

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Civil



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGI
Filière : GENIE CIVIL
Spécialité : TRAVAUX PUBLICS.
Thème

CARACTERISATION DES MATERIAUX ROUTIERS

Présenté par :

- 1) **DJELAILI HAYAT**
- 2) **BEKRI AMINA**

Devant les jurys composés de :

<i>Nom/Prénom</i>	<i>grade</i>	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
Mme DERBAL.A	Maitre Assistante	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadreur
		C.U.B.B (Ain Temouchent)	Co-Encadreur
		C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
		C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examineur

Année universitaire 2015/2016

REMERCIEMENTS

On voudrait d'abord remercier ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la force et la volonté d'accomplir ce travail et d'avoir éclairé notre chemin.

On voudrait remercier très sincèrement notre encadreur Madame A.DERBAL pour avoir assuré l'encadrement de notre mémoire, son expérience, son savoir scientifique, sa disponibilité, sa bienveillance ainsi que sa gentillesse.

L'occasion est du jour pour remercier tous ceux qui accepté d'associer leurs compétences et leurs savoirs afin de jurer ce travail.

Nous exprimons également notre profonde gratitude à tout le personnel de laboratoire des travaux publics de Sidi-Bel-Abbès et d'Oran.

Enfin, on exprime nos sincères remerciements à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

A tous nos amis de la promotion 2015/2016 «Travaux Publics».

DJELAILI HAYAT & BEKRI AMINA

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A la mémoire de ma mère.

A mon mari.

A ma famille.

A mes collègues et tous mes amis.

A tous ceux qui me sont chers.

BEKRI AMINA

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A mon défunt père **Djelaili Abd rahmane** qui est parti trop tôt et qui aurait tant voulu assister à ma petite réussite.

A ma mère **Mohammed belarbi Halima** la plus affectueuse et la plus douce au monde, l'ange le plus tendre qui a été pour moi une source d'amour, de pitié et d'espoir.

A mon cher mari **Manaa Mohammed** qui m'a soutenu beaucoup dans ce travail et m'a encouragé.

A mes chères sœurs : **Asmaa, Afafe.**

A mon frère : **Mohammed.**

A tous mes collègues et mes amis.

A tous ceux qui me sont chers.

DJELAILI HAYAT

RESUME

Le bitume est un liant hydrocarboné ou liant noire à base d'hydrocarbure.

Sa consistance pâteuse à la température ordinaire et sa capacité de devenir liquide lorsqu'on la chauffe entre 120°C et 170°C lui permette de se mélanger à chaude avec les granulats et de donner après refroidissement un mélange solide ; ce qui fait tout son intérêt en technique routière.

Notre recherche à été axée sur le comportement de ces matériaux et leurs caractéristiques d'utilisation. Des essais ont été réalisés en dehors de LTPO, des résultats sont obtenus et discutés.

MOTS CLES : bitume – enrobé – variation de température – comportement – essai – viscosité.

ABSTRACT

Bitumen is hydrocarbon binder or binder black hydrocarbon based.

Its pasty consistency temperature and its ability to become liquid when heated between 120°C and 170°C allows it to mix the hot aggregates and after cooling to a solid mixture: what makes its interest in road building.

Our research focused on the behavior of these materials and their usage characteristics. Tests were conducted outside of our university; the results are obtained and discussed.

Keywords: bitumen – coated – temperature variation – behavior – tests – viscosity.

ملخص

البيتومين هو موثق هيدروكربوني او موثق اسود ذو اساس هيدروكربوني .

له تماسك على درجة على درجة حرارة عادية وقدرتها على ان تصبح سائلة عند تسخينها بين 120°C و 170°C تسمح لها بالاختلاط بالتسخين مع حبيبات الحصى وتعطي بعد التبريد خليط صلب. ما جعل له اهمية في بناء الطرق.

بحثنا يتمركز حول سلوك هذه المواد وخصائص استعمالها. وأجريت التجارب في مخابر الاشغال العمومية وهران وحصلنا على النتائج وتمت مناقشتها.

الكلمات المفتاحية: البيتومين – المغلفات – التغير في درجة الحرارة – السلوك – تجارب - اللزوجة.

Table des matières

Remerciement	I
Dédicace	II
Résumé	IV
Table des matières	V
Liste des tableaux	XI
Liste des figures	XII
Liste des photos	XIV
Introduction général.....	1

Première partie : synthèse bibliographique

Chapitre I: les liants hydrocarbonés

Introduction	2
I.1 Classification des liants hydrocarbonés.....	2
I.1.1. Les produits naturels.....	2
I.1.2. Les produits pyrogènes.....	2
I.2. Les qualités et défauts des liants hydrocarbonés.....	3
I.3. Les types des liants hydrocarbonés.....	3

I.3.1.Le goudron.....	3
I.3.2.Les bitumes et les cut-backs.....	3
I.3.2.1.Les bitumes.....	3
I.3.2.2.Les cut-backs.....	4
I.3.3.L'asphalte.....	4
I.3.3.1.L'asphalte d'étanchéité.....	4
I.3.3.2.L'asphalte porphyre.....	4
I.3.4.Les mastics.....	5
I.4.Les caractéristiques rhéologiques des liants hydrocarbonés.....	5
I.4.1.Les caractères qui différencient les bitumes et les goudrons.....	5
I.4.1.1.Constitution chimique.....	5
I.4.1.2.Caractéristiques physico-chimiques.....	5
I.4.2.Les caractères des cut-backs.....	6
I.4.3.Les caractères des asphaltes.....	6
Conclusion.....	7

Chapitre II : Les bitumes

Introduction.....	8
II.1.Le bitume.....	8
II.2.les caractéristiques physico-chimiques des bitumes.....	8
II.3.Applications hydrauliques.....	8
II.4.Fabrication du bitume.....	9
II.5.Les types de bitume.....	10
II.6.Les caractéristiques des bitumes.....	13

II.7.Classement des bitumes.....	13
II.8.Bitumes utilisé en Algérie.....	13
II.8.1.Les bitumes purs.....	13
II.8.2.Les bitumes oxydés.....	13
II.8.3.Les bitumes fluidifiés ou cut-backs.....	14
II.8.4.Les émulsions de bitumes.....	14
Conclusion.....	15

Chapitre III : Les enrobés

Introduction.....	16
III.1.Généralités sur l'enrobé.....	16
III.2.Caractéristiques d'un enrobé hydrocarboné mis en place.....	17
III.3.Teneur en liant.....	17
III.4.Les différents types d'enrobés bitumineux.....	18
III.5.Fabrication.....	19
Conclusion.....	21

Deuxième partie : Etude expérimentale

Chapitre IV : Etude expérimentale sur les bitumes

IV.1.Pénétrabilité à l'aiguille.....	22
IV.1.1.But de l'essai.....	22
IV.1.2.Définition.....	22
IV.1.3.Principe de l'essai.....	22
IV.1.4.Appareillage.....	22
IV.1.5.Mode opératoire.....	25
IV.1.6.Résultat et analyse.....	26

IV.2.Point de ramollissement (bille et anneau).....	27
IV.2.1.But de l’essai.....	27
IV.2.2.Définition.....	27
IV.2.3.Le principe.....	27
IV.2.4.Appareillage.....	27
IV.2.5.Mode opératoire.....	28
IV.2.6.Résultat et Analyse.....	30
IV.3.La viscosité.....	30
IV.3.1.But de l’essai.....	31
IV.3.2.Appareillage.....	31
IV.3.3.Mode opératoire.....	32
IV.3.4.Résultat d’analyse.....	33
Conclusion.....	34

Chapitre V : Etude Expérimentale sur les Enrobes

Introduction.....	35
V.1.Essai d’extraction de KUMAGAWA.....	35
V.1.1.Appareillage.....	36
V.1.2.Préparation de l’échantillon.....	36
V.1.3.Mode Opératoire.....	36
V.1.4.calculs et présentation des résultats.....	37
V.2.Densité d’un Enrobe par pesée hydrostatique.....	40
V.2.1.Appareillage.....	40
V.2.2.Méthode de carottage.....	41

V.2.3.Calculs et présentation des résultats.....	41
V.3.Essai Marshall.....	42
V.3.1.Mode Opérateur.....	42
V.3.2.Appareillage.....	44
V.3.3.Calculs et présentation des résultats.....	45
Conclusion.....	46

Liste des tableaux

PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE II : Les bitumes

Tableau II.1 : La construction et l'entretien des routes et des structures assimilées.....12

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE IV : Etude expérimentale sur les bitumes

Tableau IV.1 : résultats des essais de pénétrabilité sur bitume 40/50.....26

Tableau IV.2 : résultats de l'essai de bille anneau sur bitume 40/50.....30

Tableau IV.3 : viscosité de cut-back(0/1).....33

CHAPITRE V : Etude expérimentale sur les enrobés

Tableau V.1 : résultats de l'essai d'extraction de KUMAGAWA.....37

Tableau V.2 : analyse granulométrique après extraction d'échantillon.....38

Tableau V.3 : caractéristique des carottes.....41

Tableau V.4 : résultats d'essai Marshall.....45

Liste des figures

PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : Les liants hydrocarbonés

Figure I.1 : classifications des liants hydrocarbonés.....2

CHAPITRE II : Les bitumes

Figure II.1 : structure colloïdale du bitume.....9

Figure II.2 : fabrication de bitume.....10

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE V : Etude expérimentale sur les enrobés

Figure V.1 : fuseau de spécification du béton bitumineux.....39

Liste des photos

PREMIER PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Photo II.1 : Station NAFTAL.....14

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE IV : Etude expérimentale sur les bitumes

Photo IV.1 : Gobelet en métal.....23

Photo IV.2 : Pénétrromètre.....24

Photo IV.3 : bain d'eau thermostatique.....24

Photo IV.4 : récipient qui support de gobelet.....25

Photo IV.5 : bille et anneaux en laiton.....28

Photo IV.6 : placer les billes au centre.....28

Photo IV.7 : assemblage de l'appareillage.....28

Photo IV.8 : viscosimètre.....31

Photo IV.9 : bain d'eau.....32

CHAPITRE V : Etude expérimentale sur les enrobés

Photo V.1 : appareil KUMAGAWA.....35

Photo V.2 : ballon.....36

Photo V.3 : toluène.....36

Photo V.4 : balance et chauffe ballon.....36

Photo V.5 : analyse granulométrique.....38

Photo V.6 : la pesée de la carotte dans l'aire.....40

Photo V.7 : la pesée hydrostatique.....	40
Photo V.8 : appareille de pesée hydrostatique.....	40
Photo V.9 : les carottes.....	41
Photo V.10 : mélange bitumineux.....	42
Photo V .11 : dame de compactage.....	43
Photo V.12 : bain d'eau thermostatique.....	43
Photo V.13 : appareil Marshall.....	45

Introduction Général

Les structures de chaussées routières sont soumises, en service, à des sollicitations très complexes. La circulation automobile et le climat ont une influence important sur le comportement des matériaux de chaussées.

Dans certains pays tels que le canada, les états unis, les pays nordique Et même l'Algérie, les chaussées subissent de grandes amplitudes thermiques et sont donc soumises au phénomène de fissuration thermique. Ces dernières années, ce phénomène s'est de plus en plus aggravé par l'intensification des charges supportées par les structures de chaussée, cette intensification étant due en particulier à l'accroissement du trafic poids lourds.

Dans ce contexte, s'est imposée la nécessité d'étudier les performances des bitumes et des enrobés.

Ce mémoire de Master est institué de 5 chapitres :

La première partie est entièrement consacrée à une étude bibliographique des matériaux routiers.

La deuxième partie présente l'étude expérimentale consacrée aux échantillons de bitume et d'enrobé utilisés sous le réseau algérien.

Enfin une conclusion générale reprend les principaux résultats ainsi que les évolutions possibles de nos développements.

Chapitre I

Les Liants Hydrocarbonés

INTRODUCTION :

Les liants hydrocarbonés ou les liants noirs sont des produits de couleur noire (ou brun foncé), qui diffèrent essentiellement des liants hydrauliques (ciment, chaux, plâtre).

Ce sont des liquides fortement visqueux qui peuvent se présenter aussi sous forme de solides demi-mous, leurs compositions chimiques varient avec leurs origines brutes dont ils sont issus, ils sont composés sur tout de carbone et d'hydrogène.

Et donc, un liant hydrocarboné est d'une manière générale un matériau adhésif (un liant) contenant du bitume, du goudron, ou les deux. Cet élément agrégé avec des granulats fournit des « matériaux enrobés ».

Le goudron provient de la distillation de la houille.

Le bitume provient de la distillation du pétrole. Et sa masse volumique et prise égales à 1,03 t/m³.

I.1. CLASSIFICATIONS DES LIANTS HYDROCARBONES :

Une classification des liants est donnée dans la norme européenne EN 12-597. On différencie d'abord les liants bitumineux, qui regroupent des liants ou mélanges de liants et de granulats qui contiennent du bitume, et les liants à base de goudron. Les liants bitumineux sont ensuite classés l'origine du bitume : naturelle ou dérivée du pétrole [1] :

I.1.1. Les produits naturels:

Bitumes et asphaltes qui ont subi ou non après extraction certains traitements : raffinage, broyage, etc.

I.1.2. Les produits pyrogènes:

Les brais et goudrons divers essentiellement ceux qui proviennent de la distillation de la houille et du pétrole.

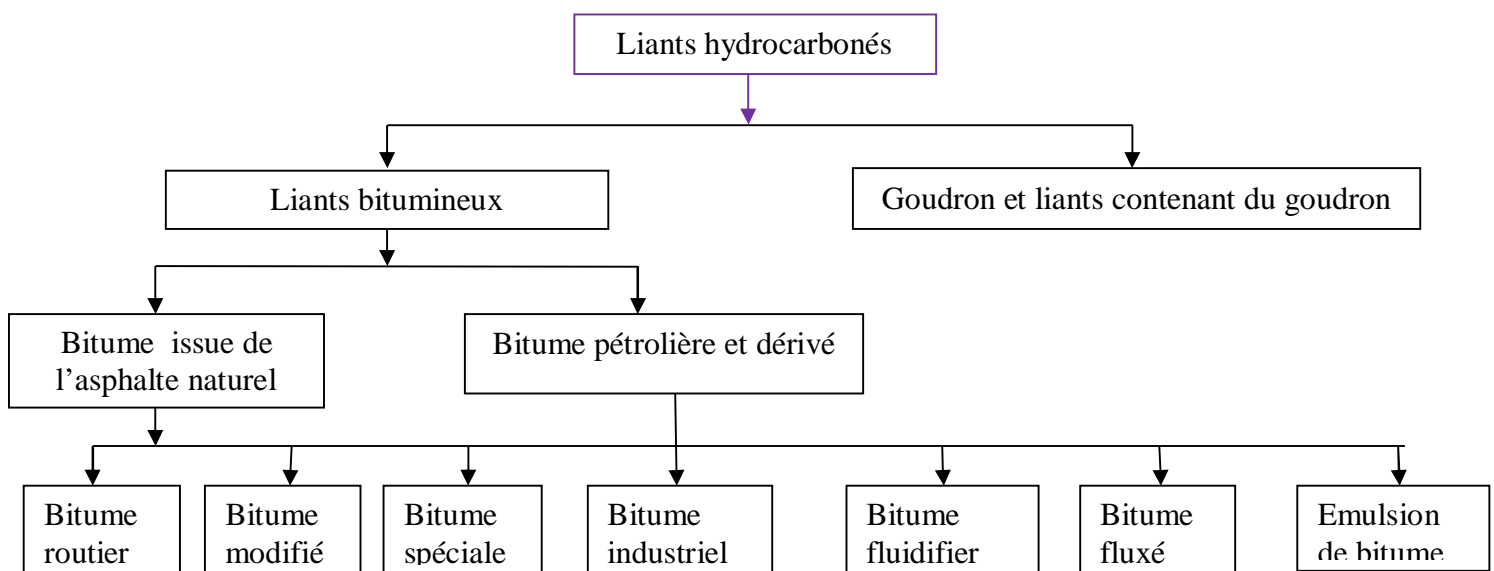


Figure I.1. La classification des liants hydrocarbonés [1]

Ces produits sont, en général, trop visqueux dans leur état naturel, pour pouvoir être employés directement. Il faut diminuer cette viscosité ou les liquéfier par différents procédés (chauffage, dissolution dans des solvants volatils, émulsions dans l'eau), pour pouvoir les utiliser à la place qui leur est destinée. Il est indispensable que ces traitements n'altèrent pas leurs caractéristiques essentielles à savoir leur souplesse, plasticité, imperméabilité, ductilité et adhésivité. De ces caractéristiques dépend l'emploi du liant ainsi que la méthodologie pour sa mise en œuvre.

I.2. Les QUALITES ET DEFAUTS DES LIANTS HYDROCARBONES :

- Souplesse, plasticité d'où leur emploi en chape souple ou en écran étanche.
- Une imperméabilité à l'eau et à l'air remarquable d'où leur utilisation comme revêtement d'étanchéité, de couverture, de cuvelage.
- Ductilité, résistance à l'usure ce qui les destinent aux revêtements de chaussées, de pistes, à la réalisation de mortiers et de bétons hydrocarbonés où ils jouent le rôle de liants.
- Une adhésivité remarquable et un pouvoir pénétrant offrant ainsi une bonne tenue à l'eau.
- Ils possèdent néanmoins des défauts (faible résistance mécanique, fragilité, ramollissement à la chaleur) auxquels on remédie par une mise en œuvre appropriée [2].

I.3. LES TYPES DES LIANTS HYDROCARBONES :

I.3.1. Les goudrons :

C'est un liquide noir brillant plus ou moins visqueux de densité supérieure à 1, de composition chimique très complexe : mélange de carbures d'hydrogène et de carbone en fines particules.

- Le goudron brut provient en général de houille distillée à haute températures ($1000 < T < 1300^{\circ}\text{C}$) ; de moyennes températures ($T = 800^{\circ}\text{C}$) et de basses températures (600°C). Comme il faut 20 tonnes de houilles pour donner une tonne de goudrons bruts.
- Le goudron reconstitué (ou goudron routier) est reconstitué à partir de brais et d'huiles épurées de différentes viscosités afin de fluidifier le liant et le rendre facilement utilisable par un chauffage approprié. Ces huiles sont destinées à faciliter la mise en œuvre et à offrir la souplesse, la cohésion et l'adhérence au liant et pour que ce dernier ne resse pas par temps chaud et ne devienne pas cassant et fragile par temps froid.

En fait, il y a deux catégories de goudrons :

- les goudrons à vieillissement normal, en allant du plus fluide au plus visqueux.
- les goudrons à vieillissement lent, appelés goudrons T.R.S. (Température de ramollissement superficiel) [3].

I.3.2. Les bitumes et les cut-backs :

I.3.2.1. Les bitumes :

Le bitume est une substance composée d'un mélange d'hydrocarbures, très visqueuse (voire solide) à la température ambiante et de couleur noire. Connue depuis la plus haute Antiquité sous forme naturelle, il provient, de nos jours, presque exclusivement de la distillation des pétroles bruts.

Dans le langage courant, on le confond souvent avec le goudron d'origine houillère, ou avec l'asphalte dont il n'est qu'un composant.

Plus généralement, le bitume désigne tout mélange d'hydrocarbures extraits du pétrole par fractionnement qui, sous forme pâteuse ou solide, est liquéfiable à chaud et adhère sur les supports sur lesquels on l'applique.

En construction routière, il sert de liant pour la réalisation de matériaux enrobés à chaud, tels que les bétons bitumineux ou les graves bitumes. Il entre également dans la fabrication d'enduits superficiels sous forme d'émulsion ou bien fluidifié par un solvant [4].

I.3.2.2.les cut-back :

Ce sont des bitumes fluides, c'est-à-dire coupés par des solvants pétroliers. Ils sont fabriqués en raffinerie ou en usine avec des proportions ; en faisant varier les pourcentages des constituants, on obtient toute une gamme de produit de viscosités très différentes : fluide à température ambiante pour le 0/1, visqueux pour le 800/1400.

Les propriétés des cut-backs dépendent étroitement :

- Des caractéristiques du solvant choisi.
- Des caractéristiques du bitume de base.
- Des proportions des composants.

I.3.3. l'asphalte :

L'asphalte désigne un mélange de bitume et de granulats. C'est un matériau « fermé » ne comportant pas ou peu de vide.

A l'état naturel, c'est un mélange de bitume et de roche calcaire ou siliceuse. Sous l'effet de la compression de ces deux matériaux, au cours du temps, par les couches supérieures, le calcaire est imprégné à cœur par le bitume (environ 12% de bitumes).

Cette roche est actuellement exploitée sous forme de poudre que l'on incorpore à d'autres formules. On le trouve dans des mines ou même affleurant à la surface.

Comme il y'a deux types d'asphalte : l'asphalte d'étanchéité et l'asphalte porphyre [5].

I.3.3.1.L'asphalte d'étanchéité :

Les propriétés de l'asphalte sont utilisées dans le domaine de l'étanchéité dans le bâtiment et le génie civil. le mélange se compose de :

- D'une couche de 8 mm d'asphalte pur (poudre d'asphalte).
- De bitume appelée « chape » et généralement posée sur du papier perforé sur 15 % de sa surface.
- De 22 mm d'asphalte porphyre (Filler + sable + graviers fins + bitume).

Ce complexe est utilisé pour l'étanchéité des ponts et terrasses d'ouvrages publics ou constructions de belle qualité.

I.3.3.2.l'asphalte porphyre :

On appelle asphalte porphyre un mélange de :

- bitume (environ 6 %).
- charge (calcaire broyé finement, environ 25 %).
- sable (environ 40 %).

- gravillons (encore appelé porphyre, environ 27 %).

Cet asphalte, qui est très différent de l'asphalte d'étanchéité, est utilisé sur certains trottoirs (notamment à Paris) ou en tant qu'asphalte de chaussée.

I.3.4. Les mastics :

Un mastic bitumineux est composé du bitume et du filler appelé (les fines), dont la définition normalisée correspond aux particules passant par un tamis de 80µm.

Ainsi, le mastic composé par la suspension des fines dans le bitume, devient le véritable liant. On constate, en effet, que l'agent qui agglomère l'ossature granulaire d'un enrobé est en réalité le mastic, soit le mélange bitume-filler [6].

I.4. LES CARACTERISTIQUE RHEOLOGIQUES DES LIANTS HYDROCARBONES :

I.4.1. LES CARACTERES QUI DIFFERENCIENT LES BITUMES ET LES GOUDRONS :

I.4.1.1. constitution chimique :

Le goudron contient des hydrocarbures cycliques non saturés, dérivés du benzène; traité à l'acide sulfurique bouillant il donne, des produits de sulfonation, le bitume comprend surtout des hydrocarbures cycliques saturés dérivés des cyclanes, il ne donne pas des dérivés sulfonés, le bitume pur est entièrement soluble dans le sulfure de carbone alors que le goudron se trouve floculé par ce solvant, les résines du goudron sont insolubles dans les huiles de bitume ou de pétrole. Les résines de pétrole sont au contraire, solubles dans les huiles du goudron [7].

I.4.1.2 caractéristique physico-chimiques :

Au point de vue des propriétés essentielles des bitumes pour leur emploi, il y a lieu de les envisager sous le même angle que les goudrons : viscosité, adhésivité, aptitude au séchage, Résistance au vieillissement, susceptibilité:

1- les bitumes sont plus adhérents que les goudrons et plus stables .

2- le goudron est plus susceptible aux variations de température et vieillit plus vite que le bitume.

3- le goudron est de densité >1; insoluble dans l'eau, mais soluble dans l'acide sulfurique. Chauffé à 80 °C, il déborde des récipients et s'enflamme. Au contact du gaz carbonique de l'air, il durcit et devient cassant.

4- le bitume de densité voisine de l'unité, augmente la résistance du revêtement. En revanche

le goudron ne constitue qu'un liant élastique sans accroître la résistance .

5- le mélange du goudron de houille et du brai de pétrole assez dur et non fluide donne un produit assez stable au stockage tant que le mélange ne contient pas plus de 15%

en moyenne de bitume pour les goudrons-bitumes et pas plus de 25% de goudron pour les bitumes-goudrons. Il est à noter qu'il ne faut jamais mélanger un goudron avec un cut-back; il y a en général floculation même si la teneur en bitume fluide est de 1%.

6-un bitume-goudron mis en place sur la route sous la forme de goudronnage superficiel ou sous forme d'enrobage a partiellement les avantages d'un goudron (au point de vue de l'adhésivité) et partiellement les avantages du bitume (résistance au vieillissement).

7-un goudron-bitume utilisé en revêtement finit par se recouvrir en surface d'une mince pellicule de bitume pur décanté qui protège la fraction du goudron située sur cette pellicule et l'empêche de s'oxyder et de perdre ces huiles plastifiantes aussi rapidement que si le bitume était absent [7].

I.4.2.LES CARACTERES DES CUT-BACKS :

Les propriétés des cut-backs dépendent :

- Des caractéristiques du solvant choisi.
- Des caractéristiques du bitume de base.
- Des proportions des composants.

I.4.3.LES CARACTERES DES ASPHALTES :

- **vieillessement :**

Certains vieillissement sont réversible et d'autres irréversible.

Le vieillissement réversible est généralement associé à des effets de l'organisation moléculaire.les molécules au sein de l'asphalte va lentement se réorienter dans une meilleure emballée. Il en résulte un matériau plus rigide.

Le vieillissement irréversible est généralement associé à l'oxydation au niveau moléculaire, cette oxydation augmente la viscosité de l'asphalte avec l'âge.

- **La déformation permanente:**

L'asphalte aura tendance à ce déformé sous la charge inélastique lorsque le réseau moléculaire est relativement simple et non relié entre eux.

- **Fracture:**

L'asphalte sera fracturé plutôt que de se déformer élastiquement sous stress lorsque le réseau devient trop moléculaires organisés et rigides.

- **Décapage :**

Asphalte adhère à regrouper parce que les molécules polaires dans l'asphalte sont attirés par les molécules polaires sur la surface des granulats.

Les molécules polaires dans l'asphalte peuvent varier dans leur capacité à adhérer à un type particulier de granulats.

Conclusion :

Nous venons de voir dans ce chapitre certains aspects qui caractérisent les liants hydrocarbonés (goudron, bitumes, asphalte...). Mais la science découvre que certains types de liant hydrocarboné ont eu des effets sur la santé humaine par exemple le goudron de houille brut est classé dans le groupe 1 des cancérigènes.

Alors il est préféré d'utiliser le bitume puisque il diffère de la composition par rapport au goudron.

Chapitre II

Les Bitumes

INTRODUCTION :

Le bitume est un matériau indispensable très utilisé en plusieurs domaines surtout en travaux publics et en génie civil il est utilisé comme liant ou pour les enrobés ou les bétons bitumineux, travaux d'étanchéité, d'isolation et de construction routière [8].

II.1.LE BITUME :

Le bitume est une substance composée d'un mélange d'hydrocarbures, très visqueuse à la température ambiante et de couleur noire. Connue depuis la plus haute Antiquité sous forme naturelle, sous forme pâteuse ou solide, est liquéfiable à chaud et adhère sur les supports sur lesquels on l'applique. Il provient, de nos jours, presque exclusivement de la distillation des pétroles bruts.

La viscosité varie avec la température, le bitume est solide à température ambiante. Porté à une température supérieure à 120°C, il devient pompable et peut être transporté et utilisé.

Pur ou modifié, fluxé ou mis en émulsion ses propriétés d'adhésivité, de cohésivité, d'élasticité, d'étanchéité et de durabilité et ses caractéristiques rhéologiques en font un matériau idéal pour la construction routière et les applications industrielles (bâtiment, automobile, électroménager,...).

De nos jours en construction de route le bitume est utilisé comme liant à la réalisation des enrobés ou le béton bitumineux ou les grave bitume Il entre aussi dans la fabrication d'enduits superficiels sous forme d'émulsion ou bien fluidifié par un solvant [8].

II.2.LES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES BITUMES:

Le bitume possède un grand pouvoir agglomérant, car il adhère à la majorité des matériaux usuels : pierre, bétons, bois, métal, verre.

C'est un excellent isolant thermique. Il est léger, ductile et souple. De point de vue mécanique, il se comporte comme matériau plastique ou élastique. Il est insoluble dans l'eau, mais l'on peut en obtenir des solutions dans de nombreux solvants organiques. Il est pratiquement inerte vis à vis de la Plupart des agents chimiques usuels [9].

II.3.APPLICATIONS HYDRAULIQUES:

Imperméables, durables, cohérent, excellents, se comportant selon les conditions de température et de charge comme des matériaux plastiques ou élastiques. Les bitumes possèdent évidemment une aptitude exceptionnelle à résoudre certains problèmes

hydrauliques. Ils permettent seuls la construction d'ouvrages résistants à l'érosion. Enfin l'entretien et la réparation des structures bitumineuses sont en général, relativement aisés [10].

Structure colloïdale du bitume

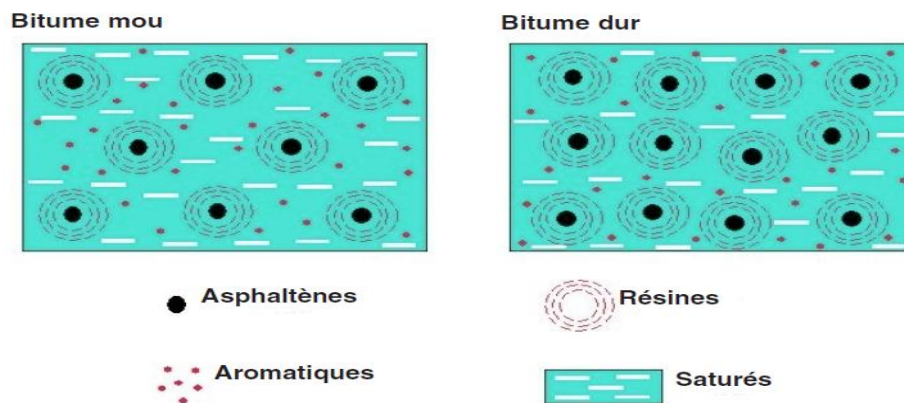


Figure II.1 : Structure colloïdale du bitume [10].

II.4.FABRICATION DU BITUME :

Concernant les principaux modes de fabrication des bitumes, citons la distillation en raffinerie des pétroles bruts lourds contenant suffisamment de fractions lourdes pour produire du bitume. La première étape de ce processus consiste en une distillation atmosphère qui permet de séparer les fractions légères du pétrole (essences, kérosène, gaz) des fractions lourdes, ces dernières étant ensuite distillées sous vide pour produire fuels, huiles et bitume.

Autre distillation faite par NAFTAL, citons encore les procédés de soufflage et de désalphaltage en Espagne et destinés pour être fournis à l'Algérie (SOPRETA).

-Le premier procédé consiste à oxyder les résidus sous vide par soufflage d'air chaud à 250°C

-Le deuxième procédé est utilisé pour des résidus sous vide ayant une teneur en fractions lubrifiantes trop importante et consiste à traverser les résidus sous vide par un courant ascendant de solvant : la différence de solubilité des fractions bitumineuses vis-à-vis du solvant employé permet alors d'obtenir le bitume souhaité dans ce dernier cas, le bitume présente une faible pénétrabilité [11].

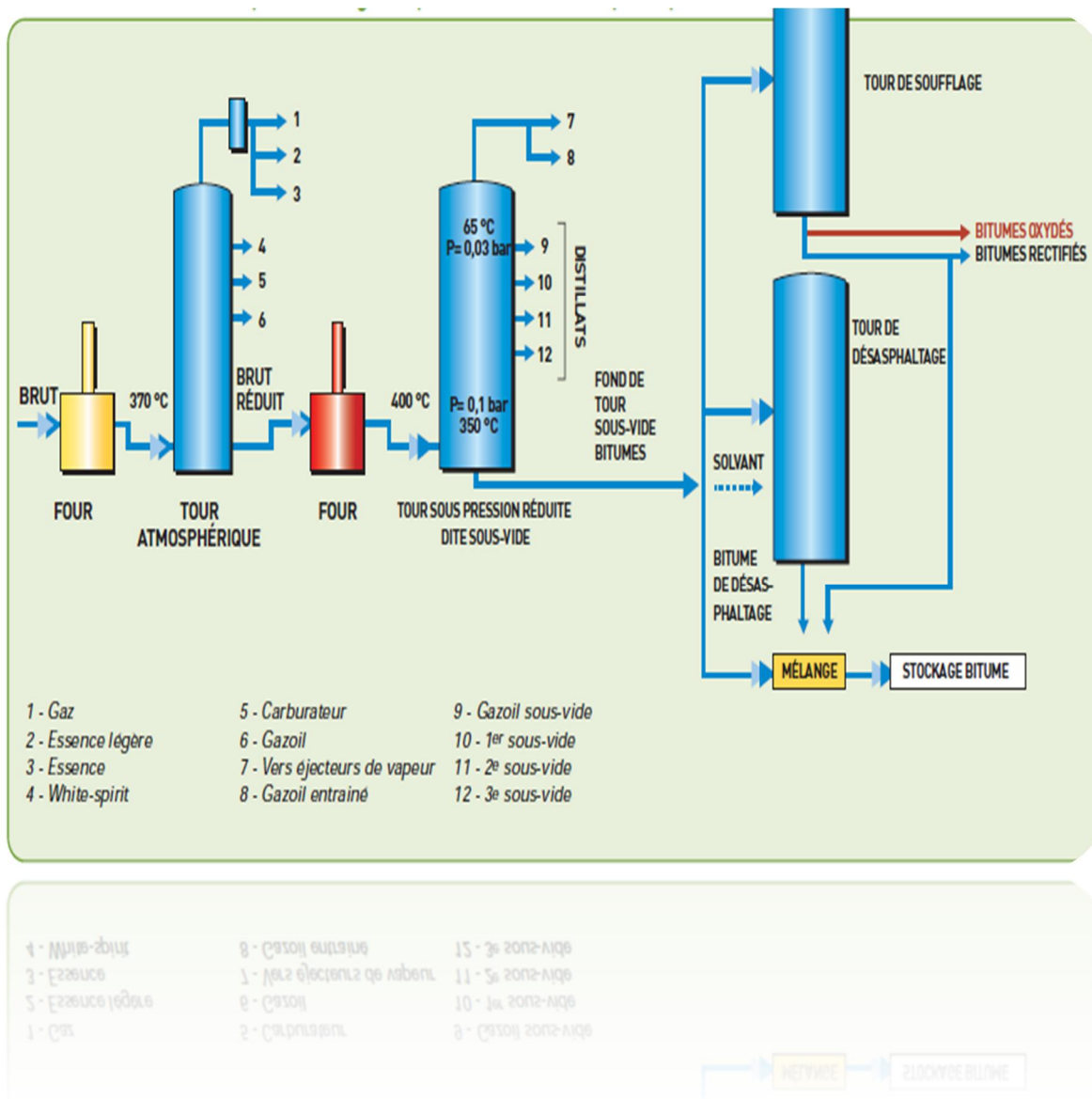


Figure II.2. Fabrication de bitume [11].

II.5. LES TYPES DE BITUME :

- ❖ Les bitumes cut-back
- ❖ Les bitumes purs
- ❖ Les bitumes oxydés
- ❖ Les émulsions.
 - **Bitume pur** : sont obtenus par distillation d’un pétrole brut.

Domaine d’emploi : -Fabrication des enrobés bitumineux à chaud

-Fabrication des bitumes fluidifiés.

- Fabrication des émulsions de bitumes et des bitumes oxydés.

- **Bitume fluidifié (ou cut-back)** : bitume additionné d'un diluant

Domaine d'emploi : -0/1 : L'imprégnation des sols avant la mise en œuvre, utilisation pour l'étanchéité.

-150/150 et 400/600 : La réalisation des enduits superficiels, entretiens des chaussées.

- **Bitume fluxé** : bitume additionné d'une huile de fluxage
- **Bitume modifié** : bitume dont les propriétés rhéologiques ont été modifiées pendant la fabrication par l'emploi d'un ou plusieurs agents chimiques
- **Emulsion de bitume** : se sont des dispersions de bitume, dans l'eau par l'intermédiaire d'une phase aqueuse.

Domaine d'emploi :

ECR (émulsion à ruptures semi rapide) :-L'enrobage des granulats.

-La pénétration.

ECE (émulsion à rupture lentes) :-Fabrication de la grave-émulsion.

-La fabrication des enrobés à froid.

Et selon leur usage:

- **Bitume routier** : bitume utilisé pour l'enrobage des granulats destinés à la construction et l'entretien des routes et des structures assimilées
- **Bitume industriel**: par opposition au précédent, bitume servant à d'autres usages

Type de bitume	Norme	Nature de l'essai de qualification	nb	Classes
<u>Bitumes purs</u>	NF EN 12591 ⁸	Pénétrabilité à l'aiguille à 25 °C	9	20-30 ; 30-45 ; 35-50 ; 40-60 ; 50-70 ; 70-100 ; 100-150 ; 160-220 ; 250-330
		Pénétrabilité à l'aiguille à 15 °C ⁹	4	250/330 ; 330/430 ; 500/650 ; 650/900
		Viscosité cinématique à 60 °C ¹⁰	4	V1500 ; V3000 ; V6000 ; V12000
<u>Bitumes routiers durs</u>	NF EN 13924 ¹¹	Pénétrabilité à l'aiguille à 25 °C	2	10/20 ; 15/25.
<u>Bitumes industriels durs</u>	NF EN 13305 ¹¹	Point de ramollissement bille et anneau	5	H80/90 ; H85/95 ; H90/100 ; H100/110 ; H155/165.
<u>Bitumes oxydés</u>	NF EN 13304 ¹¹	Point de ramollissement bille et anneau	8	85/25 ; 85/40 ; 95/25 ; 95/35 ; 100/40 ; 105/35 ; 110/30 ; 115/15.
<u>Bitumes fluidifiés</u>	XP T 65-002 ¹¹	Pseudo-viscosité à 25 °C	5	0-1 ; 10-15 ; 150-250 ; 400-600 ; 800-1 400.
<u>Bitumes fluxés</u>	XP T 65-003 ¹¹	Pseudo-viscosité à 25 °C	6	0-1 ; 10-15 ; 150-250 ; 400-800 ; 800-1 600 ; 1 600-3 200.
<u>Bitumes modifiés</u>	NF EN 14023 ¹²	Pénétrabilité à l'aiguille à 25 °C	10	10-40 ; 25-55 ; 45-80 ; 40-100 ; 65-105 ; 75-130 ; 90-150 ; 120-200 ; 200-300.

- **Tableau .II.1** la construction et l'entretien des routes et des structures assimilées.

II.6.LES CARACTERISTIQUES DES BITUMES:

Les propriétés physique d'un bitume sont déterminées par des essais qui les caractérisent, on parle ainsi de caractérisation.

Ces essais de caractérisation sont menés sur des échantillons représentatifs des produits qui sont eux même prélevés selon des méthodes normalisées. Nous rappelons qu'actuellement en Algérie, le bitume est généralement caractérisé par deux essais qui sont insuffisants (pénétrabilité et la température bille anneaux). Pour mieux caractérisé le bitume, une gamme d'essais est recommandée [12].

II.7.CLASSEMENT DES BITUMES:

Les bitumes sont classifiés selon un essai de qualification. Les bitumes purs et les bitumes routiers durs sont classés à l'aide de l'essai de pénétrabilité à l'aiguille, les bitumes industriels durs et les bitumes oxydés avec l'essai de point de ramollissement bille et anneau, les bitumes fluidifiés et les bitumes fluxés selon leur pseudo viscosité mesurée au viscosimètre [13].

II.8.BITUMES UTILUSES EN ALGERIE :**II.8.1.Les Bitumes Purs:**

Les bitumes purs sont obtenus par la distillation sous vide du pétrole brut suivi d'un soufflage à l'air. Ils existent sous deux grades: 80/100 et 40/50, représentant les limites de pénétrabilité de l'aiguille. Utilisés dans les domaines routiers pour la construction et l'entretien des chaussées et pour la formulation des enrobés. Les bitumes purs sont également utilisés comme matière première de base pour la formulation des bitumes fluidifiés (cut-backs), des bitumes oxydés et des émulsions de bitumes [14].

II.8.2.Les Bitumes Oxydés:

Les bitumes oxydés sont obtenus par soufflage d'air d'une charge bitumineuse. NAFTAL commercialise le bitume oxydé 85/25 (le 85 représente le point de ramollissement et le 25 la pénétrabilité à l'aiguille). Les bitumes oxydés sont utilisés pour l'étanchéité multicouche, pour l'isolation thermique et phonique et pour la protection anticorrosion des ouvrages d'art. En plus de leur commercialisation en vrac, les bitumes oxydés sont proposés sous deux formes conditionnés en sacs de 25 Kg et en fûts de 200 Kg [14].



Photo II.1 : Station NAFTAL [14].

II.8.3. Les Bitumes Fluidifiés ou Cut-backs:

Les bitumes fluidifiés ou cut-backs sont formulés dans les centres bitumes de NAFTAL. Ils sont obtenus en fluidifiant les bitumes purs avec du kérosène. NAFTAL commercialise trois grades de bitumes fluidifié :

- 0/1 (cut-back très fluide).
- 150/250 (cut-back visqueux).
- 400/600 (cut-back très visqueux).

Les bitumes fluidifiés sont des liants, ayant pour but d'assurer la liaison entre granulats et support. Ils sont utilisés :

- En enduits superficiels pour les chaussées.
- Pour la formulation des enrobés.
- Pour la formulation des émulsions de bitumes.

II.8.4. Les Emulsions de Bitumes:

Les émulsions de bitumes sont des dispersions de bitumes purs dans une solution aqueuse. Quatre types d'émulsions de bitume sont formulés au centre bitumes d'EL-EULMA et sont distribués vers d'autres centres. Ce sont des :

- Emulsions cationiques;
- Emulsion de répandage 60%,
- Emulsion de répandage 65%,

Elles sont utilisées essentiellement pour la réalisation des enduits superficiels.

- Emulsion d'enrobage 65% :
Elle est appliquée pour la pénétration et l'enrobage de granulat.
- Emulsion sur stabilisée 60% :
Elle est utilisée pour le traitement des sols et des graves.

Conclusion :

Le bitume est un produit qui adhère à la majorité des matériaux usuels : pierre, béton, bois, ciment, métal, verre, etc. C'est un excellent isolant thermique, diélectrique et phonique, c'est un liant car ses propriétés particulières telles que l'étanchéité, la cohésivité, l'élasticité, la durabilité lui permettent d'être utilisé dans des applications très variées outre la construction et l'entretien du réseau routier.

Nous venons de voir certains aspects qui caractérisent les bitumes (composition chimique, structure, comportement, etc.).

Il est important de savoir que la structure de chaussée est soumise à des sollicitations (efforts horizontaux, verticaux et de température), que seule une bonne connaissance de qualités intrinsèque de notre bitume permet la longue durée de vie de la chaussée. Dans ce contexte, l'industrie routière a largement contribué à l'avancée des recherches scientifiques sur ce produit, en termes technologiques ou en termes de santé.

Chapitre III

Les Enrobés

INTRODUCTION :

Un enrobé bitumineux (ou béton bitumineux ou grave bitume) tout mélange de granulats et de liant hydrocarboné qui assure le lien en particulier le bitume. il est appliqué dans les domaines : routier, autoroutier, de voirie urbaine.

Un enrobé bitumineux inclut les mélanges dont le liant n'est pas forcément un bitume (goudron, liant à base de bitume fluidifié, etc.).

III.1.GENERALITES SUR L'ENROBE :

Un enrobé bitumineux est constitué de différents matériaux :

- Des granulats : graviers de diamètre supérieur à 63 micromètres.
- Des « fines » ou *fillers* : sables et poussières de section inférieure à 63 micromètres. Ces éléments, présents naturellement en faible quantité dans les granulats, sont essentiels pour réaliser l'enrobage du liant (le bitume) avec les granulats, car ce sont les fines qui agrègent le bitume [15].
- L'obtention des enrobé par mélange des granulats et du bitume fait appel à des propriétés bien spécifiques aux liants hydrocarbonés en général et donc au bitumes en particulier :
 - un pouvoir d'adhésion aux granulats.
 - une consistance variable avec la température.

Comment on a :

- **Enrobés à chaud:**

IL s'agit d'enrobés fabriqués aux alentours de 180°C, dans une centrale d'enrobage. L'objectif est de produire un enrobé durable qui sera transporté à chaud vers le chantier d'épandage, pour former la couche supérieure du revêtement des infrastructures routières.

- **Enrobé à froid:**

La fabrication à chaud consiste à sécher et à chauffer des granulats à une **température** supérieure à 100°C, et à les malaxer avec un liant hydrocarboné (bitume). Un enrobe à froid est défini comme un mélange de granulat pour lequel est utilisé au moins une émulsion de bitume, modifiée ou non, dont la préparation finale s'effectue sans chauffage, ni séchage et qui peut être mis en œuvre à température ambiante, c'est à dire à froid.

III.2. CARACTERISTIQUE D'UN ENROBES HYDROCARBONE MIS EN PLACE :

- La caractéristique physique la plus importante demandée à une couche d'enrobé est une bonne résistance en stabilité dynamique c'est-à-dire une bonne résistance à la fatigue sous le trafic.

L'enrobée ne doit pas montrer de défaillances sous contraintes verticales (déformation donnant lieu à l'orniérage et plus grave encore des ressuges) ni de défaillance sous contraintes horizontales (glissement, fissuration, décollement).

- L'enrobée doit avoir une imperméabilité conforme à la fonction remplie par la couche considérée. (EX : couche de roulement).
- L'enrobée doit présenter une bonne résilience à froid c'est-à-dire pas de fragilité successive.

Cette caractéristique n'est pas inutile dans les pays chauds car elle donne une indication sur l'oxydabilité d'un liant c'est-à-dire le durcissement qu'il peut subir en réagissant avec l'air.

- La surface d'une couche de roulement devra présenter une bonne rugosité, caractéristique découlant surtout de la nature de la pierre, et dans une mesure nettement moindre de relief de la surface .ce relief améliorant seulement la rugosité par route fortement mouillée.
- La surface d'une couche de roulement devra présenter une planéité suffisante pour assurer un minimum de confort à la circulation [16].

III.3. TENEUR EN LIANT :

Le liant bitumineux transmet naturellement son comportement viscoélastique à l'enrobé. Il faut donc définir une teneur en liant optimale afin d'assurer la cohésion du mélange et le bon enrobage de tous les grains du mélange par un film mince de bitume, et ce tout en évitant des problèmes de fluage et d'orniérage trop prononcés à haute température (dans le cas d'une forte teneur en bitume) [17].

Pour un mélange granulométrique donné, la formule suivante permet d'avoir une approximation sur la surface spécifique.

$$S_t = \frac{0.25G + 2.3S_1 + 12S_2 + 135f}{100} \quad (\text{III.1})$$

Avec: G : surface spécifique des éléments > 6,3 mm.

S1 : surface spécifique des éléments compris entre 0,315 et 6,3 mm.

S2 : surface spécifique des éléments compris entre 0,315 et 0.063 mm.

F : surface spécifique des fines < 0.063 mm.

La teneur en liant optimale, fonction de la surface spécifique des granulats, est donnée par la formule expérimentale suivante :

$$P = \alpha K \sqrt[5]{S_t} \quad (\text{III.2})$$

Avec : P : teneur en liant (%)

α : facteur dépendant du type de granulats.

$\alpha = 2.65 / M_v$, M_v : masse volumique des granulats utilisés.

S_t : Surface spécifique des granulats (m^2/Kg)

K : module de richesse, permet de classer les mélanges bitumineux (béton bitumineux) ($3 < K \text{ béton bitumineux} < 3,8$) et les graves bitumes ($2 < K \text{ grave bitume} < 3,2$).

Plus globalement, la teneur en liant à retenir peut être définie à partir d'une étude en laboratoire tenant compte du trafic, de l'épaisseur de la couche d'enrobé, des compacités in situ exigées et de la chaussée. En particulier, dans le cas d'un trafic de poids lourds important supérieur à 200 PL/j. la teneur en bitume doit diminuer.

III.4.LES DIFFERENTS TYPES D'ENROBES BITUMINEUX :

Les enrobés s'utilisent au niveau des diverses couches de chaussés et ont donc des structures et des compositions différentes pour répondre aux contraintes particulières de la couche. Trois grands types d'enrobés bitumineux peuvent être mis en avant [18] :

- 1- **les graves bitumes (G.B)** : mises au point dans les années 70, elles représentent aujourd'hui la première technique d'assise des chaussées autoroutières. Ce type d'enrobé est utilisé en couche de base pour la diffusion des efforts.
- 2- **Les enrobés de liaison(BBL)** : la couche de liaison étant une couche de transition entre la couche de base et la couche de roulement, sa formulation est intermédiaire entre les formulations de ces deux couches.
C'est en général un enrobé 0/14 contenant environ 5% de bitume dur 35/50. Ce béton bitumineux de liaison (BBL) est mis en œuvre en couche de 5 à 8 cm d'épaisseur.
- 3- **Les enrobés en couche de roulement (BB)** : ces enrobés de surface sont de plusieurs natures suivant leurs caractéristiques. Comment il existe ainsi des enrobés grenus (BBG) et semi-grenus (BBSG) caractérisé par une granulométrie particulière.

On distingue sous ce vocable des produit qui ce différencient des enrobés classiques a base de bitume pur.

Ces différences tiennent :

- A Des compositions granulométriques particulière.
- A L'utilisation des liants modifiés ou à l'ajout de produit comme : fibres, poudrette de caoutchouc, et toutes sortes de polymères qui ont pour l'objectif de modifier les caractéristiques rhéologique du bitume pur.

1 – Les enrobés à modules élevé (EME) : ces enrobés concernent les assises de chaussés (base et fondation) et les couches de liaison. Caractérisé par un module de rigidité, une résistance à la fatigue plus élevée.

2- Les bétons bitumineux minces (BBM) : utilisés en couche de roulement et caractérisés par l'utilisation de bitume modifié favorisant ses caractéristiques mécaniques à fort trafic.

3- Les bétons bitumineux très minces (BBTM) : caractérisés par leur faible épaisseur (2.5 cm), l'utilisation d'une granulométrie discontinue et d'un bitume modifié.

4- Les enrobés drainants : on appelle enrobés drainants une couche de roulement de 4cm d'épaisseur dont la teneur en vides est comprise entre 20 et 25%. ce résultat est obtenu avec une formule de type « hyper grenu » à forte discontinuité.

Favorisent la sécurité par temps de pluie.

III.5.FABRICATION :

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

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

Le processus de fabrication d'enrobé suit les étapes suivantes [19] :

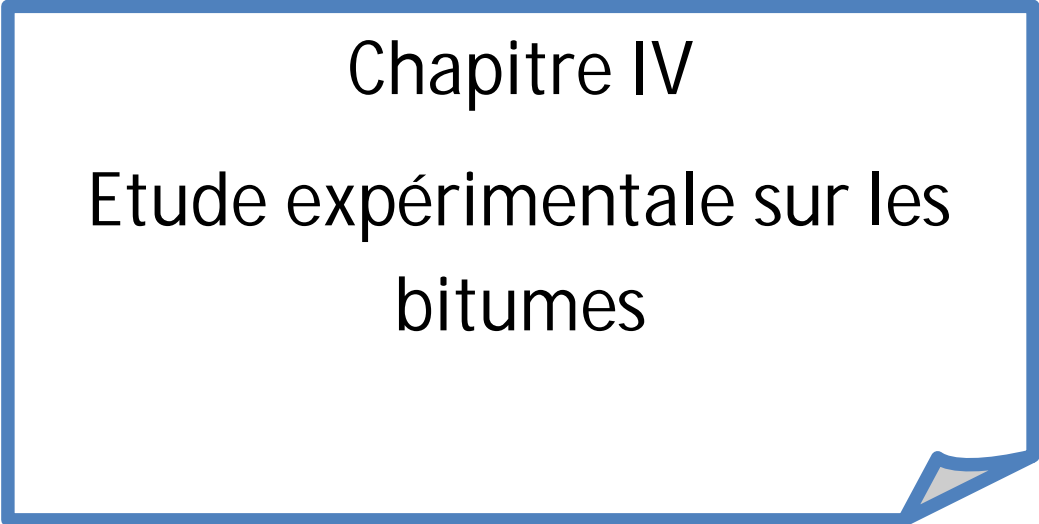
- Alimentation : remplissage de trémies (« prédoseurs ») avec les différentes coupures de granulats, à l'aide d'un chargeur.
- Adjonction éventuelle de fillers contenu dans un silo.
- Convoyage : les prédoseurs déversent leur contenu à des vitesses différentes correspondant à la proportion désirée par coupure de matériau (en fonction de la formule d'enrobé à produire), sur un tapis convoyeur.
- Séchage : les matériaux sont enfournés dans le tambour malaxeur de la centrale, qui est un cylindre pouvant mesurer plus de 10 mètres de long et 2 m de diamètre, animé par des galets provoquant sa rotation, et disposant à l'autre extrémité d'un brûleur (généralement alimenté au fioul lourd), dont la flamme peut mesurer plusieurs mètres. À l'entrée du tambour, et tout au long de leur progression à l'intérieur de celui-ci, les matériaux sont séchés par la température de la flamme.
- Malaxage : tout au long de leur progression, les matériaux sont mélangés grâce à la rotation du tambour et des lames placées à l'intérieur.

- Adjonction des fines de recyclage : les fumées issues du séchage sont filtrées et les fines contenues dans ces fumées sont réinjectées dans le tambour afin de respecter la granulométrie initiale.
- Adjonction du bitume : les matériaux parvenant à l'autre extrémité du malaxeur sont « enrobés » avec le bitume injecté à l'aide d'une pompe selon la teneur désirée, et un dernier malaxage est effectué.
- Stockage : l'enrobé produit est ensuite stocké en trémies, soit à l'aide d'un chariot (ou *skip*) dans lequel on déverse l'enrobé en sortie du malaxeur par gâchées, soit en continu à l'aide de tapis adaptés.
- Chargement : l'enrobé stocké est ensuite chargé dans les camions qui se placent sous les trémies de stockage, ou se trouve une bascule.

CONCLUSION:

La meilleure obtention de l'enrobé dépend de la qualité des granulats (granulométrie) ainsi que du bon choix du liant (le type de bitume).

L'objet de l'étude de formulation est de définir les dosages des divers constituants capables d'atteindre et d'assurer, au cours de la vie de la chaussée, le maintien à un niveau satisfaisant des performances.



Chapitre IV
Etude expérimentale sur les
bitumes

IV.1. pénétrabilité à l'aiguille :

L'essai de pénétrabilité est une mesure empirique de la consistance. Les types de bitume à faible pénétration seront utilisés dans les climats plus chauds pour éviter leurs ramollissements à la température élevée de l'été. Les types de bitume à haute pénétration peuvent être utilisés dans le nord pour éviter la fragilité excessive durant l'hiver.

C'est un essai simple qui permet d'apprécier la consistance d'un bitume à différente température. La mesure de la pénétrabilité à une température bien précise ; 25°C sert à classer les bitumes purs en différentes catégories.

IV.1.1 But de l'essai :

L'essai à pour objet de déterminer la pénétrabilité à l'aiguille des produits bitumineux.

IV.1.2. Définition :

La pénétrabilité à l'aiguille d'un produit bitumineux est la consistance exprimée comme la profondeur, en dixièmes de millimètre, correspondant à la pénétration verticale d'une aiguille de référence dans un échantillon d'essai du matériau, dans des conditions prescrites de température, de charge et de durée d'application de la charge.

La charge comprend l'aiguille, son support et éventuellement une masse additionnelle.

IV.1.3. Principe de l'essai :

Au moyen d'un pénétromètre muni d'une aiguille type on mesure son enfoncement sous une charge de 100g dans un échantillon de bitume pur à une température bien précise (25°C), durant un intervalle de temps de (5sec), sert à classer les bitumes purs en différentes catégories.

La pénétrabilité est alors la profondeur à laquelle pénètre cette aiguille dans le produit à examiner, exprimée au 1/10 de millimètre mesurée par un pénétromètre.

IV.1.4 Appareillage :

L'appareillage comprend les éléments ci-après.

IV.1.4.1. Gobelet :

Cylindre à fond plat, en métal, en porcelaine ou en verre. La profondeur interne du récipient doit être supérieure d'au moins 10mm à la pénétration

Attendue et elle ne doit pas être inférieure à 35mm. Son diamètre intérieur doit être au moins de 55mm et au plus de

Pour les pénétrabilités inférieures ou égales à 220, utiliser un gobelet A dont les démentions inférieures sont :

- Diamètre : 55mm
- Profondeur : 35mm



Photo IV.1 : Gobelet en métal [20].

Et pour des pénétrabilités supérieures à 220, un gobelet B de démentions suivantes :

- Diamètre : 55mm
- Profondeur : 75mm

IV.1.4.2 .Aiguille :

Aiguille conforme aux dimensions indiquées sur la figure en acier inoxydable, trempé et revenu de type Z 100CD 17. (NF A 35-575) ou équipement, présentant une dureté Rockwell C de 54 à 60 déterminée selon la norme NF A 03-153 une de ses extrémité est usinée en forme de cône présentant un angle de sommet compris entre $8^{\circ}40$ et $9^{\circ}40$ sur toute la longueur de 6.3mm, le cône et la partie cylindrique de l'aiguille doivent être coaxiaux, l'écart entre les deux axes ne doit pas excéder 0.2 mm au niveau de l'intersection des surfaces coniques et cylindriques : la pointe du cône est émoussée par meulage perpendiculairement à 2° près au plus, à l'axes de façon à obtenir un tronc de cône à arêtes nettes dont la partie base présente un diamètre compris entre 0.14 et 0.16mm.

L'aiguille est montée de façon rigide sur un fourreau en laiton ou en acier inoxydable de diamètre $3.2\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ et d'une longueur telle que la masse de l'ensemble, aiguille fourreau, soit de $205\text{g} \pm 0.05\text{g}$. Cette masse peut être ajustée par parçage de la face supérieure ou par usinage de méplats sur la tige. La partie de l'aiguille restant libre est de $50\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$, l'extrémité de l'aiguille ou de toute autre partie de l'aiguille ne peut être décalée de plus de 1 mm par rapport à l'axe du fourreau.

IV.1.4.3 Pénétrromètre :

Tout appareil permettant un déplacement vertical du porte-aiguille sans friction un positionnement précis de l'aiguille sur la surface de la prise d'essai à l'aide de porte-aiguille ou plateau réglable, une mesure de la pénétrabilité à 0.1mm près, peut être utilisé.

Le poids de l'ensemble mobile seul doit être de $47.5\text{g} \pm 0.05\text{g}$, celui de l'ensemble mobile comprenant l'aiguille doit être de $50.0\text{g} \pm 0.05\text{g}$, des masses de $50\text{g} \pm 0.05\text{g}$ et de $100\text{g} \pm 0.05\text{g}$ seront utilisées suivant la pénétrabilité du produit soumis à l'essai, l'ensemble mobile sera facilement dissociable du pénétrromètre pour permettre des contrôles de poids, on

vérifiera régulièrement, par exemple tout les mois ou tous les 10 essais que la masse totale de l'ensemble aiguille, porte-aiguille et charges additionnelles correspond à $\pm g$ près à la charge spécifié pour l'essai. On vérifiera, avec la même régularité, que ces appareils permettant un temps de libération de l'équipage avec une précision de $\pm 0.1s$.

L'appareil doit être muni de réglages de niveau et comporter une échelle graduée en dixièmes de millimètres et allant au moins jusqu'à 500 dixièmes de millimètre.

Notes : il existe des appareils semi automatiques qui apportent des facilités d'exécution. On vérifiera de temps à autre sur ces appareils le temps de libération de l'équipage.

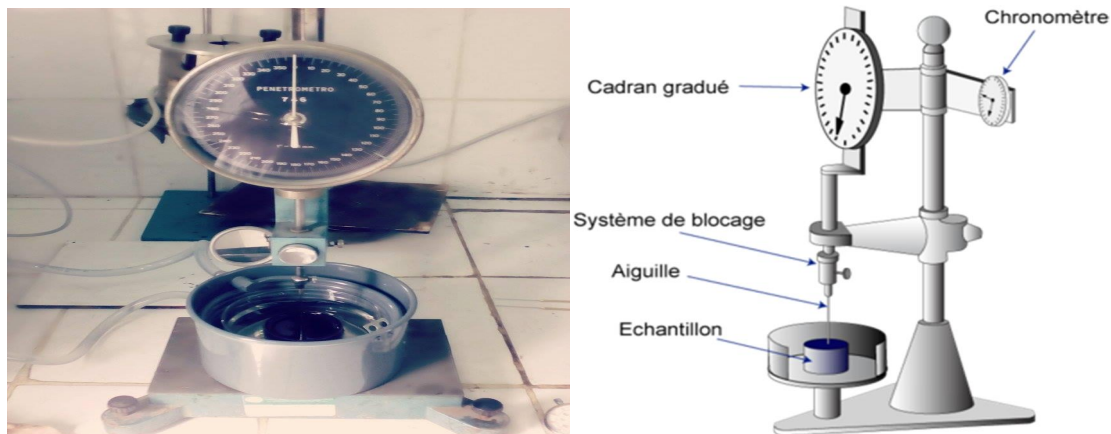


Photo IV.2 : pénétromètre

IV.1.4.4 Thermomètre :

Thermomètre de contrôle de la température du bain.

IV.1.4.5 Dispositif de chronométrage :

Précis à 0.1s.

IV.1.4.6. Bain d'eau thermostatique :

Sa capacité set de 10 litre au minimum. La température doit pouvoir être réglée à $25^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ou à toute autre température choisie, également à 0.1°C ou à toute autre température choisie, également à 0.1°C près.



Photo VI.3 : Bain d'eau thermostatique.

IV.1.4.7. Récipient gobelet :

Le récipient, qui reçoit le gobelet garni du produit bitumineux à essayer et qui sert à son transfert, doit être d'une capacité suffisante pour assurer l'immersion complète de la prise d'essai et de son contenant sur la plate-forme du pénétromètre. Son fond plat est suffisamment solide pour assurer sa stabilité.



Photo IV.4 : récipient qui support de gobelet

IV.1.5 Mode Opérateur :

IV.1.5.1 Préparation de la prise d'essai

On a Chauffer l'échantillon avec précaution, pour éviter les surchauffes locales, à la température la plus basse à laquelle il devient suffisamment fluide pour pouvoir être versé, en aucun cas, la température de l'échantillon ne doit pas être supérieure de plus de 100°C à son point de ramollissement déterminé par la méthode « bille agneau » (NF T 66-008) agiter l'échantillon pour l'homogénéiser en évitant l'inclusion de bulles d'air, ensuite on a verser l'entement dans le gobelet préchauffé, toujours pour éviter la formation de bulles. Après on a refroidissement à la température de l'essai, la hauteur de l'échantillon dans le gobelet doit être supérieure d'au moins 10mm à la profondeur à laquelle l'aiguille est susceptible de pénétrer.

On a Protéger le gobelet et son contenu de la poussière par un couvercle simplement posé, l'abandonner dans un local dont la température est comprise entre 20°C et 30°C pendant 1h30min à 2h si la prise d'essai se trouve dans le gobelet B, 1h à 1h30min dans l'autre le bain d'eau étant maintenu à 25°C ± 0.1°.

Il est dispensable que la durée comprise entre la fin du coulage de l'échantillon dans le gobelet et la mesure de la pénétrabilité ne dépasse pas 4h (2h+2h). La prise d'essai doit être immergée dans le bain à une profondeur d'au moins 100mm et doit reposer sur une tablette perforée placée à au moins 50mm du fond du bain.

IV.1.5.2 Détermination de la pénétrabilité :

On a Placé la prise d'essai dans le récipient de transfert garni d'une quantité suffisante d'eau provenant du bain pour recouvrir. on a complètement le gobelet. On a Placé ensuite ce récipient sur le plateau du pénétromètre. Déplacer l'aiguille chargée, la charge totale étant de 100g ± 0.1g pour qu'elle affleure exactement la surface de la prise d'essai, l'affleurement

étant obtenu en faisant coïncider la pointe de l'aiguille avec son image réfléchiée sur la surface de la prise d'essai, utiliser à cette fin une source lumineuse convenablement placée.

Ramener à 0 l'aiguille du cadrons, libérer l'aiguille pendant la durée spécifiée de $5s \pm 0.1s$, la bloquer aussitôt et mesurer la profondeur d'enfoncement en dixièmes de millimètres.

Effectuer au moins trois déterminations validées avec trois aiguilles différentes sur des points de la surface de l'échantillon situés à au moins 10mm du bord du récipient, et à au moins 10mm les uns des autres. Après chaque mesure, replacer la prise d'essai et le récipient de transfert dans le bain d'eau.

Avant chaque mesure, l'aiguille doit être nettoyée à l'aide d'un chiffon propre imbibé de toluène ou de tout autre solvant convenable, puis avec un chiffon propre et sec. Il est formellement déconseillé de nettoyer les aiguilles avec des produits possédant des propriétés lubrifiantes, silicone.

IV.1.6.RESULTAT ET ANALYSE:

Bitume	Unité	Essai(1)	Essai(2)	Essai(3)
40/50	1/10mm	40	42	41

Tableau IV.1.Résultats des essais de pénétrabilité sur bitume 40/50

Les résultats trouvés font ressortir que notre bitume fait partie des bitumes durs conformément aux spécifications techniques de la norme (NF T 66-004).

Les résultats répondent à peu de chose près aux spécifications du matériau puisque nous avons :

L'enfoncement (D1, D2, D3) de bitume 40/50

- D1=40 1/10mm appartient à 40/50
- D2=42 1/10mm appartient à 40/50
- D3=41 1/10mm appartient à 40/50

La moyenne = 41 1/10mm

Le bitume que nous examinons est conforme aux spécifications techniques de l'extrait de bitume.

IV.2. POINT DE RAMOLLISSEMENT (BILLE ET ANNEAU) :

Les différents types de bitume se ramollissent à des températures différentes. Le point de ramollissement est ordinairement déterminé par la méthode bille et anneau. Les bitumes plus durs atteignent un degré de ramollissement arbitraire à certaines températures qu'indique justement l'essai.

IV.2.1 But de l'essai :

L'essai a pour objet de déterminer la température à laquelle un produit bitumineux (bitume) se ramollie.

IV.2.2 Définition :

Le point de ramollissement est la température à laquelle un produit bitumineux atteint un certain degré de ramollissement dans des conditions normalisées. (C'est-à-dire la déformabilité du liant sous une charge en fonction de la température).

IV.2.3. le principe :

Une bille d'acier d'une masse déterminée est placée sur une prise d'acier du produit, contenue dans un anneau de métal de dimension normalisées. L'ensemble est chauffé à une vitesse constante déterminée. La température à laquelle la prise devient assez molle pour que la bille, ait pénétré le produit bitumineux, tombe enveloppée de celle-ci, d'une hauteur déterminée, est prise comme le point de ramollissement du produit étudié.

IV.2.4. Appareillage :

IV.2.4.1 Anneaux à épaulement en laiton :

Les anneaux sont supportés par un dispositif en laiton ayant les dimensions indiquées sur la figure ceux-ci doivent être en position horizontale, leurs faces inférieures étant distantes de 25.4mm de la face supérieure de la plaque du dessous de support celle-ci étant elle-même à une distance du récipient comprise entre 13 et 19mm. La hauteur de liquide dans le bain ne doit pas être inférieure à 102mm.

IV.2.4.2 Billes :

Billes en acier dont le diamètre est de 9.35mm et de masse $3.5g \pm 0.05g$.



Photo IV.5 : Bille et anneaux en laiton

IV.2.4.3 Guides :

Dispositif en laiton pour centrer la bille.

IV.2.4.4 Bain :

Vase cylindrique en verre, susceptible d'être chauffé, ayant comme dimension minimales : 8.5cm en diamètre et 12cm de profondeur entre l'évasement du bord supérieur et le fond.

IV.2.4.5 Thermomètre :

Le thermomètre est suspendu de façon que l'extrémité inférieure de son bulbe soit au niveau de la face inférieure des anneaux et moins de 12.5mm de ceux-ci sans toutefois le toucher.

IV.2.5 Mode opératoire :

Photo IV.6 : placer les billes au centre du guide



Photo IV.7 : Assemblage de l'appareillage

IV.2.5.1 Préparation de l'échantillon

On a Chauffé l'échantillon en ayant prit les soins d'éviter les surchauffes locales et l'agitant constamment jusqu'à ce qu'il soit assez fluide pour être versé. La température voulue doit être atteinte en deux heures au plus et ne doit pas dépasser le point de ramollissement présumé de plus de 110°C. On a Evité l'introduction d'air dans l'échantillon.

On a Versé l'échantillon chauffé dans deux anneaux eux-mêmes préchauffés à la même température. Pendant cette opération, les anneaux reposent sur une plaque enduite d'un mélange en partie égales de glycérine et de dextrine pour éviter l'adhérence au produit. Laisser refroidir pendant 30min au moins mais sans que ce temps ne puisse entraîner une durée totale de l'essai supérieure à 240min. les échantillons mous à température amiante doivent être refroidis pendant 30min au moins à une température inférieure de 8°C ou plus au point de ramollissement présumé.

Après refroidissement, on a enlevé l'excès de produits par arasement, en utilisant une spatule ou un couteau légèrement chauffé. Dans le cas ou l'essai est répété, utiliser un récipient propre et un échantillon nouveau.

IV.2.5.2 Pour les produits de point de ramollissement inférieur ou égal à 80°C

Assembler l'appareillage avec les anneaux, le thermomètre et les guides en position correcte, et remplir le vase avec de l'eau distillée récemment bouillie à $5 \pm 1^\circ\text{C}$, sur une hauteur comprise entre 102 et 108mm. Maintenir pendant 15min à température de 5°C, en plaçant si nécessaire le vase cylindrique dans de la glace fondante. Ensuite, à l'aide d'une pince une bille préalablement amenée à la température du bain, au centre de chaque guide.

Chauffer de façon à élever la température de 5°C par minute. Utiliser des écrans en cas de courants d'air.

Notez la température à partir de l'instant ou la bille d'acier touche la plaque inférieure ; cette température s'appelle le point de ramollissement du bitume.

Note :

Des chauffages électronique ou par bruleur à gaz peuvent être utilisés. Le dispositif de charge électrique doit présenter un faible temps de réponse et posséder un réglage de sortie de puissance de façon à maintenir le gradient de température nécessaire.

L'élévation de température doit être uniforme et observée sans admettre la notation de moyenne sur l'ensemble de l'essai.

Noter pour chaque ensemble anneau-bille la température, indiquée par le thermomètre, à laquelle l'échantillon enveloppant la bille touche la plaque inférieure du support. Ne pas

effectuer de corrections de colonne émergente. Si la différence entre les deux valeurs obtenues dans un essai effectué en double dépasse 1°C, l'essai doit être recommencé.

IV.2.5.3 Pour les produits de point de ramollissement supérieur ou égal à 80°C

Suivre le même mode opératoire pour le cas précédent et à l'exception des points suivants :

- Utiliser pour le liquide dans le vas de la glycérine au lieu d'eau.
- Utiliser le thermomètre à échelle haute
- Porter le bain liquide à la température initiale de 32°C.

En remarque que pour les produits de point de ramollissement voisin de 80°C, il est nécessaire de noter la nature du liquide du bain de glycérine donnant des résultats plus élevés que les bains d'eau.

IV.2.6. Résultat et analyse :

Bitume	40/50	
Essai (°C)	Anneau (1)	Anneau (2)
	54.5	55.5
Moyenne	55	

Tableau IV.2. Résultats de l'essai de bille anneau sur bitume 40/50.

D'après les résultats obtenus, notre bitume se trouve dans la spécification technique suivant la norme (NF T 66-008).

Nos résultats sont conformes aux spécifications techniques du bitumes puisque on a trouvé :

- $T = 55 \text{ °C} < 60 \text{ °C}$.

(La TBA d'un bitume 40/50 est comprise entre : 47°C et 60° C).

IV.3. LA VISCOSITE :

C'est la propriété d'un fluide qui tend à empêcher son écoulement lorsqu'il est soumis à l'application d'une force. Les fluides de grande viscosité résistent à l'écoulement et les fluides de faible viscosité s'écoulent facilement. La viscosité est déterminée par la capacité d'entraînement que possède une couche en mouvement sur les autres couches adjacentes. Elle est mesurée par un viscosimètre, récipient dont le fond comporte un orifice de taille standardisée. Le temps d'écoulement du fluide par cet orifice pour remplir un volume précis (50cm³) permet de déterminer son Pseudo-viscosité [21].

IV.3.1 But de l'Essai :

L'échantillon est chauffé dans des conditions normalisées. Une prise d'essai est versée dans l'appareil et maintenue à la température voulue ; la durée d'écoulement de 50ml indique conventionnellement la valeur de la pseudo-viscosité du bitume fluidifié ou du bitume fluxé.

IV.3.2. Appareillage :

IV.3.2.1 Viscosimètre :

Le viscosimètre consiste essentiellement en un récipient présentant au centre de sa base un orifice pouvant être obturé. Il existe deux types de récipients différents uniquement par la dimension de l'orifice.

Viscosimètre S.T.V (Standard Tar Viscosimètre) dénommé antérieurement B.R.T.A (British Road Tar Association).



Photo IV.8 : Viscosimètre [22].

IV.3.2.2 L'Orifice

Le diamètre de grand orifice étant de 10mm et celui du plus petit de 4mm, l'orifice 10mm est employé dans le cas de bitumes fluidifiés ou de bitumes fluxés (Cut-back 400/600) dans la pseudo-viscosité à 25°C est égale ou inférieure à 600s, si la pseudo-viscosité à 25°C dépasse 600s, la température d'essai est portée à 40°C.

L'orifice 4mm est utilisé à 25°C pour les bitumes fluidifiés (Cut-back 0/1) ou les bitumes fluxés dont la pseudo-viscosité, à cette température déterminée avec l'orifice 10mm est inférieure à 30s.

IV.3.2.3. L'obturateur

Il est constitué par une sphère en bronze phosphoreux fixée à une tige en métal ; cette tige est munie d'une ergot indicateur de niveau et porté à sa partie supérieure une demi sphère

permettant de faire reposer verticalement l'obturateur sur son support, en position découlement.

IV.3.2.3. Eprouvette

Eprouvette cylindrique de 100ml, dont le diamètre intérieur ne peut dépasser 29mm et graduée aux capacités de 20.25 et 75ml.

Remplie avec l'huile minérale jusqu'à 20ml.

IV.3.2.4 Bain d'eau

Le bain d'eau possède un manchon cylindrique destiné à supporter le récipient. Le bain d'eau qui à la forme cylindrique peut soit porte un tube latéral auquel on applique une source de chaleur, soit être chauffer électriquement.

Le manchon est placé à l'intérieur d'un cylindre muni de quatre pales formant l'agitateur, cet agitateur est surmonté d'un couvercle bombé muni d'un support destiné au thermomètre du bain. D'un autre pour l'obturateur et d'un dispositif de contrôle thermostatique.



Photo IV.9 : bain d'eau [23].

IV.3.2.5 Chronomètre

Capable de mesurer un temps d'écoulement avec une précision de $\pm 0.2s$.

IV.3.2.6. thermomètre

Deux thermomètres destinés, l'un au bain d'eau, l'autre au récipient de mesure contenant l'échantillon et dont l'échelle de température est adaptée à l'essai prévu.

Ils répondent aux spécifications S.T.P.T.C 5 (Standardization of Tar Product Tests Commetée) et son gradués de 15 à 45°C ou de 39.5 à 70.5°C à 0.1°C près.

IV.3.3. Mode opératoire

IV.3.3.1 Préparation de l'échantillon

On a Prélevé autant que possible un échantillon ne renfermant pas plus de 0.2% d'eau, le porter à une température de 60°C dans un récipient bien clos, pendant 3h, en ayant soin

d'éviter toute surchauffe locale et toute perte de constituants volatils. Puis on a laissé refroidir, toujours dans le récipient clos, jusqu'à une température légèrement supérieure à celle de la mesure (25°C).

Note : pour l'émulsion

On filtre l'émulsion sur un tamis en acier inoxydable d'ouverture de maille 630µm et l'homogénéise soigneusement par agitation

IV.3.3.2 exécution de l'essai

On a nettoyé le récipient du viscosimètre et l'obturateur avec un solvant approprié, puis on a séché soigneusement pour éliminer toute trace de solvant. S'il est nécessaire d'en frotter l'intérieur, ou de nettoyer l'orifice d'écoulement, ne pas utiliser des produits abrasifs, susceptibles de laisser des particules pouvant gêner l'écoulement libre de la prise d'essai à travers l'orifice.

On a fermé la partie inférieure de l'orifice du récipient avec un bouchon de liège, mettre en place l'obturateur sur l'orifice, on a rempli le récipient avec la prise d'essai de l'échantillon préparé ; jusqu'à ce que l'ergot de l'obturateur tenue verticalement soit juste immergé.

On a placé le récipient dans le manchon du bain d'eau du viscosimètre enlever le thermomètre et le bouchon extraire tout excès de produit pour que son niveau final soit à la hauteur de la pointe de l'ergot, l'obturateur étant en position verticale.

On a placé l'éprouvette contenant 20ml d'huile minérale fluide sous l'orifice du récipient, relever l'obturateur puis raccrocher sur le support. Déclencher le chronomètre à l'instant où le liquide atteint la graduation de 25ml dans l'éprouvette et l'arrêter lorsque la graduation de l'éprouvette avant d'attendre la surface du liquide.

IV.3.4. Résultat d'analyse :

Dans l'essai de viscosité on a utilisé le cut-back très fluide (0/1) formulé par NAFTAL, on a obtenu les résultats mentionnés dans le tableau (IV.3).

Cut-back	Unité	Essai (1)	Essai (2)
0/1	S	22	20

Tableau IV.3. Viscosité de cut-back (0/1).

Le cut-back 0/1 doit avoir une viscosité entre 10 s et 30 s d'après la norme (NF T 66-005).

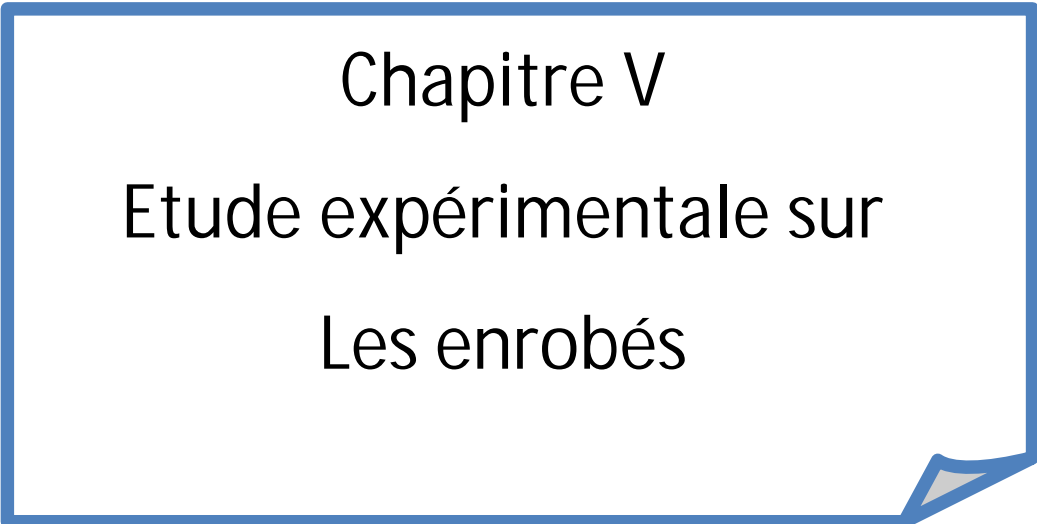
Les résultats des essais effectués sur le cut-back 0/1 varient de 20 à 22 s, ce qui répond à la spécification de la norme précitée.

On conclut que le cut-back formulé est conforme aux spécifications techniques.

Conclusion :

Dans cette partie nous avons présenté les essais qui traitent les caractéristiques des bitumes.

Les essais que nous venons d'effectuer sur le bitume nous permettent de synthétiser que chaque échantillon (bitume, cut-back) répond bien spécifications techniques y afférant, et qu'ils sont de ce fait aptes à être utilisés dans les techniques de construction routière en Algérie.



Chapitre V
Etude expérimentale sur
Les enrobés

INTRODUCTION :

Afin de satisfaire aux exigences posée par la mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés et celle posées aux revêtements in situ.

C'est cet objectif que nous traitons successivement des essais tel que ceux de Kumagawa, la posée hydrostatique et celui de Marshall.

Il clôture une série d'essai dont le but est de savoir si notre béton bitumineux est acceptable pour le besoin que l'on devra en faire.

Les essais sur les enrobés bitumineux ont été effectués au niveau du laboratoire des travaux publique de l'ouest « L.T.P.O ».

V.1.ESSAI D'EXTRACTION DE KUMAGAWA :

L'essai a pour but de déterminer la teneur en liant d'un enrobé par une méthode indirecte, c'est-à-dire par différence entre le poids du matériau avant désenrobage et le poids des granulats après désenrobage et selon le mode opératoire énoncé si dessous. Il n'est pas applicable aux matériaux très riches en fines (les mastics).

Le bitume contenu dans le matériau est extrait par dissolution à chaud du toluène au cours d'une distillation sous reflux. Le poids du liant est obtenu par différence entre le poids initial du matériau et le poids des granulats extraits.



Photo V.1. Appareil Kumagawa

V.1.1. APPAREILLAGE :

Un extracteur KUMAGAWA comprenant :

- un chauffe-ballon.
- un ballon en verre.
- un réfrigérant.
- un panier.
- collier de serrage.

Appareillage et produit d'usage courant :

- une étuve.
- une cartouche.
- 1 balance sensible au milligramme.
- toluène.



Photo V.2. ballon



photo V.3. Toluène



photo V.4. Balance et chauffe-ballon

V.1.2. PREPARATION DE L'ECHANTILLON :

Pour la prise d'échantillons, se référer au mode opératoire RE.C-1 publié dans le présent recueil concernant les prélèvements au cadre à la sortie à la pelle dans un camion ou derrière un finisseur.

Dans le cas d'un matériau stocké, on pourra l'introduire froid par petites fractions. Si la désagrégation est difficile, on le réchauffera à une température inférieure à 100°C (cela n'est pas valable pour les graves-émulsion et les enrobés denses à l'émulsion).

V.1.3. MODE OPERATOIRE :

- on a séché la cartouche à l'étuve à 120°C jusqu'au poids (0.05g).

- On a introduire dans la cartouche, la quantité de matériau enrobé et peser le tout.
- On a pesé le poids de la prise d'essai.
- On a remplir le ballon jusqu'à moitié avec du toluène, et places la cartouche dans son panier à l'intérieur du ballon.
- On a montré le décanteur et le collier de serrage adapter le réfrigérant et l'alimenter en eau.
- On a brancher le chauffe ballon, régler la température en cours d'essai de telle sorte que l'enrobé soit complètement immergé dans le solvant sans que celui-ci ne déborde de la cartouche.
- Lorsque le solvant coule claire, arrêter l'extraction jusqu'à égouttage total de la cartouche puis remettre en marche. L'extraction est terminée lorsque le solvant coule à nouveau clair.
- Laisser refroidir l'appareil et égoutter la cartouche, retirer la cartouche de l'extracteur et placer dans une étuve ventilée à 120°C jusqu'à l'obtention du poids constant.
- Déterminer le poids du liant.
- Déterminer la teneur en liant par apport aux granulats.

V.1.4.CALCULS ET PRESENTATION DES RESULTATS:

Les résultats seront calculés de la façon suivante :

- $P1$ = poids constant de la cartouche.
- $P2$ = le poids de matériau enrobé introduit dans la cartouche.
- $P3$ = poids de la prise d'essais : $P3 = P2 - P1$.
- $P4$ = poids constant de la cartouche retirer de l'extracteur et placer dans l'étuve a 120°C.
- Détermination du poids du matériau désenrobé : $P5 = P4 - P1$.
- Détermination du poids du liant : $P6 = P3 - P5$.
- Détermination de la teneur en liant par rapport aux granulats : $P6 / P5 \times 100$.
- Détermination de la teneur en liant par rapport à l'enrobé : $P6 / P3 \times 100$.

	PRELEVEMENT 1 (BB)
Poids de la cartouche (g) P1	28.20
Poids de la cartouche + matériau enrobé (g) P2	450.30
Poids de la prise d'essai (g) P3	422.10
Poids constant de la cartouche + matériau après extraction et sorti de l'étuve (g) P 4	426.50
Poids du matériau désenrobé (g) P5	398.30
Poids du liant (g) P6	23.80
La teneur en liants par rapport aux granulats (%)	5.97
La teneur en liants par rapport à l'enrobé (%))	5.63

Tableau V.1. Résultats de l'essai d'extraction de KUMAGAWA.

L'analyse granulométrique des agrégats est effectuée après l'extraction. Nous avons obtenue les résultats suivants :



Photo V.5. Analyse granulométrique.

M = poids du matériau désenrobé = 432.4 g

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus Cumulés RI (g)	Pourcentage des Refus cumulés RI/M x100 (%)	Pourcentage tamisais Cumulés 100-RI/M x 100 (%)
16	0.00	0.00	0.00
12.5	23.6	5.46	94.54
10	86.8	20.07	79.93
8	124.9	28.89	71.11
6.3	168.2	38.90	61.10
5	189.8	43.89	56.11
2.5	263.8	61.01	38.99
1.25	323.1	74.72	25.28
0.63	354.9	82.08	17.92
0.315	375.0	86.73	13.27
0.16	391.0	90.43	9.57
0.08	392.2	90.70	9.30

Tableau V.2. Analyse granulométrique après extraction d'échantillon.

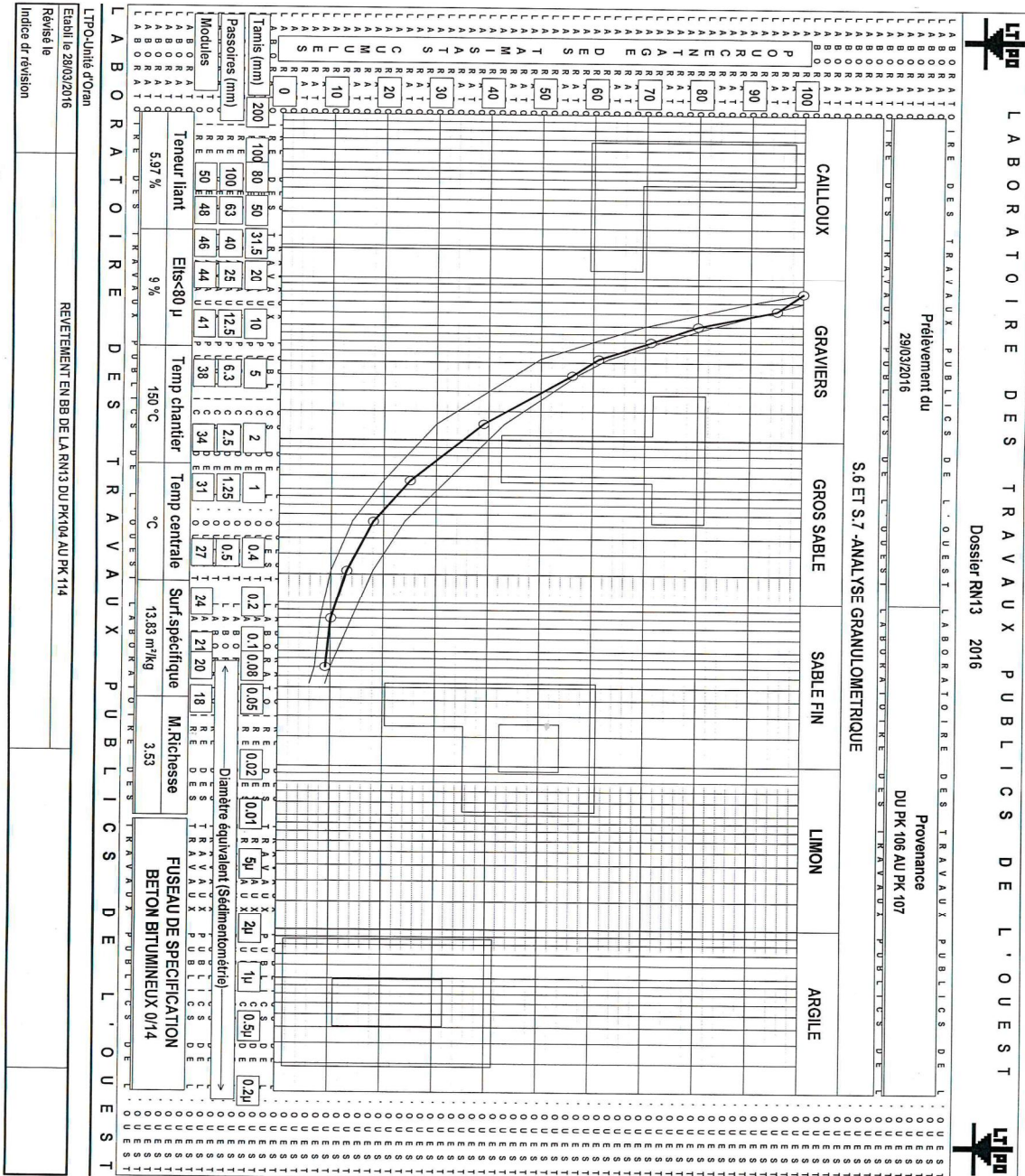


Figure V.1 : Fuseau de spécification du béton bitumineux.

La courbe ne s'insère pas dans le fuseau granulométrique à partir du tamis 10mm jusqu'au 2mm, nous pouvons en déduire que nous avons affaire à des agrégats non conforme en vigueur.

V.2.DENSITE D'UN ENROBE PAR PESEE HYDROSTATIQUE :

Lorsqu'une meilleure précision est nécessaire pour évaluer la masse volumique du béton bitumineux ou du grave bitume, il est possible de procéder par pesée hydrostatique. Il s'agit de peser l'échantillon dans l'air puis dans l'eau.



Photo V.6.La pesée de la carotte dans l'air



Photo V.7.La pesée hydrostatique

V.2.1.APPAREILLAGE :

Photo V.8.Appareille de pesée hydrostatique [24].

V.2.2.METHODE DE CAROTTAGE :

La méthode de carottage consiste à prélever un échantillon cylindrique dans un corps de chaussée pour effectuer des essais destructifs. Seuls les matériaux traités au liant peuvent être extraits par carottage. L'examen de la carotte permet visuellement de vérifier l'état des interfaces. Par la suite, nous procédons à la pesée hydrostatique pour vérifier la densité de notre éprouvette et sa compacité.

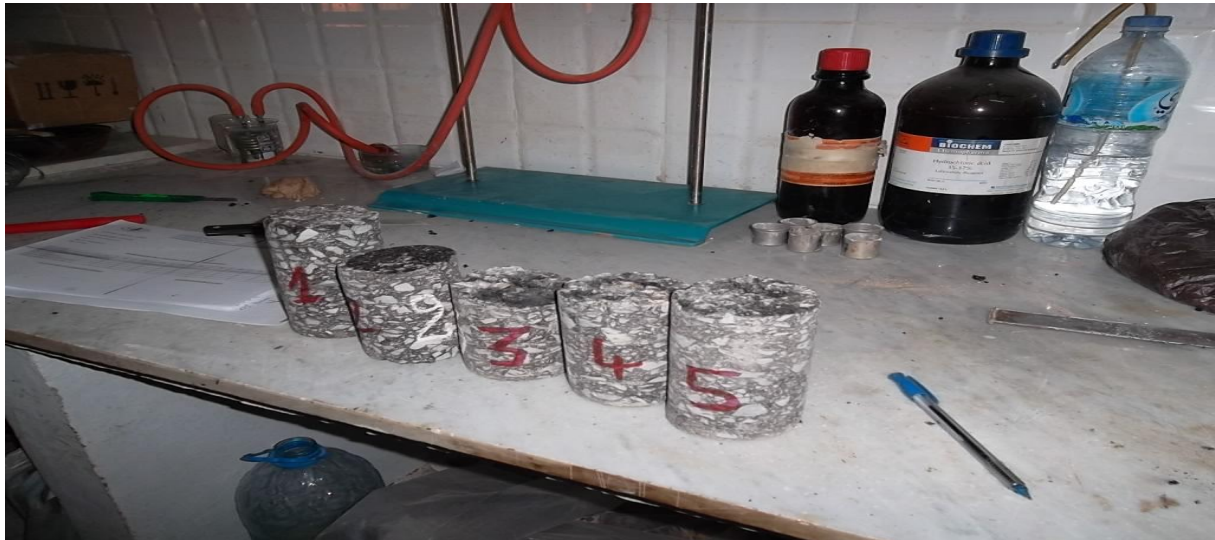


Photo V.9. Les carottes

V.2.3.CALCULS ET PRESENTATION DES RESULTATS:

Les résultats sont consignés dans le tableau ci après :

N° échantillon	1	2	3	4	5
Poids carotte hum +paraffine(mp)(g)	1352.00	1061.30	933.50	1101.30	1266.10
Poids carotte hum (m)(g)	1334.90	1045.10	920.70	1077.60	1241.10
Poids de la paraffine (g)	17.10	16.20	12.80	23.70	25.00
Poids carotte dans l'eau (m'p)(g)	755.30	587.10	524.20	601.90	690.30
Volume brut (cm ³)	596.70	474.20	409.30	499.40	575.80
Volume de ma paraffine (cm ³)	19.00	18.00	14.22	26.33	27.78
Volume net (cm ³)	577.70	456.20	395.08	473.07	548.02
Masse volumique humide (g/cm ³)	2.311	2.291	2.330	2.278	2.265
Epaisseurs	13.50	10.80	9.50	11.00	12.50

Tableau V.3.Caractéristique des carottes.

- Volume brut = poids carotte hum – poids carotte dans l'eau.
- Volume de paraffine = poids de la paraffine / 0.9.
- Volume net = volume brut – volume de paraffine.
- Masse volumique humide = poids carotte hum / volume net.

V.3.ESSAI MARSHALL :

L'essai Marshall est un essai mécanique destructif effectif effectué en laboratoire selon un mode opératoire précis. Il permet de comparer, entre elles, des formules diverses de béton bitumineux et d'évaluer leurs performances à des niveaux de compactage différent. Il permet, dans une certaine mesure, de prévoir si, sous trafic, un béton bitumineux sera stable ou au contraire aura tendance à fluer.

L'essai Marshall permet de déterminer, pour un compactage donné, « stabilité » et « fluage » Marshall d'une éprouvette de dimension déterminée. Il est applicable à tous les enrobés à chaud ne comptant pas de granulats supérieur à 30mm donc $D_{max} \leq 30$ mm.

La stabilité Marshall est la valeur de la charge maximale obtenue par un essai de compression exercée suivant une génératrice d'une éprouvette cylindrique semi-fretté est préalablement compactée.

Le fluage Marshall est l'affaissement de cette même éprouvette au moment de la rupture par compression.

La compression est appliquée à l'éprouvette après une demi-heure d'immersion dans l'eau à 60°C et à la vitesse de 0.85 mm/s soit 51 mm/min.

V.3.1.MODE OPERATOIRE :

- Peser la quantité M du mélange hydrocarboné à 0.1% près en valeur relative.
- Après avoir placé un disque de papier.
- Introduire le mélange en une seule fois dans le moule légèrement enduit de soude glycérine.
- Les moules sont remplis successivement.



Photo V.10.mélange bitumineux.

- L'éprouvette N°1 est immédiatement compactée, les autres moules sont placés dans une étuve à la température de référence.
- Compacté le mélange en appliquant 50 coups de marteau de la dame en 55s.

- Retourner le moule et compacte l'autre face.
- La durée de compactage ne doit pas excéder 3min.



Photo V.11. Dame de compactage

- Renouveler la même opération pour les autres éprouvettes.
- Placer le moule dans l'eau froide (15min) , l'eau ne doit pas mouiller l'éprouvette.



Photo V.12. Bain d'eau thermostatique

- Conserver le moule 1h au moins à température ambiante (15 à 25°C).
- Démouler à l'aide d'un piston.
- Peser les éprouvettes à 1g après.
- Calculer la masse volumique apparente à partir des mesures géométriques du diamètre et de la hauteur.
- Pour chaque éprouvette moyenne des 6 mesures de hauteur doit être comprise entre 62.5 et 65 mm sinon la série est refusée.
- Mesurer la masse apparente par pesée hydraulique selon la norme NF P-98-250-6 sans paraffinage.

- Conserver les éprouvettes 5h au moins à température ambiante après leur compactage.
- Placer les éprouvettes et les mâchoires dans l'eau à 60°C pendant 30min.
- Les éprouvette sont placées dans les mâchoires d'écrasement, porter le tout entre les plateaux de la presse et à 0.85mm/s.
- La stabilité Marshall est la charge maximale à la rupture des éprouvettes.
- Le fluage Marshall est la valeur de l'affaissement de l'éprouvette selon son diamètre verticale au moment de la rupture.
- Thermomètre industriel 0-200°C avec tige plongeante de 13 cm pour le contrôle de la température de l'enrobé.

V.3.2.APPAREILLAGE :

L'appareillage Marshall comprend :

- 1 moule de compactage (1hausse, 1 moule, 1plaque de base).
 - 1 piston extracteur.
 - 1 dame de compactage.
 - 1 appareil de stabilité Marshall.
 - 1 indicateur de fluage.
 - Bain d'eau thermostatique réglé à $60^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$.
 - 1 balance de portée minimum 3kg.
-
- Disque papier filtre de diamètre 10cm.



Photo V.13.Appareil Marshall

V.3.3.CALCULS ET PRESENTATION DES RESULTATS:

Essai effectués	Unité	Résultats	Spécifications
Stabilité Marshall	KN	14.56	Min 10.5 KN
Fluage	1/10 mm	38.05	Max 40 (1/10mm)
Compacité	%	94%	Min 88-Max 96%

Tableau V.4.Résultats d'essai Marshall

L'essai de stabilité Marshall donne une bonne stabilité de 14.56 KN qui est supérieur à 10.5 KN donc conforme aux spécifications techniques.

Notre échantillon préparé et testé a de bonnes aptitudes à résister aux trafics et aux aléas climatiques.

Pour le fluage, notre matériau présente un fluage de : 38.05 (1/10 mm) donc les résultats sont conformes aux spécifications techniques puisqu'ils sont inférieurs à 40(1/10mm).

Conclusion :

Dans cette partie nous avons présenté les essais qui traitent le comportement mécanique des enrobés bitumineux.

L'étude de notre échantillon de béton bitumineux est portée sur les aspects fondamentaux qui le caractérisent soit par :

L'essai de Kumagawa, l'essai de pesée hydrostatique, ou l'essai Marshall.

Ces essais ont donnés les résultats suivants :

- L'analyse granulométrique du mélange s'est avérée non satisfaisant puisque elle n'est pas comprise dans la partie supérieure dans le fuseau de passage.
- La pesée hydrostatique a fourni une bonne compacité.
- L'essai Marshall a fourni de bons résultats concernant la stabilité et le fluage.

Conclusion Générale

Les performances des matériaux routiers en termes de sécurité sont déterminantes pour réduire le risque d'accident.

Le granulat utilisé dans la formulation des mélanges bitumineux doit présenter les caractéristiques parfaites.

L'objectif de ce travail était de voir comment on peut prédire l'évolution du comportement d'un bitume et d'un enrobé.

La prise en compte de la viscosité du matériau dans le monde de sollicitation, dans la réalisation de la mesure ainsi que dans l'interprétation des résultats est nécessaire. Ceci permet d'étudier le domaine d'application des essais et la précision des résultats.

Le problème majeur se pose au niveau de laboratoire de matériaux ou matériel d'essais sur les matériaux routiers n'existe pas, et que nous étions dans l'obligation de mener notre campagne expérimentale dans des laboratoires en dehors de notre université à savoir le LTPO (laboratoire des travaux publics de l'ouest).

Référence bibliographique

- [1] https://fr.wikipedia.org/wiki/Liant_hydrocarbon.
- [2] www.slideserve.fr.
- [3] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Goudron>.
- [4] www.ebanque-pdf.com/fr_types-du-liants.html.
- [5] www.cnrtl.fr/lexicographie/asphalte.
- [6] www.enseignons.be/upload/secondaire/batiment/Le-mastic--les-joints.pdf.
- [7] **Dr.F.GHOMARI**, « science des matériaux de construction », université ABOUBEKR BELKAID.
- [8] **G.P.B groupement Professionnel des bitumes**, « bitume : aménager, construire, innover », juin 2005.
- [9] www.memoireonline.com.
- [10] docplayer.fr/5071641-Le-bitume-routier-adapte-aux-applications-non-conventionnell.
- [11] www.highprofilesnews.com/procede-de-fabrication-du-bitume.
- [12] www.gramme.be/unite9/pmwiki/uploads/PrGC0910/Principales_caracteristiques.pdf.
- [13] idrop2.weebly.com/classement-des-bitumes.
- [14] www.naftal.dz/fr/index.php/produits/professionnels/bitumes.
- [15] https://infoscience.epfl.ch/record/167919/files/EPFL_TH5169.pdf.
- [16] **livre de cours procéder généraux de construction**, chapitre 5.
- [17] www.abr-bwv.be/sites/default/files/I.1.1O._0.pdf.
- [18] http://www.cours-genie-civil.com/wp-content/uploads/51Enrobes_cours-routes_procedes-generaux-de-construction.pdf.

[19] www.bitumequebec.ca/wp-content/uploads/2015/06/fabricationenrobes.pdf.

[20] www.agir-labo.fr.

[21] **S.BOUTALEB**, « étude de correction viscosimétrique d'un écoulement pseudo-plastique.cas d'un viscosimètre à cylindre coaxiaux à entrefer large », mémoire de magister, université Djilali Liabes, Sidi bel abbès, juillet 2008.

[22] www.jingkeyiqi.com.

[23] www.controls-group.com/DownloadFileUrl.php/url.../nomfile=75_81_fr.pdf.

[24] kr.made-in-china.com.