque dans un bain d'eau pendant 24h.
- Ensuite, on viendra gratter légèrement sur les graviers pour apprécier l'adhésion bitume-graviers.

5. Résultat

- **Interprétation de résultats**

L'interprétation de résultats de cet essai se base sur l'observation visuelle qui consiste à la vérification de l'adhérence entre le bitume et les granulats après l'essai. Si le bitume semble bien adhérer aux granulats sans décollement, cela indique une bonne adhésivité.

- **Analyse des résultats**

- Pas de décollement : bonne adhésion, le bitume est efficace pour coller les granulats.
- Décollement partiel : adhésion médiocre, nécessitant potentiellement des ajustements dans la formulation du bitume ou des granulats utilisés.
- Décollement complet : mauvaise adhésion, indiquant que le bitume ne convient pas pour l'application prévue.

Marges et critères couramment admis :

- Adhésion satisfaisante : généralement, une adhésivité supérieure à 90 % (c'est-à-dire que plus de 90 % de la surface du granulat reste enrobée de bitume après test) est considérée comme bonne pour les couches de roulement et de liaison.
- Adhésion acceptable : des valeurs autour de 80 à 90 % peuvent être tolérées selon le type de couche et le trafic, mais nécessitent souvent des mesures correctives (additifs, traitement des granulats).
- Adhésion insuffisante : en dessous de 80 %, le risque de décollement, désenrobage et dégradation prématurée est élevé, ce qui compromet la durabilité des chaussées.

2.4.4 Essai de densité relative "méthode du pycnomètre"

1. But de l'essai

C'est de déterminer la densité et la masse volumique des liants bitumineux suivant la méthode du pycnomètre.

2. Principe de l'essai

La masse d'un échantillon de bitume et la masse du liquide d'essai (eau) correspondant à des volumes identiques sont comparées. L'égalité des volumes est assurée par le remplissage du pycnomètre et par le débordement du liquide. Le pycnomètre calibré est rempli approximativement aux trois quarts de sa capacité avec le liant bitumineux dont on cherche la masse volumique; il est pesé. Le pycnomètre est rempli avec de l'eau et pesé à nouveau. La densité et la masse volumique doivent être calculées par comparaison entre les deux masses. La figure 2.8 présente le principe de l'essai de densité.



Figure 2.8 : Principe de l'essai de densité [15]

A : le pycnomètre vide.

B : le pycnomètre rempli avec de l'eau.

C : le pycnomètre rempli partiellement avec l'échantillon de liant bitumineux.

D : le pycnomètre contenant le bitume et de l'eau.

3. Appareillage

- Le pycnomètre de 50 ml (la figure 2.9 en illustre l'image)
- La balance



Figure 2.9 : Le pycnomètre

4. Mode opératoire

Le présent mode opératoire s'effectue suivant la norme NF EN 15326.

- Le bitume est chauffé à une température élevée pour permettre sa liquéfaction ainsi nous facilitant sa mise dans le pycnomètre.

- Peser le pycnomètre sec.
- Peser le pycnomètre rempli avec de l'eau.
- Peser le pycnomètre rempli partiellement avec du bitume.
- Ajouter de l'eau dans le pycnomètre qui contient au préalable le bitume.
- Peser le pycnomètre rempli avec l'échantillon de liant bitumineux et de l'eau.

5. Calcul

Les symboles suivants sont utilisés dans les calculs :

A : la masse (g) du pycnomètre.

B : la masse (g) du pycnomètre rempli avec de l'eau.

C : la masse (g) du pycnomètre rempli partiellement avec l'échantillon de liant bitumineux.

D : la masse (g) du pycnomètre contenant le bitume et de l'eau.

d : la densité du liant bitumineux.

ρ_{eau} : la masse volumique de l'eau.

ρ : la masse volumique du bitume.

Les relations 2.1 et 2.2 nous montrent comment effectuer les deux opérations consistant à la détermination de la densité relative ainsi que celle de la masse volumique du bitume.

$$d = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \quad (2.1)$$

$$\rho = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \times \rho_{\text{eau}} \quad (2.2)$$

2.4.5 Essai de perte de masse au chauffage

1. But de l'essai

L'objectif de cet essai est d'évaluer les modifications des caractéristiques du bitume après l'effet de la température et estimer sa résistance face aux influences atmosphériques dans le temps.

2. Principe de la méthode

Elle est définie comme étant la différence des masses entre l'échantillon initial de bitume (avant chauffage) et celle de l'échantillon final (après chauffage) en pourcentage. L'échantillon de bitume est mis dans une étuve, et soumis à une température de 163 °C pendant 5 heures, puis refroidi.

3. Appareillage

- Balance
- Réchaud
- Eprouvette

4. Mode opératoire

Le présent mode opératoire s'effectue suivant la norme NF EN 12607-2.

- L'échantillon de bitume sera chauffé pour faciliter sa mise dans l'éprouvette.
- Agiter l'échantillon afin qu'il soit homogène et chasser les bulles d'air.
- Charger l'éprouvette de 100g de bitume ($M_1=100g$).
- Laisser refroidir à la température ambiante (on laisse le bitume au repos jusqu'à ce qu'il soit stable).
- Ensuite on remet l'éprouvette chargée du bitume au réchaud pendant 85 minutes.
- Après 85 minutes, on pèse l'échantillon (M_2).

5. Calcul

Pour l'obtention du résultat de perte de masse au chauffage, on applique la formule ci-dessous et dont le résultat obtenu sera noté en pourcentage.

La relation 2.3 nous montre comment effectuer le calcul de perte masse au chauffage pour les bitumes.

$$P = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (2.3)$$

2.5 Évaluation du domaine d'utilisation

Le domaine d'utilisation du bitume dépend principalement de ses différentes propriétés, notamment la pénétrabilité, le point de ramollissement, la viscosité, l'adhésivité, la cohésivité et la susceptibilité au vieillissement.

En construction routière, où plus de 90 % de la consommation mondiale de bitume est concentrée, les bitumes sont choisis pour leur consistance adaptée aux conditions climatiques et au trafic. Par exemple, la pénétrabilité, mesurée à 25 °C, indique la dureté du bitume : un bitume 20/30 est plus dur qu'un 35/50, ce qui influence sa résistance à la déformation sous charge. Le point de ramollissement renseigne sur la température à laquelle le bitume commence à s'assouplir, critère important pour éviter l'orniérage en climat chaud.

Les bitumes à pénétrabilité plus élevée (bitumes plus souples) sont utilisés dans les régions froides pour limiter les fissures dues au gel, tandis que les bitumes plus durs conviennent aux climats chauds et aux trafics lourds. En France, les classes courantes vont de 20/30 à 160/220, avec des bitumes purs majoritairement utilisés en enrobage à chaud.

Par ailleurs, les bitumes fluidifiés et les émulsions bitumineuses, qui permettent une application à froid ou à basse température, sont privilégiés pour l'entretien des routes secondaires et les techniques dites « à froid », représentant environ 30 % de la consommation française, notamment pour des raisons environnementales et économiques.

Enfin, dans les applications industrielles (moins de 10 % de la consommation), le bitume est utilisé pour des membranes d'étanchéité, des revêtements anticorrosion, ou encore dans la fabrication de peintures et adhésifs, où ses propriétés de résistance chimique et thermique sont essentielles.

Ainsi, l'évaluation du domaine d'utilisation du bitume repose sur l'analyse précise de ses caractéristiques fondamentales, adaptées aux contraintes mécaniques, thermiques et environnementales spécifiques à chaque application.

2.5.1 Classification des bitumes selon leur domaine d'utilisation

2.5.1.1 Construction routière

a) Bitumes de grade de pénétration

Les caractéristiques sont les suivantes:

- Une pénétrabilité : 60 à 100 dixièmes de mm (mesure de la dureté).
- Un point de ramollissement : 45 à 55 °C (résistance à la chaleur).

Les zones d'applications sont :

- Les couches de roulement (enrobés chauds).
- Dans le climat tempéré (ex. 60/70 pour zones modérées, 80/100 pour régions froides).

b) Bitume polymère modifié

Les caractéristiques sont les suivantes:

- L'élasticité améliorée.
- La résistance à l'orniérage et aux fissures.

Les zones d'applications sont :

- Les routes à trafic intense (autoroutes, aéroports).
- Les zones climatiques extrêmes (chaud/froid).

c) Bitume fluidifié (Cutback)

Les caractéristiques sont les suivantes:

- La viscosité réduite via ajout de solvants (ex. kérosène).
- Le temps de prise rapide/moyen/lent.

Les zones d'applications sont :

- Les enduits superficiels.
- Les réparations urgentes.

2.5.1.2 Étanchéité et isolation

a) Bitume oxydé

Les caractéristiques sont les suivantes :

- Le point de ramollissement élevé (80 à 120 °C).
- L'insensibilité à l'eau.

Les zones d'applications sont :

- Les toitures (membranes d'étanchéité).
- Les revêtements de réservoirs ou canalisations.

b) Émulsions bitumineuses

Les caractéristiques sont les suivantes :

- Le mélange eau-bitume (cationique/anionique).
- Sans solvant, écologique.

Les zones d'applications sont :

- Les couches d'accrochage.
- Les traitements superficiels (micro-surfaçage).

2.5.1.3 Applications industrielles

a) Bitume de grade industriel

Les caractéristiques sont les suivantes :

- La viscosité contrôlée.
- La stabilité chimique.

Les zones d'applications sont :

- L'isolation électrique (câbles).
- La protection anticorrosion (tuyaux).

b) Bitume naturel (Gilsonite)

Les caractéristiques sont les suivantes :

- La dureté élevée, soluble dans les solvants organiques.
- La brillance naturelle.

Les zones d'applications sont :

- Les peintures industrielles.
- L'additif pour enrobés.

2.6 Conclusion partielle

Dans ce chapitre, il a été question de donner les différents essais à effectuer au laboratoire pour caractériser le bitume. Ainsi pour mieux faire la caractérisation du matériau, pour chaque essai effectué nous avons donné le but, le principe, le mode opératoire de l'essai ainsi que le calcul ou l'interprétation des résultats obtenus. Ce chapitre se conclut par une brève évaluation du domaine d'utilisation du bitume. Cette base de connaissances est essentielle pour passer à l'étude des caractéristiques du bitume.

Chapitre 3

Présentations et interprétations des résultats

3.1 Introduction

Dans ce présent chapitre, il est question de présenter les résultats obtenus, grâce à la méthodologie exposée au chapitre précédent, des caractéristiques des bitumes utilisés dans la ville de Goma dans le but de leur meilleure application. Le laboratoire de l'ULPGL/Goma a été choisi comme site de travail pour les différents essais tels que : l'essai de pénétration, de point de ramollissement, d'adhésivité à la plaque, de densité relative et de perte de masse au chauffage.

3.2 Caractéristiques des bitumes

Les propriétés des bitumes étudiés ont été évaluées à travers cinq essais de laboratoire. Ces essais incluent la mesure de la pénétrabilité, du point de ramollissement, de la densité relative, de l'adhésivité et de la perte de masse au chauffage. Les résultats ainsi obtenus permettent de caractériser les bitumes.

3.2.1 La pénétrabilité

La pénétrabilité est une propriété fondamentale des bitumes, influençant directement leur dureté et leur comportement sous différentes conditions de chargement. Elle est souvent utilisée pour classer les bitumes en fonction de leur viscosité et de leur capacité à s'adapter aux multiples variations de chargement.

a) Echantillon 1

Le tableau 3.1 présente les différentes pénétrations effectuées sur l'échantillon 1.

Tableau 3.1 : Essai de pénétration de l'échantillon 1

Désignation	Eprouvette 1	Eprouvette 2	Eprouvette 3
Essai 1 (0,1mm)	92,5	92	91,5
Essai 2 (0,1mm)	91	93,5	93
Essai 3 (0,1mm)	91	94	92,5
Moyenne (0,1mm)	91,5	93,2	92,3
Moyenne générale (0,1mm)	92,3		

b) Echantillon 2

Le tableau 3.2 présente les différentes pénétrations effectuées sur l'échantillon 2.

Tableau 3.2 : Essai de pénétration de l'échantillon 2

Désignation	Eprouvette 1	Eprouvette 2	Eprouvette 3
Essai 1 (0,1mm)	79	81,5	84
Essai 2 (0,1mm)	77	82	85
Essai 3 (0,1mm)	77	82	86
Moyenne (0,1mm)	77,7	81,8	85
Moyenne générale (0,1mm)	81,5		

Une pénétrabilité élevée indique que le bitume est plus mou que de bitumes ayant une pénétration plus basse. Cela peut être avantageux pour les applications où une certaine souplesse est requise, comme dans les zones sujettes aux contraintes thermiques importantes. Cependant, cela pourrait

aussi signifier une moindre résistance aux charges lourdes, ce qui pourrait affecter la durabilité des routes sous trafic intense.

Dans un contexte de trafic intense et de charges lourdes, une pénétrabilité élevée pourrait rendre le bitume vulnérable à la déformation plastique. Cela pourrait entraîner des ornières sur les routes très fréquentées, ce qui est le cas pour plusieurs de nos routes ici à Goma. D'où suivront les différentes sortes de dégradations qui s'observeront au niveau des couches de roulement.

3.2.1.1 Domaine d'utilisation suivant la pénétrabilité

La pénétrabilité mesure la profondeur d'enfoncement d'une aiguille dans le bitume à 25 °C pendant 5 secondes. Une valeur élevée signifie un bitume plus souple et moins dur. Ces valeurs obtenues indiquent que les bitumes sont relativement tendres, ce qui leur confère une bonne flexibilité. Cela est favorable pour résister aux fissures thermiques dans des climats modérés à froids, mais peut poser un risque d'orniérage sous trafic très lourd ou en climat chaud. Cependant,

- ces bitumes peuvent être adaptés aux couches de roulement dans des zones à températures modérées ou fraîches.
- ces bitumes conviennent aux routes secondaires, rues urbaines à trafic moyen.
- ces bitumes sont moins recommandés pour les couches de base ou les routes à trafic très intense où un bitume plus dur est nécessaire.

3.2.2 Le point de ramollissement

Le point de ramollissement est une mesure cruciale qui indique la température à laquelle le bitume commence à perdre sa rigidité et à se comporter comme un liquide visqueux. Cette propriété est essentielle pour évaluer la résistance du bitume aux températures élevées.

a) Echantillon 1

Température au début de l'essai : 22°C

Le tableau 3.3 présente en détail le déroulement de l'essai de point de ramollissement par la méthode de la température, billes et anneaux pour l'échantillon 1.

Tableau 3.3 : Essai de point de ramollissement de l'échantillon 1

Désignation	Heure de début	Heure de fin	Température (°C)
Bille 1	15h37'	15h46'	51
Bille 2	15h37'	15h46'	51
Moyenne de la température			51

b) Echantillon 2

Température au début de l'essai : 22°C

Le tableau 3.4 présente en détail le déroulement de l'essai de point de ramollissement par la méthode de la température, billes et anneaux pour l'échantillon 2.

Tableau 3.4 : Essai de point de ramollissement de l'échantillon 2

Désignation	Heure de début	Heure de fin	Température (°C)
Bille 1	11h42'	11h52'	50,5
Bille 2	11h42'	11h52'	50,5
Moyenne de la température			50,5

Un point de ramollissement de 51 ou 50,5°C est relativement élevé pour notre milieu d'étude. Cela signifie que ces bitumes pourraient être adaptés dans des régions où les températures maximales n'atteignent pas une température ambiante égale ou supérieure à 50 °C, ce qui pourrait entraîner une bonne durabilité au niveau de la couche de roulement.

Avec des températures modérées à Goma, ce point de ramollissement semble être adapté. Cependant, sous l'effet du trafic intense et des frottements, les routes pourraient nécessiter un

bitume avec un point de ramollissement légèrement supérieur pour éviter les déformations sous forte chaleur générée par les véhicules.

Se référant au tableau 2.1 pour nos deux échantillons, on peut conclure que nous avons des bitumes de classe 70/100 compte tenu des résultats obtenus sur les essais de pénétration et de point de ramollissement.

3.2.2.1 Domaine d'utilisation suivant le point de ramollissement

Le point de ramollissement indique la température à laquelle le bitume devient suffisamment mou pour qu'une bille s'enfonce dans l'échantillon. Ces valeurs obtenues montrent une bonne résistance à la chaleur, limitant le risque de fluage (déformation permanente) sous fortes températures. Cela garantit une certaine rigidité nécessaire pour supporter le trafic sans déformation excessive. Cependant,

- ces bitumes conviennent pour les couches de roulement exposées à des températures ambiantes comme à Goma.
- ces bitumes peuvent être adaptés aux chaussées soumises à des charges modérées à fortes.
- ces bitumes sont utilisables dans les enrobés à chaud classiques.

3.2.3 L'adhésivité à la plaque

L'adhésivité du bitume à la surface des agrégats est essentielle pour assurer une liaison solide et durable entre les composants du revêtement routier. Une bonne adhésivité prévient les décollements et améliore la résistance aux contraintes mécaniques.

Le tableau 3.5 présente les résultats de ces deux échantillons d'une manière synthétique sur l'essai de l'adhésivité à la plaque.

Tableau 3.5 : Résultat synthétique pour les deux échantillons sur l'adhésivité à la plaque

Constat	Echantillon 1	Echantillon 2
Décollement	Partiel (approximativement 40% des graviers se sont décollés.)	Partiel (approximativement 50% des graviers se sont décollés.)

Un tel constat pour l'adhésivité peut être dû à plusieurs facteurs, tels que la composition chimique du bitume ou la surface des graviers. Cela pourrait entraîner des problèmes de décollement entre le bitume et les graviers, ce qui affecte la durabilité de la couche de roulement.

L'adhésivité médiocre pourrait poser problème dans une ville où les routes sont fortement sollicitées. Le décollement entre le bitume et les agrégats peut entraîner une détérioration rapide des couches de roulement sous l'effet du trafic constant et permettant ainsi les infiltrations des eaux.

L'adhésion médiocre nécessite potentiellement des ajustements dans la formulation du bitume ou des granulats utilisés.

3.2.3.1 Domaine d'utilisation suivant l'adhésivité à la plaque

L'adhésivité mesure la capacité du bitume à coller aux granulats, essentielle pour la cohésion du mélange bitumineux. Une faible adhésivité entraîne un risque de décollement entre le bitume et les granulats, provoquant la perte de granulats, la formation de nids de poule et l'orniérage. C'est un facteur clé dans la dégradation prématurée des routes. Cependant,

- ils sont inadaptés pour les couches de roulement ou de liaison soumises à des trafics intenses.
- ils nécessitent un traitement ou modification (additifs, bitumes polymères) pour améliorer cette propriété.
- sans amélioration, l'usage est limité aux routes à faible trafic ou aux couches non exposées directement aux contraintes mécaniques.

3.2.4 La densité relative

La densité du bitume est un paramètre important qui influence la formulation des mélanges bitumineux et affecte la stabilité du revêtement routier. Une densité bien contrôlée est cruciale pour obtenir une bonne adhérence et une résistance optimale aux contraintes mécaniques.

a) Echantillon 1

- Pycnomètre vide : 34,48g (A)
- Pycnomètre + eau : 87,25g (B)
- Pycnomètre + bitume : 61,80g (C)

- Pycnomètre + bitume + eau : 89,36g (D)

En appliquant la relation 2.1 et 2.2, nous trouvons respectivement la densité(d) et la masse volumique (ρ) :

- $d = 1,08$
- $\rho = 1080 \text{ Kg/m}^3$

b) Echantillon 2

- Pycnomètre vide : 34,48g (A)

- Pycnomètre + eau : 87,25g (B)

- Pycnomètre + bitume : 69,45g (C)

- Pycnomètre + bitume + eau : 88,26g (D)

En appliquant la relation 2.1 et 2.2, nous trouvons respectivement la densité(d) et la masse volumique (ρ) :

- $d = 1,02$
- $\rho = 1020 \text{ Kg/m}^3$

Le tableau 3.6 présente les résultats de ces deux échantillons d'une manière synthétique sur l'essai de densité relative et la détermination de la masse volumique du bitume.

Tableau 3.6 : Résultat synthétique pour les deux échantillons sur la densité relative

Désignation	Unité	Echantillon 1	Echantillon 2
Densité	-	1,08	1,02
Masse volumique	Kg/m^3	1080	1020

Des densités pareilles sont typiques pour les bitumes, mais elles peuvent varier en fonction de la composition chimique. Une densité légèrement supérieure à celle de l'eau est normale, mais des variations significatives pourraient indiquer des différences dans la composition ou la qualité du bitume.

Une densité correcte est essentielle pour assurer la stabilité des enrobés face aux vibrations et aux charges répétées imposées par le trafic routier. Cela garantit une bonne résistance mécanique.

3.2.4.1 Domaine d'utilisation suivant la densité relative

La densité influence la compacité et la stabilité du mélange bitumineux. Ces valeurs obtenues sont conformes aux standards pour des bitumes routiers, favorisant une bonne cohésion et résistance mécanique des enrobés. Une densité adéquate contribue à la durabilité des couches de liaison et d'assise. Cependant,

- ils peuvent être adaptés aux couches de base et de liaison des chaussées.
- ils favorisent la stabilité structurelle sous le trafic routier.

3.2.5 La perte de masse au chauffage

La perte de masse au chauffage est un indicateur de la stabilité thermique du bitume. Une faible perte de masse signifie que le bitume ne subit pas de dégradation significative lorsqu'il est chauffé, ce qui est crucial pour maintenir ses propriétés mécaniques au fil du temps.

a) Echantillon 1

- Heure de début : 12h20'
- Heure de fin : 13h45'
- Eprouvette vide : 32,94g
- Eprouvette + bitume (avant chauffage) : 132,94g (M_1)
- Eprouvette + bitume (après chauffage) : 131,65g (M_2)
- Différence de masses : $132,94\text{g} - 131,65\text{g} = 1,29\text{g}$

En appliquant la relation 2.3, on a :

$$\text{- Perte de masse (P)} : \frac{132,94 - 131,65}{132,94} \times 100 = 0,97\%$$

b) Echantillon 2

- Heure de début : 14h15'

- Heure de fin : 15h40'

- Eprouvette vide : 32,21g

- Eprouvette + bitume (avant chauffage) : 132,51g (M₁)

- Eprouvette + bitume (après chauffage) : 131,33g (M₂)

- Différence de masses : 132,51g – 131,33g = 1,18g

En appliquant la relation 2.3, on a :

$$\text{- Perte de masse (P)} : \frac{132,51 - 131,33}{132,51} \times 100 = 0,89\%$$

Le tableau 3.7 présente les résultats de ces deux échantillons d'une manière synthétique sur l'essai de perte de masse au chauffage.

Tableau 3.7 : Résultat synthétique pour les deux échantillons sur la perte de masse au chauffage

Unité	Echantillon 1	Echantillon 2
%	0,97	0,89

Une faible perte de masse indique une bonne stabilité thermique du bitume. Cela signifie que le bitume ne subit pas de dégradation significative lorsqu'il est chauffé, ce qui est positif pour la durabilité des routes.

Une faible perte de masse est positive pour la durabilité thermique du bitume, mais il est crucial que cette stabilité soit maintenue même sous l'effet des contraintes mécaniques générées par le trafic.

3.2.5.1 Domaine d'utilisation suivant la perte de masse au chauffage

Cette mesure évalue la stabilité thermique du bitume, c'est-à-dire sa résistance à la volatilisation ou dégradation lors du chauffage. Ces faibles pertes indiquent que le bitume conserve bien ses propriétés lors de la mise en œuvre à chaud, garantissant une bonne qualité des enrobés et une durabilité accrue. Cependant,

- ils sont idéaux pour les enrobés à chaud, y compris les couches de roulement et de liaison.
- ils conviennent aux applications où la stabilité thermique est cruciale, comme les routes exposées à des cycles thermiques fréquents.

3.3 Conclusion partielle

Le présent chapitre a porté sur la présentation et l'interprétation des résultats obtenus lors des expérimentations au laboratoire. Tout au long de ce dernier, il a été question de présenter les résultats sur la caractérisation du bitume. Pour chaque essai concernant la présentation et l'interprétation des résultats obtenus, nous procédons comme suit : premièrement une définition, en second lieu une trame et ensuite une petite analyse sur les résultats obtenus et en fonction du domaine d'utilisation.

Conclusion générale

Ce mémoire s'est attaché à la caractérisation approfondie des bitumes utilisés dans la ville de Goma, dans l'objectif d'évaluer leur conformité aux normes techniques et surtout leur adéquation aux exigences spécifiques liées à leur domaine d'utilisation dans la construction routière locale. Ce travail s'inscrit dans un contexte où la durabilité des infrastructures routières est fortement mise à l'épreuve par un trafic routier intense et des conditions climatiques particulières, rendant indispensable une analyse rigoureuse des matériaux employés.

Les résultats obtenus sur les deux échantillons étudiés révèlent des bitumes présentant une pénétrabilité élevée (92,3 et 81,5 dixièmes de millimètre), traduisant une consistance relativement souple. Cette souplesse est généralement favorable dans les climats modérés comme celui de Goma, car elle permet au bitume d'absorber les contraintes thermiques et mécaniques sans se fissurer prématurément. Par ailleurs, les points de ramollissement mesurés (51 °C et 50,5 °C) indiquent une bonne résistance à la chaleur, limitant les risques de déformation plastique (orniérage) sous des températures ambiantes élevées et un trafic soutenu. Ces caractéristiques confirment que ces bitumes sont globalement adaptés à une utilisation dans les couches de roulement et de liaison, où un équilibre entre souplesse et rigidité est essentiel pour assurer la performance des chaussées.

La densité des bitumes (1,08 et 1,02 g/cm³) et la faible perte de masse au chauffage (0,97 % et 0,89 %) témoignent d'une bonne stabilité thermique et chimique, garantissant que les bitumes conservent leurs propriétés lors de la mise en œuvre et en service, ce qui est crucial pour la longévité des enrobés bitumineux.

Cependant, l'analyse met en lumière une faiblesse majeure : une adhésivité médiocre à la plaque pour les deux échantillons. Cette propriété est fondamentale car elle conditionne la qualité de la liaison entre le bitume et les granulats. Une adhérence insuffisante favorise le décollement du bitume, la perte de granulats, et engendre des dégradations rapides telles que l'orniérage et la formation de nids de poule. Dans le contexte de Goma, où le trafic est intense et les contraintes mécaniques importantes, cette insuffisance d'adhésion constitue un facteur déterminant dans la dégradation prématurée des couches de roulement.

Ainsi, bien que les propriétés physico-mécaniques générales des bitumes étudiés soient compatibles avec leur domaine d'utilisation théorique, leur performance réelle est limitée par cette adhésivité insuffisante. Pour améliorer la durabilité des routes, il est impératif d'envisager des solutions techniques telles que l'utilisation de bitumes modifiés aux polymères, qui offrent une meilleure élasticité et adhérence, ou l'ajout d'additifs spécifiques (tensioactifs, chaux, amines) visant à renforcer la cohésion bitume-granulat. Par ailleurs, le traitement préalable des granulats peut également contribuer à améliorer cette liaison essentielle.

Enfin, ce travail souligne l'importance d'un contrôle de qualité rigoureuse, tant au niveau des bitumes que des granulats, afin d'assurer leur conformité aux normes en vigueur et leur adéquation aux conditions climatiques et mécaniques locales. Une telle démarche est indispensable pour optimiser la conception des enrobés et garantir la pérennité des infrastructures routières dans un environnement marqué par des contraintes sévères.

Ces résultats confirment l'hypothèse selon laquelle une meilleure adhérence entre le bitume et les granulats serait un levier essentiel pour améliorer la performance mécanique des routes et limiter leur dégradation prématurée. Ils soulignent aussi la nécessité d'adapter les formulations bitumineuses aux conditions locales, en intégrant notamment des additifs spécifiques favorisant l'adhésion et la résistance à l'eau.

La difficulté à obtenir des échantillons représentatifs sur le marché local, cette contrainte a restreint le choix des échantillons; La variabilité et l'incertitude sur la qualité des bitumes disponibles, le marché local propose souvent des bitumes dont la qualité et la provenance ne sont pas toujours clairement certifiées. Ces différentes contraintes ont constitué une limitation majeure de cette étude.

Bref, cette étude démontre que la réussite d'une infrastructure routière durable repose non seulement sur la sélection de bitumes aux propriétés adaptées au climat et au trafic, mais aussi sur l'optimisation de leur domaine d'utilisation, notamment par l'amélioration de l'adhésivité. À Goma, où les défis liés à la dégradation prématurée sont importants, la priorité doit être donnée à l'amélioration de la liaison bitume-granulat pour prolonger la durée de vie des chaussées et réduire les coûts d'entretien.

Bibliographie

- [1] M. E. Baba, «Etude de formulation d'un béton bitumineux semi-grenu BBSG 0/14 pour couche de roulement : Cas de granulats,» Université Ahmed Draïa Adrar, Algérie, 2020-2021.
- [2] M. Sarr, Etude du comportement des bitumes utilisés en enrobés denses au Sénégal, SENEGAL: Ecole supérieure polytechnique, centre de Thiès, département de génie civil , 2002-2003.
- [3] M. G. CT Masika, «support de cours de Routes,» ULPGL, Goma, 2023-2024.
- [4] s. Sadoun, «Etude du renforcement du béton bitumineux recyclé par des granulats plastiques,» 2011.
- [5] A. S. Hadj, «L'amélioration des caractéristiques physico-mécaniques du béton bitumineux pour les chaussées pour les chaussées souples- cas des routes de Tizi-Ouzou,» Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 2023-2024.
- [6] H. Hadidane, «Contribution à l'amélioration du comportement des corps de chaussées avec l'utilisation des matériaux recyclés,» Université d'Annaba, 2018.
- [7] Y. Elaroui, «Module complexe du béton bitumineux,» 2019.
- [8] A. Beghin, «Étude de la rupture des bitumes à basse température: influences des facteurs de composition de la rhéologie des liants,» Université de Paris VI, Paris, 2003.
- [9] B. Pouteau, A. Chabot, F. De Larrard et J. Balay, «fatigue test and mechanical study of adhesion between concrete and asphalt,» Istanbul, 2004.
- [10] P. Tamagny, L. Wendling et J. Piau, «A new explanation of pavement cracking from top o bottom: the visco-elasticity of asphalt materials, Craking pavement, the 5th international RILEM conference».
- [11] R. Subba, V. R. Srini et S. Venkata, «Effect of plasticpollution on environment,» 2014.
- [12] D. Lesueur, «The colloidal structureof bitumen: consequences on tje rheology and on the mechanisms of bitumen modification,» Adv colloid interface sci (145), 2009.
- [13] D. Malick, «Fatigue et comportement des couches d'accrochage dans les structures de chaussée,» Université de LIMOGES, 29 octobre 2007.
- [14] W. Boughamsa, «Les bitumes modifiés par des polymères,» Université de skikda, 2008.

-
- [15] M. M. S. Guerbouz, «Etude de formulation d'un béton bitumineux semi-grenu et contrôle de compacité –par carottage – après mise en service. Cas d'agrégats de Mansouria – Adrar,» Université Ahmed Draïa Adrar, Algérie, 2021-2022.
- [16] B. Addaci, «Comportement mécanique des enrobés bitumineux renforcés par la fibre de verre,» Université de Batna, 2008.
- [17] F. Nellensteyn, «The constitution of asphalt».
- [18] N. Mailan, «Etude de la fissuration et de la fatigue des enrobés bitumineux,» école nationale de travaux publics de l'état, Université de lion, 2009.
- [19] O. F, «Etude et modélisation de comportement thermomécanique des enrobés bitumineux,» l'école doctorale MEGA de Lyon, France, 2000.
- [20] L. Bernard, «bitume.info».
- [21] S. A. Fercous, «Etude des caractéristiques de surface d'adhérence des chaussées réalisées à base des matériaux locaux,» Université des sciences et de latechnologie HOUARI BOUMEDIENE, Algérie, 2023.
- [22] Corbett, « Composition of asphalt based on generic fractionation, using solvent deasphalting, elution-adsorption chromatography, and densimetric characterization. Anal Chem».
- [23] ASTM. D. 4124, «Standard Test methode for separation of asphalt into four fraction,» Am soc test master Phila., 1988.

ANNEXES

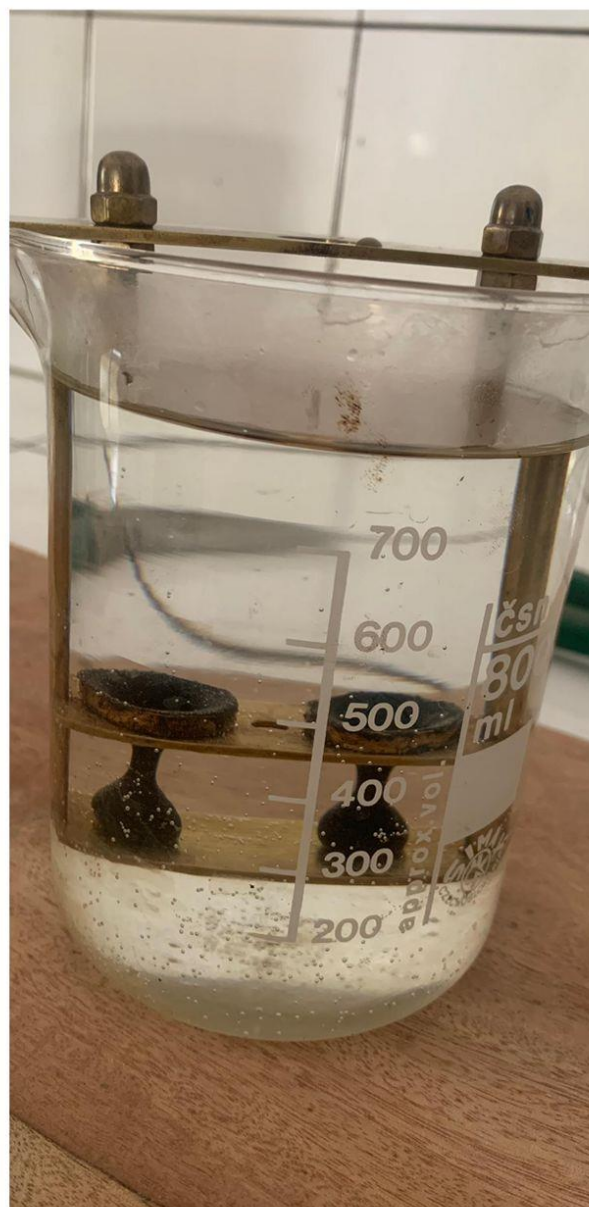
Annexe A

Photos démontrant les résultats de l'essai de pénétrabilité



Annexe B

Photos démontrant les résultats de l'essai de point de ramollissement



Annexe C

Photos démontrant les résultats de l'essai de l'adhésivité à la plaque



Annexe D

Photos démontrant les résultats de l'essai de densité relative



Annexe E

Photos démontrant les résultats de l'essai de perte de masse au chauffage

