



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



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences et de la Technologie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
de Master académique en
Filière : **Industries Pétrochimiques**
Spécialité : **Génie du Raffinage**

Présenté par : **Gaid Aboubaker Sedik**
Abdeldjebbar Yassine

Thème

Caractérisations physico-chimiques des enrobés bitumineux modifiés.

Soutenu le : 22 juin 2022

Devant le Jury :

Mme MOKHTAR Djamila	Présidente	M.A. A	Univ-Tissemsilt
Mme BERDAA Hanane	Encadrante	M.A. A	Univ-Tissemsilt
Mr LOUCIF Mohamed	Examineur	M.A. A	Univ-Tissemsilt
Mme MAHROUG Hanane	Examinatrice	M.C.B	Univ-Tissemsilt

Année universitaire : 2021-2022

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions **ALLAH** qui nous a donné la force, le courage et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous souhaitons adresser nos vifs remerciements nos parents pour leurs contributions, leurs soutiens et leurs patiences.

Nous tenons à remercier sincèrement **Mme. BERDAA, Hanane**, notre encadrante de mémoire de fin d'études, pour ses précieux conseils et son orientation tout au long de notre recherche, à qui nous serons toujours reconnaissants.

Nous tenons à remercier chaleureusement **Mme Ouazir. F**, pour son aide et ses précieux conseils qui ont contribué à notre formation.

Nous remercions chaleureusement le directeur du Laboratoire **LTPO** de Tiaret et tous ses personnels pour leurs aides au cours des expériences.

Nous remercions également tous les ingénieurs et techniciens travaillant dans **la Raffinerie de pétrole d'Arzew**.

Nos remerciements vont également à tous les ingénieurs du laboratoire de notre université de Tissemsilt.

On tient à remercier vivement **Mme MOKHTAR Djamilla** pour nous avoir fait un grand honneur de présider notre jury de soutenance.

Nous exprimons nos remerciements à **Mr LOUCIF Mohamed** et **Mme MAHROUG Hanane**. A qui nous ont fait l'honneur d'être examinatrices de notre travail.

Abréviation

BRI : Brut réduit importé.

API : Automate programmable industriel.

PET : polyéthylène téréphtalate.

SBR : Caoutchouc styrène-butadiène.

SBS : Styrène-butadiène-styrène.

TL : Teneur en liant.

EME : Enrobé à module élevé.

BBME : Bétons bitumineux à module élevé.

RAIZ : raffinerie d'Arzew.

LVGO : gasoil léger.

MVGO : gasoil moyen.

HVGO : gasoil lourd.

BMP : bitume modifié au polymère.

ASTM : société américaine pour les essais des matériaux.

NA : norme algérienne.

NE : norme européenne.

TBA : température de bulles annaux.

LTPO : Laboratoire travaux public l'ouest.

BB : béton bitumineux.

GB : grave bitume.

HLB: Hydrophilic Lipophilic Balance.

SHRP: Strategic Highway Research Program.

KN : Kilo Newton.

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralité sur les bitumes

Figure I 1 Image représenté la source naturelle du bitume.	10
Figure I 2 : La distillation atmosphérique	11
Figure I 3: La distillation sous vide.....	11
Figure I 4 Fabrication des bitumes par raffinage du pétrole.	12
Figure I 5: Les compositions chimiques du bitu.....	13
Figure I 6: La structure colloïdale du bitume.....	15
Figure I 7 : Représentations schématiques d'un bitume type sol et d'un bitume type gel.....	16
Figure I 8 : Schéma de l'essai de pénétrabilité.....	17
Figure I 9 : Schéma de principe de l'essai TBA	17
Figure I 10 : Test de ductilité du bitume	18

Chapitre II : Les bitumes modifiés :

Figure II 1 : Modèle du mélange de bitume et de polymères à chaud et à froid	23
Figure II 2 : Polyethylene terephthalate (PET)	24
Figure II 3 : Polymère PET.....	24
Figure II 4 : polymère PRplast.	25
Figure II 5 : Unité répétitive de SBR.	26
Figure II 6 : polymère SBR.....	26
Figure II 7 : Structure schématique d'un caoutchouc thermoplastique SBS	28
Figure II 8 : molécules SBS linéaires et radiales.	28
Figure II 9 : Mécanismes de la dispersion d'un copolymère dans le bitume	30
Figure II 10 : Constituants de l'écorce.	31
Figure II 11 : l'écorce d'olivier et Poudre d'écorce d'olivier (polymère BIO).	31

Chapitre III : Les enrobés bitumineux :

Figure III 1 : composition des enrobés bitumineux.....	34
Figure III 2 : Types de Liants hydrocarbonés	35
Figure III 3 : Représenter les granulats classe 3/8 a gauche et la classe 8/15 a droite	36
Figure III 4 : représenter le sable ou granulat classe 0/3.....	37
Figure III 5 : Représenté des différents additifs.....	37
Figure III 6 : Carotte de l'autoroute Algérienne Est-Ouest.....	38
Figure III 7 : Carotte de route régionale.....	38
Figure III 8 : Carotte de bonde d'arrêt d'urgence	38
Figure III 9 : le déchargement de béton bitumineux au finisseur.....	41
Figure III 10 : Contrôler la température après le déchargement	42
Figure III 11 : Contrôler l'épaisseur de couche de roulements.	42

Chapitre IV : Analyses des bitumes modifiés :

Figure IV 1 : Chauffage du bitume (a gauche) et du bitume modifié (a droite) dans le four.....	48
Figure IV 2 : équipement de malaxage	48
Figure IV 3 : Les différents polymères utilisés.....	48
Figure IV 4 : Les gobelets du les échantillons et le test de pénétrabilité	51
Figure IV 5 : Les anneaux à une température ambiante et dispositif de centrage des billes.....	52
Figure IV 6 : Support des anneaux et appareillage de mesure.	52
Figure IV 7 : Appareillage pour essai de TBA.....	52
Figure IV 8 : les deux gobelets des échantillons.....	54
Figure IV 9 : Test de point d'éclair du bitume.....	54
Figure IV 10 : Appareil de mesure de la ductilité	55
Figure IV 11 : Les deux moule	55

Figure IV 12 : Test de ductilité de l'échantillon de bitume	55
Figure IV 13 : Variation de la pénétrabilité des deux bitumes en fonction du pourcentage des additifs.	56
Figure IV 14 : Variation du ramollissement des deux bitumes en fonction du pourcentage des additifs	56
Figure IV 15 : Variation de la ductilité des deux bitumes en fonction du pourcentage des additifs	57
Figure IV 16 : Variation des Points d'éclair des deux bitumes en fonction du pourcentage des additifs.	57

Chapitre V : Les essais des enrobés bitumineux :

Figure V 1 : Les moules de tamisage	60
Figure V 2 : Instruments de mesure d'équivalent de sable	61
Figure V 3 : Mode opératoire de deux échantillons.	61
Figure V 4 : Elimination des bulles d'air par l'ébullition, placer le bouchon et le posé	62
Figure V 5 : Tremper et laver l'échantillon.....	63
Figure V 6 : Tamisage de l'échantillon	64
Figure V 7 : Tamiser l'échantillon sur tamis à maille carrée	64
Figure V 8 : Les boulets et l'équipement d'essai Los-Angles.....	65
Figure V 9: Le mélange de l'échantillon et la charge abrasive	66
Figure V 10 : Machine de mesure MDE	66
Figure V 11 : Le mélange d'enrobés bitumineux avant le malaxage	69
Figure V 12 : Les 4 gâchées bitumineuses	70
Figure V 13 : Remplir les moules	70
Figure V 14 : Le moule rempli et l'équipement de compactage.....	70
Figure V 15 : Refroidissement du moule.	71
Figure V 16 : Conserver les moules à température ambiante.....	71
Figure V 17 : L'instrument utilisé pour démouler	71
Figure V 18 : Les éprouvettes après le démoulage	71
Figure V 19 : La presse de MARSHALL.....	73
Figure V 20 : Instrument de mesure Fluage MARSHALL	74
Figure V 21 : Une éprouvette après l'écrasement	75

Liste des tableaux

Partie théorique.

Chapitre II : Les bitumes modifiés.

Tableau II 1 : Propriétés physiques et chimiques du PET	25
Tableau II 2: caractéristiques de PR plast	26
Tableau II 3 : Propriété technique de SBR.	27
Tableau II 4 : Concentration de composés phénoliques extraits de l'écorce de l'olivier.	31

Chapitre III : Les enrobés bitumineux :

Tableau III 1 : les additifs et l'épaisseur de chaque classe de type de route	38
Tableau III 2 : Utilisation d'ECF	40
Tableau III 3 : Les avantages et les inconvénients de l'ECF	40

Chapitre IV : Analyses des bitumes modifiés :

Tableau IV 1 : Les mesures expérimental	47
Tableau IV 2 : les Appareils utilisé dans laboratoire	47
Tableau IV 3 : Échantillons de bitume modifié et temps de malaxage	49
Tableau IV 4 : Les appareils utilisés pour la réalisation de cet essai (Pénétrabilité).	50
Tableau IV 5 : Les appareils utilisés pour la réalisation de cet essai (point de ramollissement).	51
Tableau IV 6 : Les appareils utilisés pour la réalisation de cet essai (Point d'éclair)	53

Chapitre V : Les essais sur les enrobés bitumineux :

Tableau V 1 : Les résultats après le tamisage et le calcul pour la classe 0/3	60
Tableau V 2 : Les résultats après le tamisage et le calcul pour la classe 3/8	63
Tableau V 3 : Les résultats après le tamisage et le calcul pour la classe 8/15	63
Tableau V 4 : Les tamisât utilisant dans noter expérience	67
Tableau V 5 : Les propositions et les masses de mélange après les calculs	68
Tableau V 6 : les résultats de chaque opération	68
Tableau V 7 : Teneur de liant, le module de richesse et la quantité de bitume pour chaque formule.	69
Tableau V 8 : Les valeurs du calcul pour les chaque échantillon de formule A	72
Tableau V 9 : Les valeurs du calcul pour le mélange.....	72
Tableau V 10 : Les résultats d'essai MARSHALL et Fluage MARSHALL de formule A	73
Tableau V 11 : Les valeurs du calcul pour les chaque échantillon de formule B	73
Tableau V 12 : Les valeurs du calcul pour le mélange.....	74
Tableau V 13 : Les résultats d'essai MARSHALL et Fluage MARSHALL de formule B	74

REMERCIEMENTS.....	1
ABREVIATION.....	2
LISTE DES FIGURES.....	3
LISTE DES TABLEAUX.....	5
INTRODUCTION GENERALE.....	6
Chapitre I : Généralité sur les bitumes	
I.1.Introduction :.....	10
I.2.Origine du bitume :	10
I.2.1.Naturelles	10
I.2.2. Industrielle	10
I.3.Fabrication des bitumes	11
I.4.Composition de bitume	13
I.5.Classification des bitumes.....	13
I.6.Bitume en Algérie.....	15
I.7.Structure du bitume.....	15
I.7.1.Description de la structure colloïdale du bitume.....	15
I.7.2. Description de la structure sol/gel du bitume.....	16
I.8. Caractérisation du bitume	16
I.8.1. La pénétrabilité	17
I.8.2. Point de ramollissement à bille et anneau.....	17
I.8.3. Ductilité	17
I.8.4. Point d'éclair.....	18
I.9. Propriétés des bitumes	18
I.10. comportement des bitumes	19
I.11.Applications	19
Chapitre II : Les bitumes modifiés :	
II.1.Introduction	20
II.2.Définie le polymère	20
II.3.Polymérisation.....	20
II.3.1.classification des réactions des polymérisations.....	20
II.3.1La polymérisation en chaîne.....	20
II.3.2.polymérisation par étapes	20
II.4.Classification des polymères	21
II.4.1.Selon leur origine.....	21
II.4.2.Selon leur structure (dimensionnalité).....	21

II.4.3.Selon leur domaine d'application	21
II.5.Les différents types des polymères :.....	22
II.5.2.Les élastomères :	22
II.5.3.Les thermodurcissables :	22
II.6.Définition bitume modifié	23
II.7.La structure microscopique des bitumes modifiés par des polymères.....	23
II.8.Objectif de la modification notion de liant idéal	23
II.9.Différents types de polymères utilisés pour la modification des bitumes	24
II.9.1.polymères thermoplastiques	24
II.9.1.1.Le polyéthylène téréphtalate PET.....	24
II.9.1.3 PR plast.....	25
II.9.2.Caoutchoucs naturels et synthétiques	26
II.9.2.1.Caoutchouc styrène-butadiène (SBR) :	26
II.9.3.Caoutchoucs thermoplastiques	27
II.10.fabrication des bitumes modifiés aux polymères.....	28
II.11.Compatibilité polymère/bitume	29
II.12. Le mécanisme de la modification bitumineuse avec un polymère :	29
II.13.Les propriétés	30
II.14.Constituants de l'écorce	31
II.14.1.Composition phénolique de l'écorce d'olivier :	31
II.15. Conclusion	32

Chapitre III : Les enrobés bitumineux :

III.1.Introduction	33
III.2.Définition	33
III.3.Fabrication des mélanges bitumineux.....	33
III.3.1.Poste d'enrobage	34
III.4.Composition	34
III.4.1.Liants hydrocarbonés	35
III.4.1.1.Les émulsions de bitume	36
III.4.1.2.Teneur en liant.....	36
III.4.1.3.Choix du bitume	36
III.4.2.Granulat	37
III.4.3.Le sable	37
III.4.4.Les additifs	39
III.5.Les différentes types des enrobés bitumineux	39
III.5.1.Les enrobe à chaud.....	39
III.5.2.Les enrobes coules à froid.....	40

III.5.2.1.Utilisation d'enrobés coules à froid.....	40
III.5.2.2.Les avantages et les inconvénients de l'ECF	40
III.5.3.LES ENROBE TIEDES	40
III.5.3.1.Les avantages de l'enrobé tiède.....	41
III.6.Transport des enrobés bitumineux	41
III.7.Contrôle qualité des enrobés bitumineux	42
III.7.1.Qualité	42
III.7.2.Contrôle	42
III.7.3.Référentiels.....	42
III.7.4.Stratégies de contrôle de la mise en œuvre des enrobés.....	42
III.8. Différents types de chaussée	43
III.8.1.Chaussées souples	43
III.8.2.Chaussées semi –rigides.....	43
III.8.3.Chaussées rigides	43
III.9.Différentes couches d'une chaussée.....	44
III.9.1.Couche de forme (CF).....	44
III.9.2.Couche de fondation (CF)	44
III.9.3.Couche de base (CB).....	44
III.9.4.Couche de surface CS	44

Partie expérimentale.

Chapitre IV : Analyses des bitumes modifiés :

IV.1.Introduction.....	46
IV.2. Partie au niveau du laboratoire de l'université de Tissemsilt.....	46
IV .2.1. Les calcule.....	46
IV .2.2.Protocole de modification	47
IV.2.3. Produit utilisé	48
IV.3. Les essais sur le bitume modifiés au niveau du laboratoire des carburants de la Raffinerie d'Arzew.....	50
IV.3.1. Les essais sur le bitume modifiant	50
IV.3.1.1.Pénétrabilité	50
IV.3.1.2.Essai Bille-Anneau TBA (ramollissement).....	51
IV.3.1.3.Point d'éclair (ASTM D-92)	53
IV.3.1.4. ESSAI de ductilité (ASTM D-113).....	54
IV.4. Discussion des résultats:.....	56

Chapitre V : Les essais sur les enrobés bitumineux :

V.1. Introduction	59
V.2. Analyse sur les agrégats :	59

V.2.1. Classe 0/3 (le sable).....	59
V.2.1.1. Le tamisage ou granulométrie (NA 2607).....	59
V.2.1.2. Equivalent de sable (NFP 18-597).....	60
V.2.1.3. Poids spécifique des grains solides (NA 255/1990).....	61
V.2.1.4. Mesure de masse volumique apparente (Classe 0/3).....	62
V.2.2. Classe 3/8, 8/15	62
V.2.2.1. Le tamisage ou granulométrie (NA 2607).....	62
V.2.2.2. Mesure du coefficient d'aplatissement (NA 256/1990).....	64
V.2.2.3 Essai los-Angles (NA458/1990).....	66
V.2.2.4 Essai Micro-Deval (NA 457/1990).....	66
V.2.2.5. Mesure de masse volumique apparente (MVA).....	66
V.2.2.6. Mesure de masse volumique porosité (MVP) (NA 255/1990).....	66
V.2.2.7. Mesure d'essai propreté superficielle (NF P 18-591).....	67
V.3. Etudier la composition de mélange d'enrobes bitumineux	67
V.3. Faire des essais mécanique sur l'enrobes	68
Discussion des résultats.....	75

RECOMMANDATIONSET CONCLUSION GENERALE

ANNEXES

RESUME

Introduction Générale

Introduction générale

Introduction générale :

Le bitume est un matériau présent naturellement dans l'environnement ou pouvant être fabriqué industriellement après distillation de certains pétroles bruts. Il est composé d'un mélange d'hydrocarbures, peut se trouver à l'état liquide ou solide, et a une couleur brunâtre à noirâtre. Il possède un certain nombre de qualités physicochimiques dont l'Homme a su faire usage depuis la Préhistoire. Et les routes sont le domaine le plus important dans lequel il est utilisé.

Les routes contribuent à la croissance économique en facilitant le transport et le commerce qui nécessitent des chaussées et des revêtements améliorés. Il existe un grand nombre de gammes variées, qui permettent de formuler un enrobé bitumineux efficace pour résister aux contraintes sur le long terme.

Alors parfois certains on a fait des modifications au bitume par l'ajoutés des polymères naturelle ou industrielle pour améliorer le mélange bitumineux avant le commencée de préparation les enrobés.

Dans cet article, nous étudierons les propriétés physiques et chimiques, le comportement rhéologique et la caractérisation en incorporant deux ou plusieurs types de polymères dans des proportions différentes avec du bitume pur de classe 40/50 et en le comparant avec ce dernier.

Enfin, nous préparerons des échantillons de enrobés bitumineux pour analyses et essais mécaniques spécifiques représentés dans l'essai de stabilité MARSHALL et le fluage MARSHALL.

Pour aboutir à cet objectif, on a divisé le présent mémoire en deux grandes parties, partie bibliographique et partie expérimentale.

La partie bibliographique, dont le premier chapitre résume des généralités sur le bitume et ces différents types, La composition et le structure chimique de cet hydrocarbure, Sa propriétés et caractéristiques générales.

Dans le deuxième chapitre, nous apprendrons les différents additifs qui seront ajoutés et connaîtrons les formules chimiques pour chaque polymère.

Le chapitre troisième, nous parlerons sur les enrobés bitumineux et de leurs différents types, le mélange et sa composition et sur les chaussée et sa couches principales.

La deuxième partie est consacrée à l'étude expérimentale. Comme cela sera expliqué dans le quatrième et le cinquième chapitre.

Introduction générale

La deuxième partie est consacrée à l'étude expérimentale. Dans ce mémoire, les équipements et les outils utilisés pour effectuer des essais sur le bitume modifié et les enrobés bitumineux dans la raffinerie de pétrole d'Arzew et laboratoire de travaux publics l'ouest, respectivement.

Enfin nous avons terminé notre travail par une conclusion générale.

PARTIE

BIBLIOGRAPHIQUE

I.1.Introduction

Le bitume est un matériau naturel résultant de la distillation sous vide du pétrole. Il possède des propriétés chimiques qui lui permettent de supporter les charges liées au trafic.

Dans ce chapitre, nous en apprendrons plus sur lui et ses différents composants et applications.

I.2.Origine du bitume

Le bitume est un produit brut qui existe en solution. Ils résultent de l'évaporation ou de la distillation du pétrole brut pour éliminer l'huile utilisée comme solvant. Sachant qu'un tel processus peut se produire dans la nature, au niveau de la formation souterraine, le bitume provient de deux sources : naturelle ou industrielle. [2]

I.2.1. Naturelles

La production mondiale est très faible car elle ne dépasse pas 200 000 tonnes.



Figure I.1 : Image représenté la source naturelle du bitume.

I.2.2. Industrielle Celle-ci se compose de deux parties :

- ❖ **Distillation directe (DA)** : Distillation atmosphérique : Cette méthode de raffinage comprend Le pétrole brut préalablement décanté et disparaître. Ce pétrole brut, à une température de près de 340°C, est envoyé vers un La colonne de fractionnement est maintenue à pression atmosphérique. Produit Recyclé au fond du tour, c'est un stock réduit. [2]

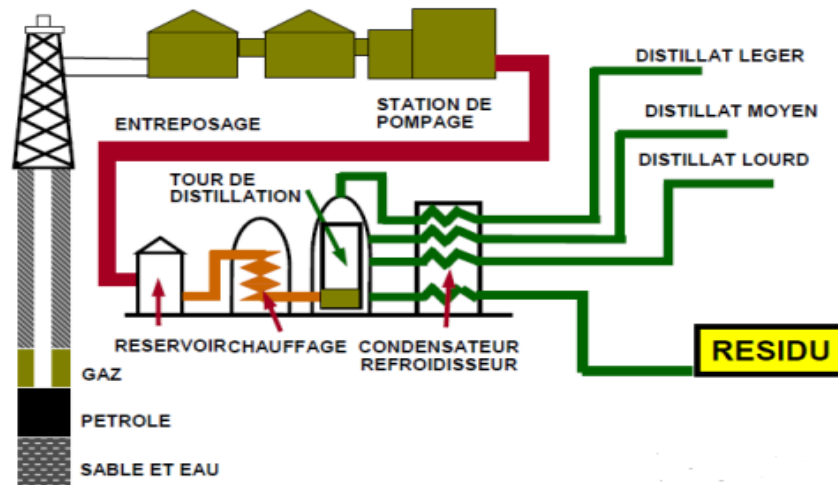


Figure I.2 : La distillation atmosphérique.

- **Distillation sous vide (DSV) :** le pétrole brut réduit de la distillation Après que l'atmosphère est chauffée à environ 400°C, elle est envoyée à Colonnes avec des pressions allant jusqu'à des dizaines de hPa². Possible, Dans ce type d'usine, tous les types de bitume sont produits directement 20/30 à 160/220. [2]

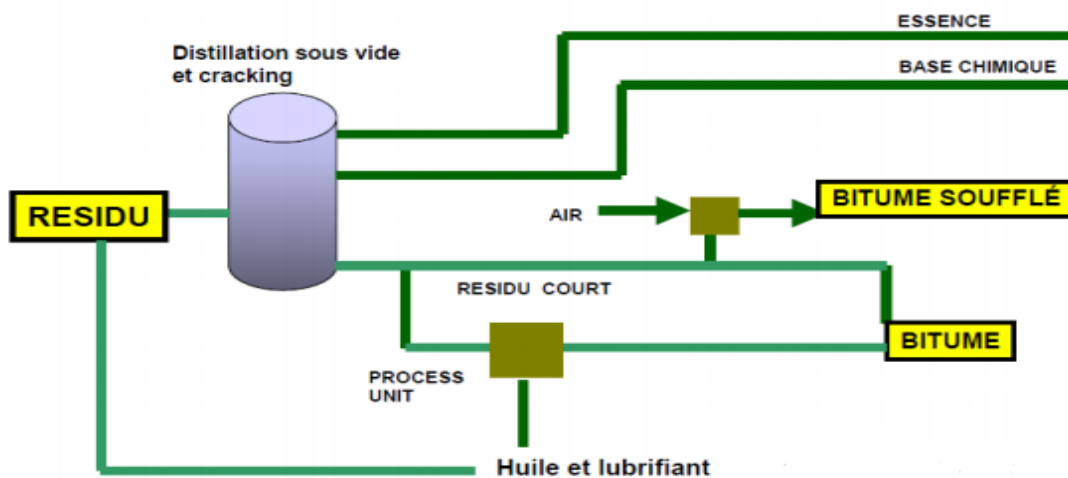


Figure I.3 : La distillation sous vide.

I.3.Fabrication des bitumes

Les modes de fabrication ont évolué. Avant la crise pétrolière des années 1970, on faisait appel presque exclusivement à des bruts lourds de forte densité, de type vénézuélien (faible degré API), permettant de fabriquer les différentes classes de bitume par distillation directe, sans qu'il soit nécessaire d'utiliser une colonne sous vide de grande efficacité. Actuellement les bruts à bitume ont des origines diverses mais la plupart d'entre eux proviennent du Moyen-Orient, le reste venant du Venezuela et du Mexique. Ces bruts sont caractérisés par des densités moins élevées (degrés API plus forts). Il existe plusieurs techniques pour fabriquer le bitume, reposant

principalement sur la distillation directe du pétrole (90 % de la production française). Lorsque le choix d'un brut et celui d'une technique ont été décidés, le fabricant suit rigoureusement le processus et s'y maintient. Ces choix font l'objet pour chaque fabricant de procédures d'homologation très sévères, dans le souci de fournir des produits industriels d'une qualité constante et conformes aux spécifications. [3]

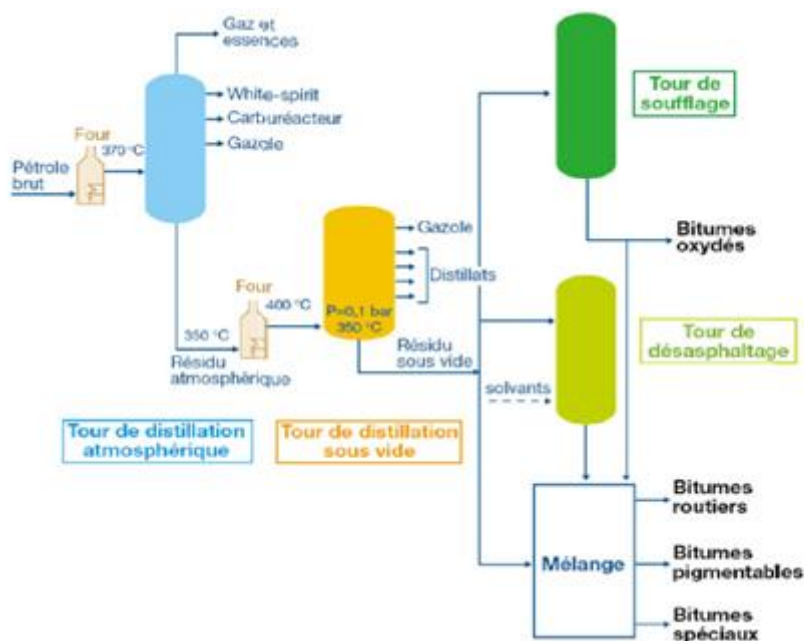


Figure I.4 : Fabrication des bitumes par raffinage du pétrole.

I.4.Composition de bitume

Le bitume est un produit complexe composé de différents hydrocarbures de poids moléculaire élevé appartenant dans leur grande majorité aux groupes aliphatiques et naphthéniques. Ils sont à chaînes droites plus ou moins ramifiées ou cycliques et saturées.

Ils ont des masses molaires et des structures chimiques variées. Les molécules de ces composés sont constituées de quatre principaux types d'hydrocarbures : paraffiniques, naphthéniques, aromatiques et oléfiniques. [4]

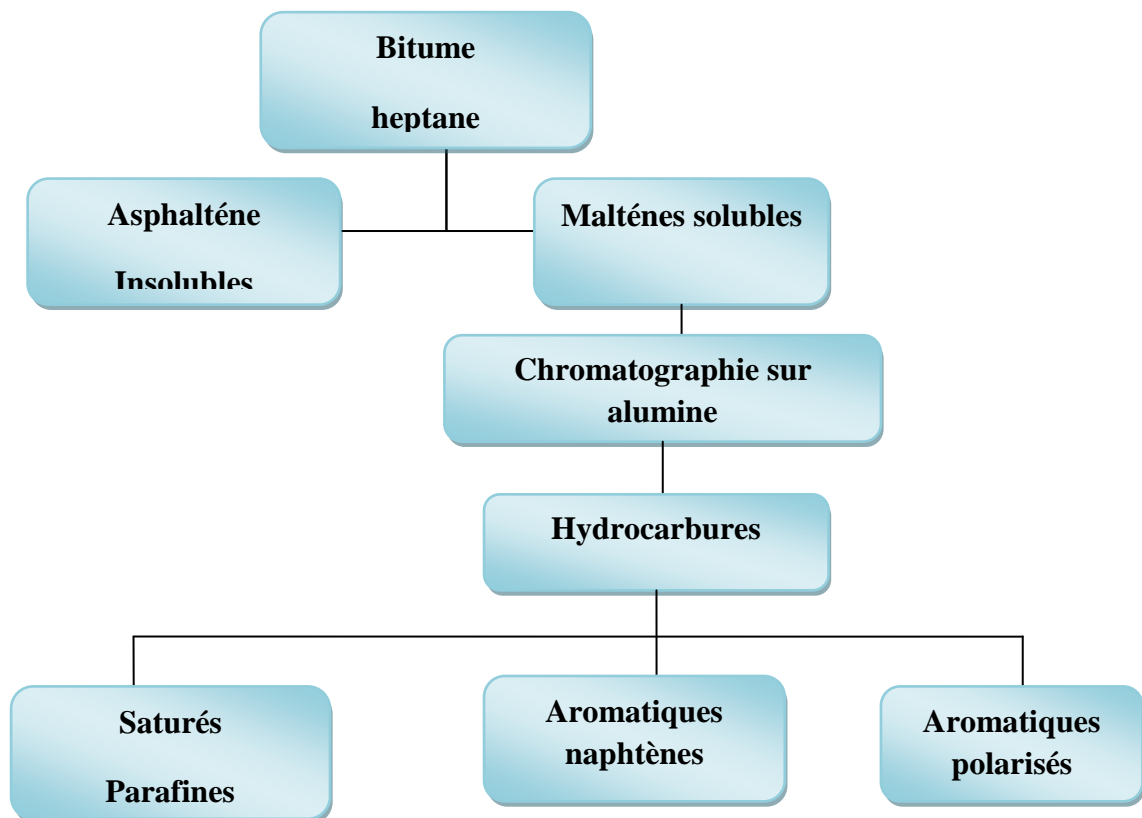


Figure I.5 : Les compositions chimiques du bitume.

- **Les asphaltènes :** Produits solides apportant au bitume sa cohésion et sa dureté et constitue entre 5 et 20 % du bitume. [5]
- **Les maltènes:** produit huileux (molécules moins grosses) dans lequel baignent les asphaltènes.

Les molécules de maltène peuvent être encore séparées par chromatographie en d'autres hydrocarbures: [5]

- ❖ Saturés (dont les paraffines): Ils sont incolores ou légèrement jaunâtre. Ils affectent la viscosité du bitume.
- ❖ Les aromatiques: sont des huiles visqueuses de couleur rouge brun foncé. Ils affectent aussi la viscosité du bitume.
- ❖ Les aromatiques polarisés (les résines): influencent son adhérence.

I.5. Classification des bitumes

Le bitume utilisé dans le bitume confère une viscoélasticité au revêtement trottoir. L'asphalte avec les bonnes propriétés assure des performances élevées contre l'orniérage, la fissuration à

chaud, la fissuration Fatigue et douleur ; ses propriétés aident à la production de peinture Sûr, durable et économique. On trouve les types suivants d'adhésifs à base d'asphalte :

- **Bitume pur** : Ils sont obtenus par raffinage de pétrole brut sans aucun additif. Selon Ils sont fabriqués de manière à pouvoir obtenir des bitumes de consistance variable. Ce Les conditions climatiques et le type de projet dictent le choix du type approprié. On distingue ainsi cinq principaux types d'asphalte, du plus dur au plus mou Cours : 20/30 ; 35/50 ; 50/70 ; 70/100 et 180/220.
- **Les cut-backs** : réduire Ceux-ci est obtenu en combinant du bitume pur avec Fractions légères issues de la distillation du pétrole, telles que le kérosène ou l'huile légère De la distillation du charbon pour réduire sa viscosité. sur leur exposition Aux conditions atmosphériques, le solvant s'évapore et laisse de l'asphalte semi-dur le remplir Une fonction. Découpe de bitume pour enduits et enduits de scellement accroché. On distingue ainsi :
 - ❖ **Rapide Condensions Pipe** : composé de ciment bitumineux et Diluants très volatils tels que le naphta ou l'essence.
 - ❖ **Agrégat moyen** : constitué de ciment bitumineux et Diluants modérément volatils tels que le kérosène.
 - ❖ **Set Réduction Layer** : composé de ciment bitumineux et Huile à volatilité lente.
- **Bitume flux** : Ce sont des bitumes purs dont la consistance a été réduite par l'ajout d'au moins cinquante pour cent de produits de distillation de pétrole et de produits de distillation de goudron de houille.
- **Asphalte composite** : Un mélange contenant au moins cinquante pour cent de bitume pur. Le brai de goudron de houille ou le goudron de houille est utilisé comme additif.
- **Bitumes modifiés** : Ce sont des bitumes composés additionnés de substances, le plus souvent des macromolécules autres que des minéraux fins ou des additifs liants. - Émulsion d'asphalte : une dispersion de fines particules d'asphalte dans l'eau Se réfère généralement à un émulsifiant, qui est un savon résineux qui stabilise produit. L'une des caractéristiques des émulsions est qu'elles éliminent les risques d'incendie et Effets toxiques, ce n'est pas le cas des coupures.

On distingue également plusieurs types d'émulsions suivant la teneur en agent émulsif :

- ❖ Les émulsions à prise rapide.
- ❖ Les émulsions à prise moyenne.
- ❖ Les émulsions à prise lente.

I.6.Bitume en Algérie

En Algérie, Les classes de bitumes purs employés en techniques routières sont 35/50 (40/50) et 70/100 (80/100). Le pétrole algérien n'est pas assez dense (lourd) pour extraire du bitume, celui-ci est alors importé soit sous forme :

- de matière première : brut réduit, raffiné à Arzew et à Skikda.
- d'un produit fini : bitume pur.

Le bitume 35/50 est fabriqué à la raffinerie d'Arzew par soufflage, il est destiné aux enrobés à chaud. Et pour le bitume 70/100 est fabriqué à la raffinerie de Skikda par la distillation sous vide. Concernant le bitume fluidifié, il est fabriqué aux unités de NAFTAL à partir du bitume pur 70/100 auquel il est ajouté un solvant. Celui-ci est destiné aux enduits superficiels. Quant à l'émulsion est destinée aux enrobés à froid. [6]

I.7.Structure du bitume

I.7.1. Description de la structure colloïdale du bitume

Il est difficile de contester la nature colloïdale du bitume face à tant de preuves expérimentales. De ce fait, décrire sa structure revient à décrire comment les particules d'asphaltènes sont structurées et comment cette organisation varie avec la température. Il convient de souligner que le modèle ci-dessous exclut les paraffines cristallisables, dont les cristallisations-précipitations retardées modifient significativement la structure des bitumes à l'échelle du micron. Ces effets sont toutefois mineurs dans la plupart des bitumes routiers, qui sont généralement non paraffiniques. L'épaisseur de la couche de résine autour des particules d'asphaltène change avec la température, selon [6]. Ils ont utilisé un paramètre de solvation K pour décrire ce phénomène. [7]

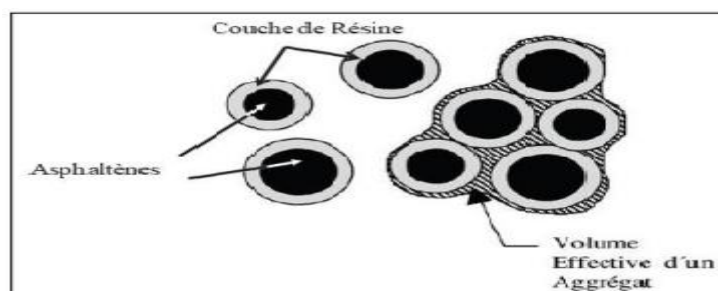


Figure I.6 : La structure colloïdale du bitume : les concepts de couches de résines peptisante (haut) et la notion de fraction volumique effective (bas). (5)

I.7.2. Description de la structure sol/gel du bitume

Actuellement. Le bitume une structure colloïdale cette modèle 1 est seul qui permet d'expliquer au mieux les propriétés particulières du bitume On distingue trois types fondamentaux de structure. Structure « SOL » Une structure colloïdale sol caractérisée par la peptisation totale des micelles d'asphaltènes, par les résines, on obtient ainsi une solution diluée et bien stabilisée d'asphaltènes dans un milieu dispersant structuré par les résines. Ces bitumes ont un comportement visqueux (newtonien), et Quant au deuxième type structure gel il a une viscosité inférieure par rapport au type gélatineux et se caractérise par une décomposition complète des micelles d'asphalte, par des résines, obtenant ainsi une solution diluée et bien stable d'asphaltène dans un milieu de dispersion régulé par la résine. Ces bitumes ont un comportement visqueux (newtonien). Une structure intermédiaire est la structure sol/gel à laquelle appartient la majorité des bitumes Cette structure est intermédiaire entre les structures précédentes. Les bitumes routiers ont généralement une structure sol-gel et leur comportement rhéologique est viscoélastique. [8]

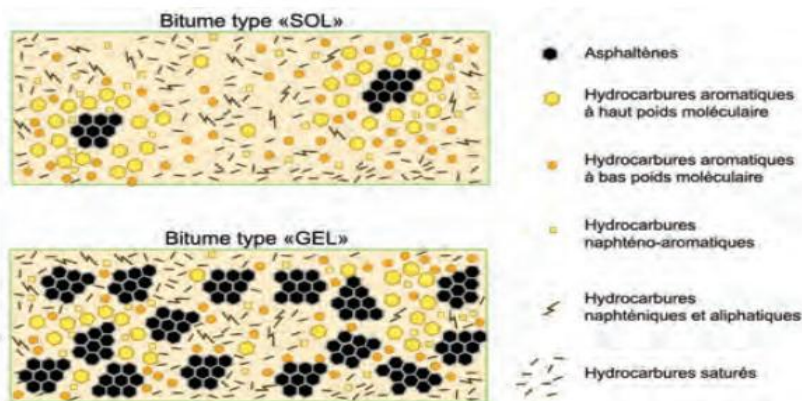


Figure I.7 : Représentations schématiques d'un bitume type sol et d'un bitume type gel. [8]

I.8.Caractérisation du bitume

Les mesures classiques caractérisent le bitume de manière empirique :

- La pénétrabilité.
- La température de ramollissement bille-anneau.
- Ductilité.
- point d'éclair.

I.8.1. La pénétrabilité

Cet essai, permet d'apprécier la consistance d'un bitume, par mesure de l'enfoncement à une température de 25°C d'une aiguille normalisée chargée à 100g dans un échantillon de bitume

durant un intervalle de temps de 5sec. La pénétrabilité est alors la distance parcourue par l'aiguille, exprimée au 1/10e de millimètres mesurée par un pénétromètre.

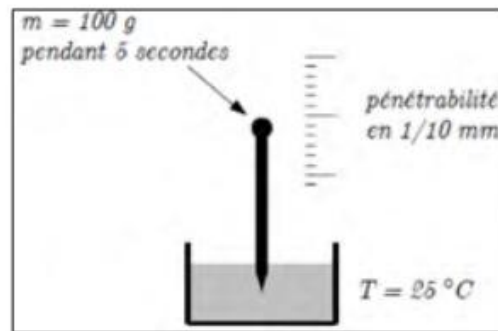


Figure I.8 : Schéma de l'essai de pénétrabilité. [9]

I.8.2. Point de ramollissement à bille et anneau

Ce test détermine la température à laquelle un produit bitumineux atteint un certain degré de ramollissement dans des conditions standards. Une bille d'acier est placée au centre de l'échantillon de bitume maintenu dans un anneau métallique puis l'ensemble est chauffé progressivement à raison de 5 °C par minute. Le point de ramollissement bille et anneau (TBA) est la température à laquelle le poids de la bille déforme l'échantillon d'une déformation verticale de 25 mm .

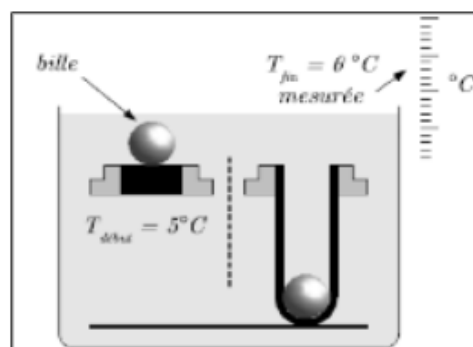


Figure I.9 : Schéma de principe de l'essai TBA. [9]

I.8.3. Ductilité

Cet essai consiste à mesurer l'allongement, à l'instant précis de sa rupture d'une éprouvette de forme déterminée, étirée à une vitesse de 50 mm/min , et à une température de 25 °C .

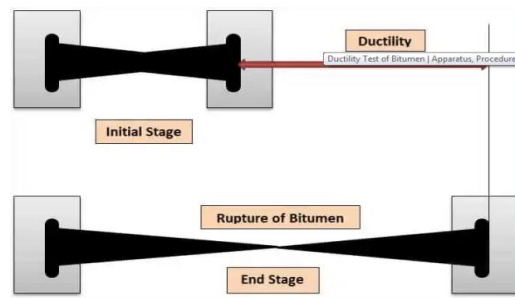


Figure I.10 : Test de ductilité du bitume. [10]

I.8.4. Point d'éclair

Le point d'éclair est la température à laquelle le matériau dégage suffisamment de vapeur pour former un mélange inflammable avec l'air. [11]

I.9. Propriétés des bitumes

Bitume mélange d'hydrocarbures et de leurs dérivés - azotés, sulfureux, contenant des métaux. C'est une substance résineuse solide ou très visqueuse.

Ce mélange varié de glucides offre une grande variété de propriétés physiques et chimiques du mélange.

I.9.1. Propriétés chimiques du bitume : En général, le bitume est chimiquement inerte vis-à-vis de la plupart des hydrocarbures

I.9.2. Propriétés physiques du bitume :

I.9.2.1. Densité : La densité des bitumes (pétrole et gaz exclus) varie selon leur composition ; elle est cependant souvent voisine de 1. Ces corps sont thermoplastiques ; leurs propriétés mécaniques sont fonction de la température, de la présence de solvants et de la charge qu'ils supportent. [12]

I.9.2.2. Viscoélasticité : La viscosité-élastique confère au bitume des propriétés mécaniques de dureté et de souplesse, dépendant de deux facteurs principaux, à savoir, la température et l'origine du bitume. Le bitume a un comportement intermédiaire du fait de ces deux facteurs, car il n'est ni un liquide newtonien ni un solide élastique. [13]

I.9.2.3. Cohésion : Même lors de contraintes particulières exercées sur la chaussée, l'enrobé ne se désagrège pas. La ductilité du bitume permet un écoulement lent au sein de l'enrobé et non une rupture, tandis que sa ténacité assure une résistance suffisante sous l'effet de contraintes de traction. [13]

I.10. Comportement des bitumes

La figure ci-dessous permet d'identifier simplement les principaux types de comportement des bitumes en fonction de l'amplitude de la déformation $|\epsilon|$ et de la température T , pour une vitesse de déformation fixée. [14] On y distingue :

- Les domaines fragiles et ductiles, où la résistance à la traction σ_p peut être mesurée.
- La rupture fragile, qui peut être caractérisée par la ténacité K_c ou l'énergie de rupture G_c (Mécanique Linéaire de la Rupture).
- Le comportement élastique linéaire, caractérisé par les modules E et G .
- Le domaine viscoélastique linéaire, caractérisé par les modules complexes E^* et G^* .
- Le comportement purement visqueux (Newtonien), caractérisé par la viscosité η .
- Pour des déformations de l'ordre de quelques pour cent, le domaine ou le comportement est fortement non linéaire.

I.11. Applications

Le bitume peut entrer dans de nombreuses autres applications, parmi lesquelles on peut citer :

[15]

- Industrie du caoutchouc (facilite le démoulage).
- Enduction de papier d'emballage (étanchéité).
- Isolation électrique et piles électriques (résistivité électrique).
- Graisses spéciales utilisées dans des conditions de température et de pression très élevées (laminoirs).
- Revêtement de protection sur des tuyaux et de câblages électriques.
- La fabrication des complexes d'étanchéité multicouches préfabriqués qu'il s'agit de protéger des ouvrages d'art ou des toitures et terrasses.

II.1. Introduction :

Ce chapitre expose d'une façon générale les bitumes modifiés, les additifs qui peuvent être ajouté au bitume pour changer les caractéristiques et le comportement.

II.2. Définie le polymère :

Assemblage d'un grand nombre d'unités (un ou de plusieurs monomères) par liaison covalente formant une chaîne macromoléculaire. Classification du polymère selon leur comportement mécanique. [1]

II.3. Polymérisation :

La polymérisation désigne une réaction chimique, fonction du temps et de la température, conduisant la matrice ou la résine à se solidifier de manière irréversible (valable uniquement pour les thermodurcissables).[1]

II.3.1. Classification des réactions des polymérisations :

Il existe deux grandes voies de polymérisation : la polymérisation par étapes et la polymérisation en chaîne.

II.3.1La polymérisation en chaîne :

La polymérisation en chaîne aboutit à la formation d'un centre actif qui lie successivement plusieurs molécules de monomères.

Les réactions en chaîne se produisent avec des étapes majeures, dont les plus importantes sont :

- Reproduction au cours de laquelle les macromolécules se développent.
- Terminaison qui correspond à l'arrêt de la croissance de la chaîne.
- Il existe deux groupes de polymérisation en chaîne : la polymérisation radicalaire et la polymérisation ionique. En polycondensation au contraire tous les groupes fonction. [2]

II.3.2. polymérisation par étapes

Polymérisation par étapes est également désignée par le terme « La polycondensation ». La formation de la macromolécule se fait par des réactions de condensation successives entre les fonctions chimiques des monomères di ou polyfonctionnels, fonction des monomères en présence. Dans cette de polymérisation, la chaîne grossit addition de monomères. Cette polymérisation est longue et peut durer plusieurs heures. [2]

II.4. Classification des polymères :

Il existe plusieurs modes de classification des polymères que peuvent être classés selon divers critères :

II.4.1. Selon leur origine :

- **Les polymères naturels** : Ils existent en l'état dans la nature, ils sont couramment subdivisés selon leur provenance végétale, animale ou minérale, tels que le caoutchouc, la cellulose, le collagène et l'amylose. [3]
- **Les polymères artificiels** : (dérivés des polymères naturels) Sont obtenue par modification chimique de polymères naturels de façon à transformer certaines de leurs propriétés. [3]
- **Les polymères synthétiques** : Les molécules monomères qui permettent de les obtenir par polymérisation [3]

II.4.2. Selon leur structure (dimensionnalité) :

- **Linéaire ou monodimensionnels** : Il s'agit d'une structure monodimensionnelle longue et flexible, constituée d'une chaîne continue d'unités répétitives disposées en ligne droite. Ils sont exclusivement issus de monomères di-fonctionnels. [3]
- **Bidimensionnels** : L'enchaînement s'étend dans deux directions de l'espace, dont certaines la nature peut produire tel que le graphite. Il a une épaisseur similaire à celle des particules simples. [3]
- **Tridimensionnels** : la réticulation correspond à la formation de liaisons chimiques suivant la différente direction de l'espace au cours d'une polymérisation. [3]

II.4.3. Selon leur domaine d'application :

II.4.3.1. Les polymères de grande diffusion :

Encore appelés polymères de commodité, dont la production annuelle s'évalue par millions de tonnes, sont devenus d'un emploi quotidien pour tous. Le polyéthylène, le polystyrène, le poly (chlorure de vinyle) et quelques autres sont à classer dans cette catégorie d'une importance économique considérable. [3]

II.4.3.2. Les polymères techniques :

Ont des caractéristiques qui leur permettent de se substituer, de plus en plus aux matériaux traditionnels (métaux, céramiques...) pour nombreuses applications ; les polyamides, les polyacétals... font partie de cette famille. [3]

II.4.3.3. Les polymères spéciaux :

Ou polymères de fonction Présentent généralement une propriété qui induit leur utilisation pour une application particulière. C'est dans cette catégorie que se trouvent les polymères conducteurs, photo actifs, thermostables, adhésifs, etc. [3]

II.5. Les différents types des polymères :

Les propriétés des polymères permettent des usages très variés. On peut ainsi les regrouper dans trois familles :

- Les thermoplastiques.
- Les thermodurcissables.
- Les élastomères.

II.5.1. Les thermoplastiques :

Une matière thermoplastique est une matière ayant la propriété de se ramollir (ment solubles), est constituée de chaînes linéaires ou ramifiées à liaisons covalentes. Ces chaînes sont liées entre elles par des liaisons faibles de type Van der Waals, et mis en forme par chauffage et refroidissement. [4]

II.5.2. Les élastomères :

L'élastomère aussi appelé caoutchouc est une sorte de polymère. Sont des solides souples, Ils sont soumis à de très grandes déformations sous l'effet de la pression, leurs chaînes sont liées entre elles par des liaisons primaires et stables. [4]

II.5.3. Les thermodurcissables :

Un thermodurcissable est un produit (poudre à mouler solide ou résine liquide) transformé irréversiblement par polymérisation en un réseau tridimensionnel infusible et insoluble que l'on qualifie de thermodurci. [4]

II.6. Définition bitume modifié :

Les bitumes modifiés sont des liants bitumineux dont les propriétés ont été modifiées par l'emploi d'un agent chimique, qui, introduit dans le bitume de base, en modifie la structure chimique et les propriétés physiques et mécaniques. Ils sont utilisés dans le domaine de la route. [5]

II.7. La structure microscopique des bitumes modifiés par des polymères :

Le procédé est conçu de façon à ce que le polymère forme un réseau au sein du bitume, créant ainsi l'amélioration désirée. Plusieurs facteurs déterminent la formation d'un réseau de polymères dans le bitume :

- La concentration de polymère dans le bitume
- La nature chimique du polymère
- Les propriétés physiques du polymère
- La nature des interactions entre le polymère et le bitume.

Toutefois, ce processus de réticulation n'est pas bien compris, si ce n'est que le polymère se retrouve dans la phase continue et que les micelles d'asphalte sont isolées. Cette réticulation apporte une structure microscopique quadrillée où les hydrocarbures neutres sont prisonniers du réseau de polymères, ce qui amène la baisse de viscosité du matériau désirée.

Aussi, des études de microscopie révèlent que pour les mélanges de bitume polymère, la structure micellaire est stable et que par conséquent, il s'agit de solutions hétérogènes. [6]

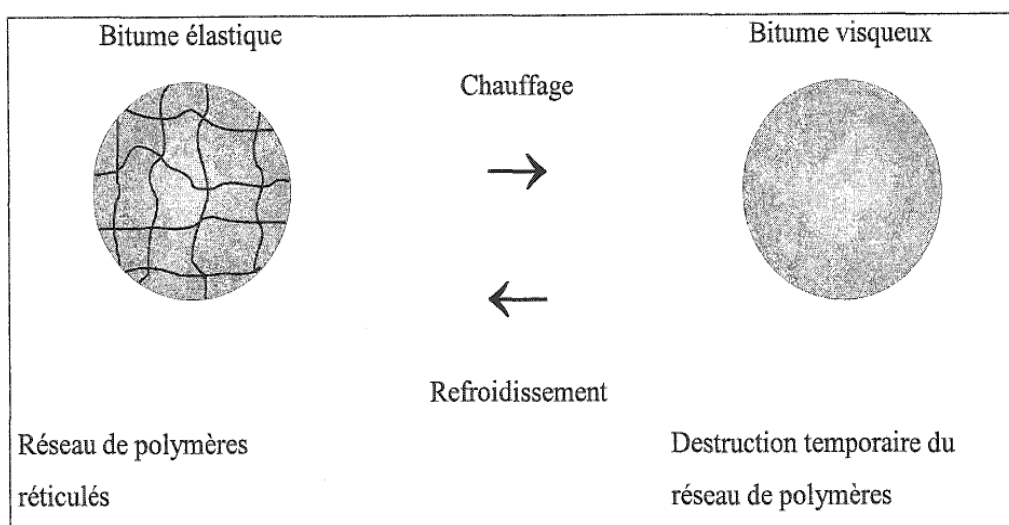


Figure II.1. Modèle du mélange de bitume et de polymères à chaud et à froid [7]

II.8. Objectif de la modification notion de liant idéal :

L'objectif est de produire un liant idéal pour créer des additifs plus efficaces, moins coûteux et faciles à incorporer dans les matrices de bitume ; Il a une sensibilité thermique très fiable dans toute la plage de températures d'application (-30 à + 60 C) mais est extrêmement résistant aux températures d'exécution (130-170 C) et améliore la douceur d'adhérence. [8]

II.9. Différents types de polymères utilisés pour la modification des bitumes :

Les principaux groupes de polymères utilisés comme modificateurs de bitume sont les suivants :

- Polymères thermoplastiques.
- Caoutchoucs naturels et synthétiques.
- Caoutchoucs thermoplastiques.
- Polymères thermodurcissables

II.9.1. Polymères thermoplastiques :

Les polymères thermoplastiques sont des polymères qui se ramollissent à certaine température mais qui redevient dur en dessous de cette température. Les polymères thermoplastiques solides possèdent des structures moléculaires amorphes et cristallisés. Et ils s'associent avec le bitume à la température ambiante en augmentant sa viscosité. Parmi les polymères principaux les plus importants de ce groupe qui ont été utilisés comme modificateurs : Polyéthylène (PE), polypropylène irrégulier et isopropylène (APP, IPP), polychlorure de vinyle (PVC), polystyrène (PS), éthylène acétate de vinyle (EVA) et acrylate de méthyle (EMA). [9]

II.9.1.1. Le polyéthylène téréphtalate PET :

Le polyéthylène téréphtalate PET (ou PETE) produit par l'estérification de l'éthylène glycol (EG) avec de l'acide téréphtalique (TPA) ou du téréphtalate de diméthyle (DMT) et a la formule générale $(-OOC-C_6H_4-COOCH_2-CH_2-n)$. Est un polymère thermoplastique à usage général qui appartient à la famille des polymères polyester. Les résines de polyester sont connues pour leur excellente combinaison de propriétés telles que la résistance mécanique, thermique et chimique. [10] La réaction globale peut être représentée comme suit :

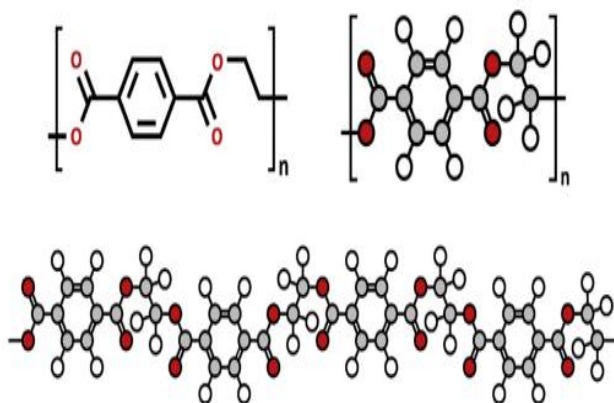
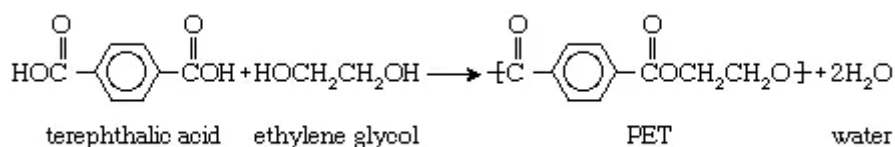


Figure II.2 : Polyethyleneterephtalate (PET) [11]

Figure II.3. Polymère PET.

II.9.1.2. propriétés PET :

Les principales propriétés du poly polyéthylène téréphtalate (PET) sont présentées ci-dessous.

Tableau II.1 : Propriétés physiques et chimiques du PET [12]

Propriétés	Valeur (unité)
Poids moléculaire (de l'unité répétitive)	192 (g mol ⁻¹)
Paramètres de Mark–Houwink	k = 3,72 10 ² (ml g ⁻¹) a = 0,73
Densité	1,41 (g cm ⁻³)
Température de transition vitreuse	69–115 (C)
Température de fusion	265 (C)
Chaleur de fusion	166 (J/g)
Résistance à la rupture	50 (MPa)
Souche de rendement	4 (%)
Résistance aux chocs	90 (J m ⁻¹)
Résistance à la traction (module d'Young)	1700 (MPa)
Absorption d'eau (après 24 h)	0,5 (%)

II.9.1.3 PR plast :

Le PRplast est un produit recyclé des plastique (câble téléphonique, bouchons de bouteilles plastique ...) qui sont des polyéthylènes a bas densité.

**FigureII.4 :** polymère PRplast.

Tableau II.2 : caractéristiques de PR plast [13]

Caractéristique	Valeurs (unité)
Densité	0.910-0.965 (g/cm ³)
Température maximale d'emploi	80 (°C)
Température de fragilisation	-50 (°C)
Point de fusion	140-150 (°C)
Granulométrie	4 (Mm)
Charge	Inférieur à 5% (%)
Plastomères	Supérieur à 95% (%)

II.9.2. Caoutchoucs naturels et synthétiques :

Les caoutchoucs naturels et synthétiques sont des polymères possédant des propriétés élastiques obtenues après réticulation. Ils supportent de très grandes déformations avant rupture et sont mieux dispersés sous forme de latex.

Le caoutchouc naturel est susceptible à la décomposition et à l'oxydation. Il possède un poids molaire trop élevé pour être directement dissous dans le bitume. Exemples de caoutchoucs naturels et synthétiques : copolymère styrène-butadiène (SBR), polybutadiène, le polyisoprène, le butyle caoutchouc et le polychloroprène. Généralement, les caoutchoucs synthétiques fabriqués à partir des polydioléfines sont plus faciles à incorporer dans les matrices bitumineuses que les polymonooléfines et confèrent des caractéristiques d'élasticité d'une manière plus évidente que les matériaux thermoplastiques.[9]

II.9.2.1. Caoutchouc styrène-butadiène (SBR) :

Le SBR est un type de caoutchouc synthétique qui s'est révélé être un modificateur efficace des performances de l'asphalte à basse température. Il peut être produit par une solution et une émulsion purifiée de styrène-butadiène et une solution purifiée de styrène-butadiène avec de l'alkyltidine. La copolymérisation de l'émulsion est soit un procédé à froid, soit un procédé à chaud. Les principaux inconvénients du SBR sont ses mauvaises propriétés mécaniques (sa forme élégante), sa mauvaise résistance à l'huile, sa mauvaise résistance à l'ozone. Certaines de ses marques (AmeripolSynpol, Stereon et plioflex).

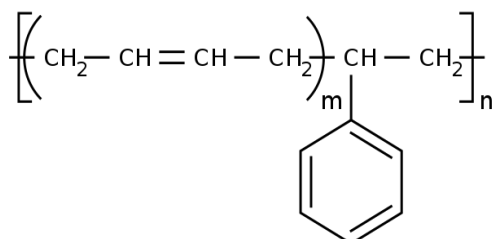


Figure II.5 : Unité répétitive de SBR. [14]



Figure II.6 : polymère SBR.

II.9.2.2. Caractéristique des caoutchoucs SBR :

Suivant le code d'international Institute of synthétique rubber Producer IISRP les copolymères SBR est classé en différente catégories :

- **SBR série 1000** : Ces les copolymères obtenus par polymérisation à chaud.
- **SBR série 1500** : Copolymères obtenus par polymérisation à froid leurs caractéristiques dépendent de la température de réaction.
- **SBR série 1700** : Ce sont des SBR 1500 étendus à l'huile.
- **SBR série 1600 et 1800** : Le mélange de carbone noire avec la gomme SBR 1500 se fait a la fabrication par incorporation d'une dispersion aqueuse de carbone noire au latex SBR précédemment étendu a l'huile après coagulation et séchage on obtient un mélange maitre proche du produit fini. [15]
- **Tableaux II.3** : Propriété technique de SBR. [16]

Propriété	Résulte de test	Exigence techniques	Spécification
Teneur en butadiène(%)	70	68-71	GB12824-91
Viscosité	52	50-53	GB12824-91
Fines avec le nombre de mailles de 10 (%)	100	Nombre de mailles de 10 ou 20	GB12824-91
Teneur en styrène(%)	23.5	23.5	GB12824-91
Volatilisation(%)	0.2	≤0.8	GB12824-91
Teneur en cendres(%)	7.5	≤8	GB12824-91
Résistance à la traction	26.5	≥26	
Allongement à la rupture(%)	540	≥500	
Teneur en savon	0.15	≤0.5	GB12824-91
Teneur en acide organique(%)	6.3	6.3	GB12824-91

II.9.3. Caoutchoucs thermoplastiques :

Le caoutchouc thermoplastique est une famille de copolymères ou de mélanges de polymères dont les membres combinent les propriétés élastiques des élastomères avec le caractère des thermoplastiques. Les élastomères thermoplastiques utilisés comme additifs au bitume sont des blocs de copolymères de mono- et dioléfines. Le plus couramment utilisé, en tant que monomère, est le styrène, tandis que la dioléfine, le butadiène et l'isoprène le sont. Ces copolymères se présentent sous la forme de SBS (ou SIS), où S représente le polystyrène et B(I) le polybutadiène (polyisoprène). Les copolymères à blocs SBS sont préparés sous deux formes, à savoir la forme linéaire et la forme de copolymère ramifié à 3 ou 4 brins séparés d'un point central (Fig2). Ces polymères sont appelés SBS étoilés ou radiaux (rSBS). Divers types de copolymères SBS, notamment le SBS, ont été utilisés comme modificateurs de bitume. [9]

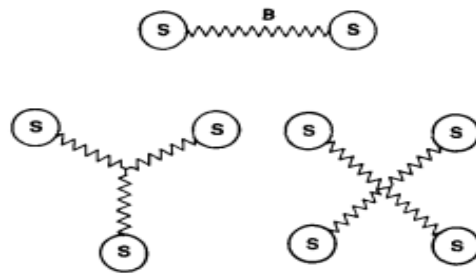
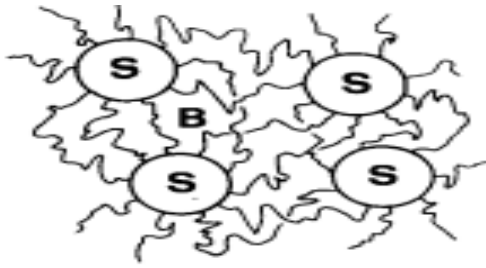


Figure II.7 :Structure schématique de SBS.[9] **Figure II.8 :** molécules SBS linéaires et radiales. [9]

II.9.4. Polymères thermodurcissables :

Thermodurcissables sont généralement amorphes et ne ramollissent pas durant le chauffage, ils ne sont pas très utilisés dans le pavage des routes à cause de leurs coûts élevés et leurs mises en œuvre.

Toutefois, les propriétés qu'ils confèrent au bitume sont remarquables, les produits les plus connus sont basés sur des résines époxy, ils sont utilisés en mélange de deux composants dont l'un contient la résine et l'autre un durcissant qui réagit chimiquement pour former une structure forte mélangée avec du bitume en quantité substantielle. [9]

II.10. Fabrication des bitumes modifiés aux polymères

Diverses procédures ont été développées pour la production et le traitement des PMB. Outre le polymère et le bitume, une certaine quantité d'énergie est nécessaire. Les principaux facteurs affectant la vitesse de dispersion sont : (1) la taille de la particule de polymère, (2) la température et (3) le cisaillement agissant sur la particule. Habituellement, les températures de mélange sont comprises entre 150 et 200 ° C ou plus, le temps de mélange varie de quelques minutes à quelques heures. Le temps de malaxage optimal est atteint lorsque les propriétés souhaitées du polymère bitumineux telles que point de ramollissement, pénétration et viscosité deviennent constantes. Ce malaxage conduit à la possibilité d'obtenir des matériaux bitumineux à très haut niveau de performance par exemple après addition de caoutchouc, d'une augmentation de la viscosité (couple) est observée en raison de l'incorporation progressive du caoutchouc dans le bitume ; En très peu de temps, le caoutchouc devient la phase continue du mélange et le bitume agit comme un plastifiant. Le PMB n'est généralement pas produit par les raffineries de pétrole en raison du caractère particulier de la production, mais par des sociétés privées appelées "mélangeurs", ou par constructeurs de routes. [9]

II.11. Compatibilité polymère/bitume

Le sens courant d'une compatibilité polymère/bitume est un système homogène à en juger par la vue mais hétérogène au microscope. Comme chaque bitume a sa propre composition chimique qui n'est généralement pas précisée pour prédire la compatibilité avec un polymère particulier, la meilleure façon de tester la compatibilité entre un couple bitume et un polymère reste le test en laboratoire, l'idée de compatibilité bitume-polymère selon principes généraux permettant de prédire grossièrement la capacité du bitume à Composition de bonnes BMP:

- Un pourcentage élevé d'asphalte réduit la compatibilité du bitume avec le polymère.
- L'arôme du Maltin doit être dans la gamme optimale pour assurer une bonne compatibilité.

Des approches théoriques permettent de préciser ces concepts. En particulier, Laval et Quivoron ont montré comment le concept de balance hydrophilelipophile (HydrophilicLipophilic Balance HLB) utilisé pour classer les tensioactifs, peut permettre de prédire la compatibilité de combinés époxy avec. La valeur HLB d'une époxy doit être :

- Inférieur à 6,3 ou 8 (suivant la nature du bitume) pour obtenir une miscibilité totale (solubilité).
- Entre 6,3 et 9,3 ou entre 8 et 11,8 (suivant la nature du bitume) pour obtenir une bonne compatibilité.
- Supérieure à 9,3 ou 11,8 (suivant la nature du bitume) pour une insolubilité complète. [17]

II.12. Le mécanisme de la modification bitumineuse avec un polymère :

Trois états généraux peuvent être définis pour le mélange de bitume et de polymère :

- **Le premier cas** : faible teneur en polymère (moins de 4%). Dans ce cas, le bitume est la phase primaire et la phase polymère y est dispersée. Dans ce cas son volume gonfle, le coefficient de raideur de la phase polymère est supérieur à celui de la matrice bitume, ce qui améliore les performances mécaniques du bitume, on peut conclure que le polymère dispersé dans le bitume améliore les propriétés du bitume à haute et basses températures.
- **Le second cas** : la teneur en polymère est d'environ 5% : dans ce cas il est instable ce qui rend difficile le contrôle d'un tel système, Et avec l'augmentation de la proportion de polymère, le point de ramollissement augmente considérablement.
- **Le troisième cas** : teneur élevée en polymère (plus de 7 % si un bitume et un polymère appropriés sont sélectionnés) : dans ce cas, le polymère est la phase dominante et forme une matrice continue dans le système. Ce système devient un polymère plastifié avec de l'huile de bitume, où une phase lourde de bitume est dispersée. Les propriétés de cet adhésif thermoplastique deviennent similaires à celles du polymère. Dans ce cas, le point

de ramollissement peut subir un léger changement avec l'augmentation de la teneur en polymère. [18]

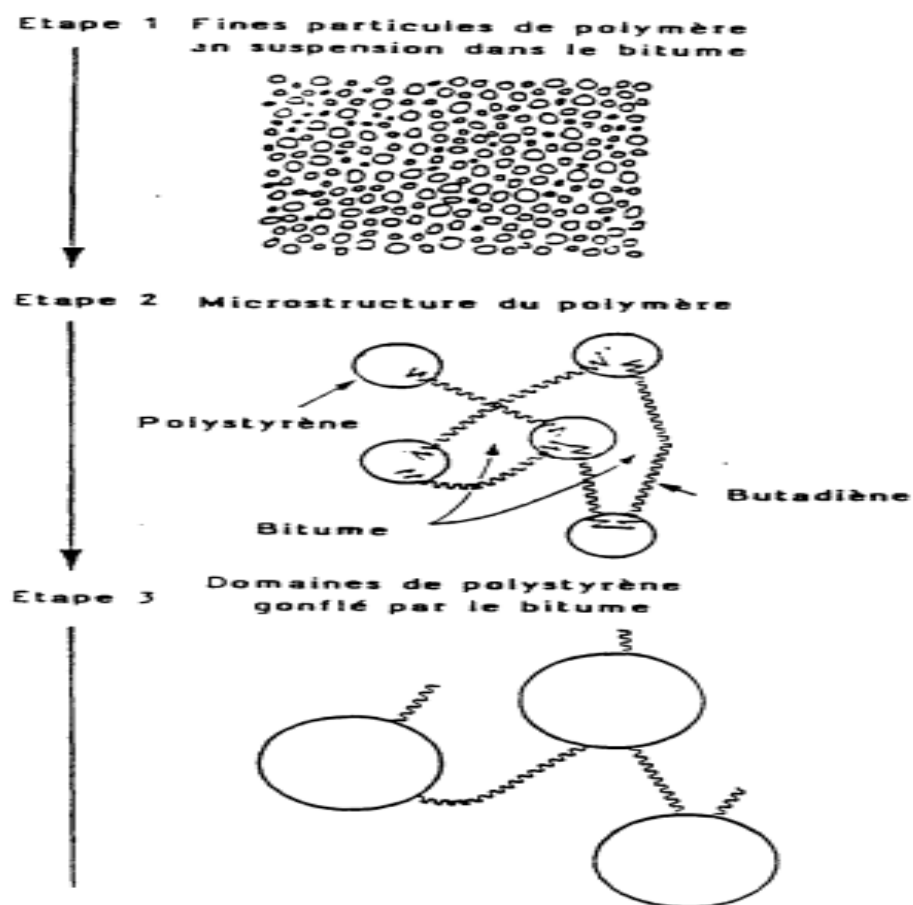


Figure II.9 : Mécanismes de la dispersion d'un copolymère dans le bitume [19]

II.13. Les propriétés :

Les propriétés fondamentales d'un bitume modifié pour son utilisation en routes sont [9] :

- Récupération flexible.
- Améliorer la cohésion et l'adhérence.
- Améliorer diverses propriétés de vieillissement.
- Amélioration de la résistance à la déformation.

II.14. Constituants de l'écorce :

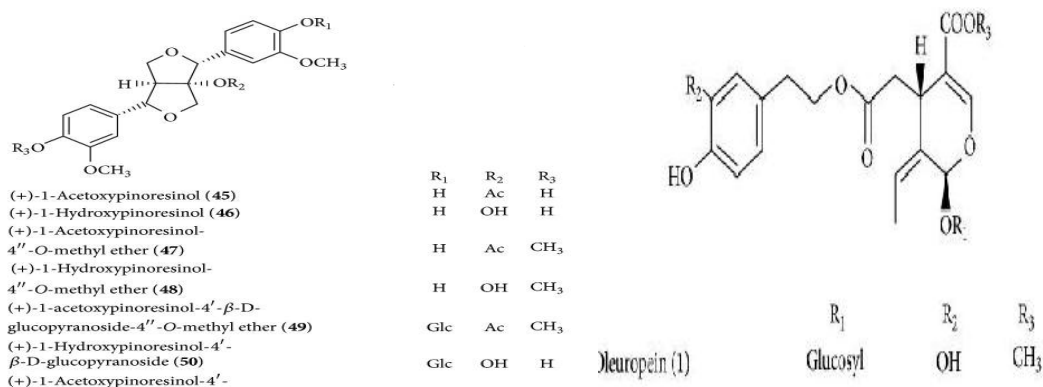


Figure II.10 : Constituants de l'écorce. [20]

II.14.1. Composition phénolique de l'écorce d'olivier :

L'oleuropeine est le composé principal de l'écorce d'olivier, sans oublier qu'elle contient aussi Hydroxotétrazole, Tyrosol, Vanilline, Acide phénylacétique et un groupe d'acides[21] :

- Acide hydroxyphénylacétique.
- Acide vanillique.
- Acide caféique.
- Acide coumarique
- Acide férulique.

Tableaux II.4 : Concentration de composés phénoliques extraits de l'écorce de l'olivier. [21]

Composé phénolique	Concentration (g/l)
Hydroxytyrosol	0.02830
Tyrosol	0.01640
Acide p-hydroxyphenylacétique	0.01266
Acide vanillique	0.20264
Acide cafeique	0.08607
Acide caumarique	0.03681
Vanillin	0.09694
Aide ferulique	0.00731
Oleuropin	3.866



Figure II.11 : l'écorce d'olivier et Poudre d'écorce d'olivier (polymère BIO).

II.15. Conclusion :

Ce chapitre à été dédié pour l'identification sur les polymères et leur types que permet l'utiliser comme des additives avec le bitume. Les principaux types sont les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères, le plus utilisé dans le bitume modifié est des élastomères tels que le styrène butadiène.

On modifie le bitume pur par différents aditifs pour améliorer leurs propriétés d'usage et notamment des polymères.

III.1. Introduction

Les enrobés bitumineux est un mélange de différents constituants avec des pourcentages spécifiques.

Les enrobés bitumineux ont, depuis plusieurs années, fait l'objet de nombreuses applications (routes, noyaux de barrages, chaussées aéronautiques, protection de digues, étanchéités de protection des barrages et bassins, etc.), Grâce à leurs souplesse, résistance aux chocs, facilité de construction sans joints de dilatation, ni de retrait, effet bénéfique sur la pérennité des structures bitumineuses.

III.2. Définition

On appelle enrobé hydrocarboné tout mélange de granulats et de liant hydrocarboné. Le terme est donc plus général que celui de béton bitumineux puisqu'il inclut les mélanges dont le liant n'est pas forcément un bitume (goudron, liant à base de bitume fluidifié...). [1]

Un enrobé bitumineux est défini comme un mélange de liant bitumineux (5 à 7 % en masse), d'agrégats et de fines (passant à 80 μm) –les fines étant également appelées “filler”.

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.

Le béton bitumineux crée généralement la couche supérieure des chaussées appelée couche de surface.

III.3. Fabrication des mélanges bitumineux

Plusieurs définitions peuvent être utilisées pour distinguer les différents types de mélange. L'une d'entre elle est de différencier les techniques d'incorporation du liant pour former le mélange avec la phase granulaire, il en existe trois principales [2] :

- Les matériaux enrobés à chaud en centrale ou hors du site d'application, ils sont élaborés à partir de plusieurs fractions granulaires recomposées en proportions bien définies.
- Les matériaux traités à froid à l'émulsion, à la mousse de bitume ou avec un liant mixte hydrocarboné/hydraulique.
- Les matériaux à base d'émulsion ou de bitume fluxé utilisés en traitement de surface, élaborés lors de la mise en œuvre avec des matériels spécialisés, comme les enduits superficiels, les coulis et enrobés coulés à froid.

III.3.1. Poste d'enrobage

Les bétons bitumineux doivent être fabriqués dans une installation d'enrobage automatique, fixe ou mobile, qui comporte les dispositifs mécaniques d'alimentation, de séchage et de dépoussiérage des granulats, ainsi que d'alimentation en liant, nécessaires pour fabriquer l'enrober dans les limites prescrites de granularité, de teneur en liant et de chauffage fixé par les normes ou préconisées par les fabricants de liant. L'installation doit être conforme aux normes environnementales. [8]

III.4. Composition

Le béton bitumineux est composé de différents éléments ainsi que le Gravillons, Sable, Filer et le bitume qui utilisé comme liant.

La bonne résistance des enrobés bitumineux dépend des granulats et du liant utilisés, ainsi que du respect des proportions. Ces granulats et liants doivent respecter certaines normes :

- ❖ Granulats : EN 13043/2002 AC : 2004 -SN 670 103b.
- ❖ Filler : SN 670 116
- ❖ Bitume :
 - EN 12591 1999
 - SN 670 150-1
 - EN 14023 : 2005 - SN 670 210

Dans quelque cas on a ajouté des additifs au mélange.

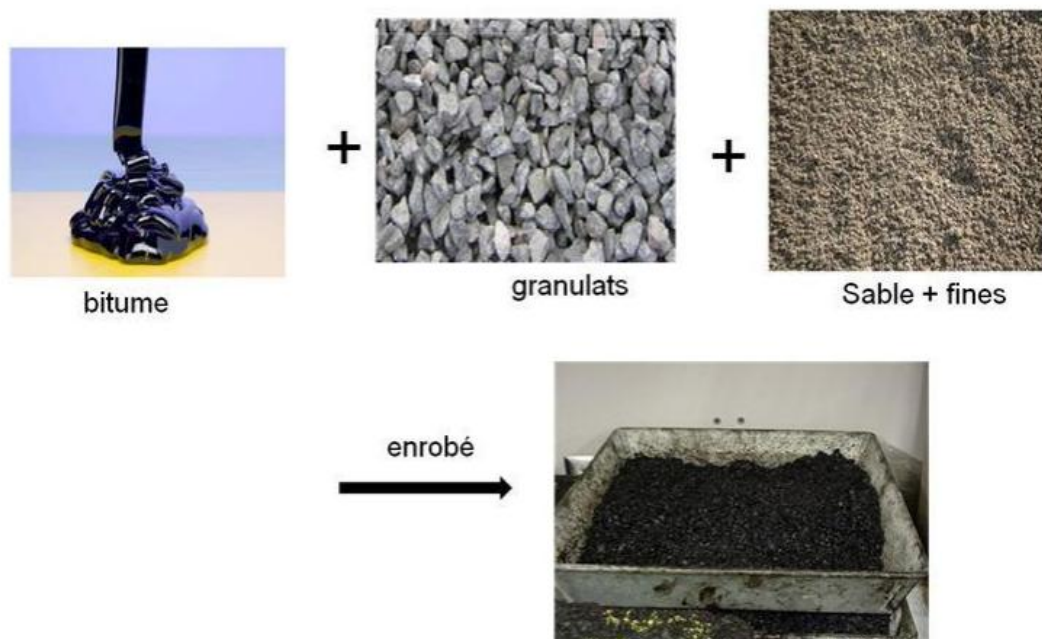


Figure III.1 : composition des enrobés bitumineux

III.4.1. Liants hydrocarbonés

Les liants hydrocarbonés 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 enrobé », la masse volumique du bitume est prise égale à 1.03 t/m³, également qui jouent un rôle important dans la technique routière moderne, sont connus et utilisés depuis longtemps. On distingue trois familles de liants hydrocarbonés : [3]

- **Asphalte** : roche calcaire imprégnée de bitume. Expression qui désigne le revêtement des routes.
- **Bitume** : composé de carbone et d'hydrogène, d'où le nom d'hydrocarbure. Il peut être d'origine naturel ou provenir de la distillation du pétrole.
- **Goudron** : Produit provenant de la distillation de diverses substances : charbon, bois, tourbe. Il est moins soluble que le bitume.

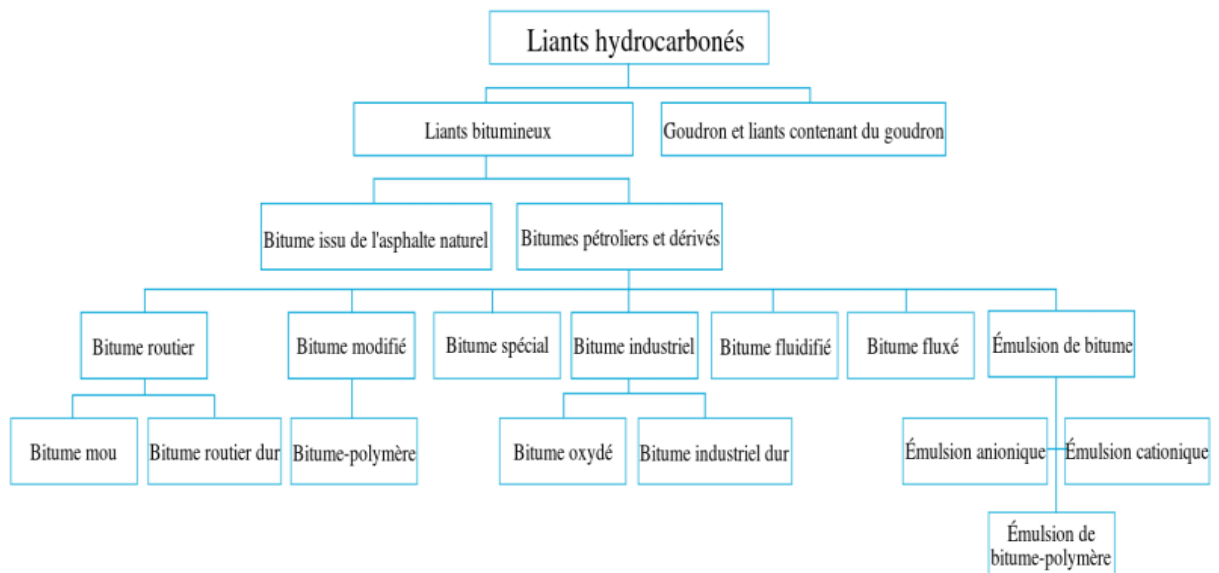


Figure III.2 : Types de Liants hydrocarbonés.

III.4.1.1. 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 (RS).
- Les émulsions à prise moyenne (MS).
- Les émulsions à prise lente.

III.4.1.2. 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. [4]

III.4.1.3. Choix du bitume

La nature chimique du bitume a également une certaine influence. En général, les bitumes contenant un taux élevé de composés naphthéno-aromatiques et aromatiques-polaires, conformément à la norme (NLT-373), sont préférables. Cependant, l'influence que peut avoir la composition du bitume, dans la fourchette habituelle utilisée, est moins importante que celle de la pénétration du liant d'origine. [9]

III.4.2. Granulat

Les granulats proviennent de carrières où les roches massives sont concassées, ou bien sont d'origine alluvionnaire. [5]

Les granulats sont répartis en différentes classes granulaires normées qui sont définies par le diamètre minimal et le diamètre maximal du granulats. L'intégration des granulats dans le mélange bitumineux nécessite de connaître différentes caractéristiques :

- Celles qui tiennent à la nature de la roche d'origine (dureté, résistance au polissage, résistance aux chocs).
- Celles qui résultent de la fabrication des granulats (propreté, forme, granularité, angularité, homogénéité).



Figure III.3 : Représenter les granulats classe 3/8 a gauche et la classe 8/15 a droite.

III.4.3. Le sable

Le sable enrobé est un sable, naturel ou artificiel, traité soit en centrale au bitume pur soit au cut back, destiné à être utilisé en couche de roulement.

Toutes sortes de sables fins, moyens ou grossiers, calcaires ou siliceux peuvent être employés, seules des raisons de propreté ($ES < 40\%$) et de performances mécaniques ont fait déconseiller l'emploi de certains sables.



Figure III.4 : représenter le sable ou granulat classe 0/3.

III.4.4. Les additifs

Les additifs ce sont des polymères naturels (bio) ou industriels (SBR, SBS, PRplast, ZQ1,...), On les ajoute pour améliorer le mélange.

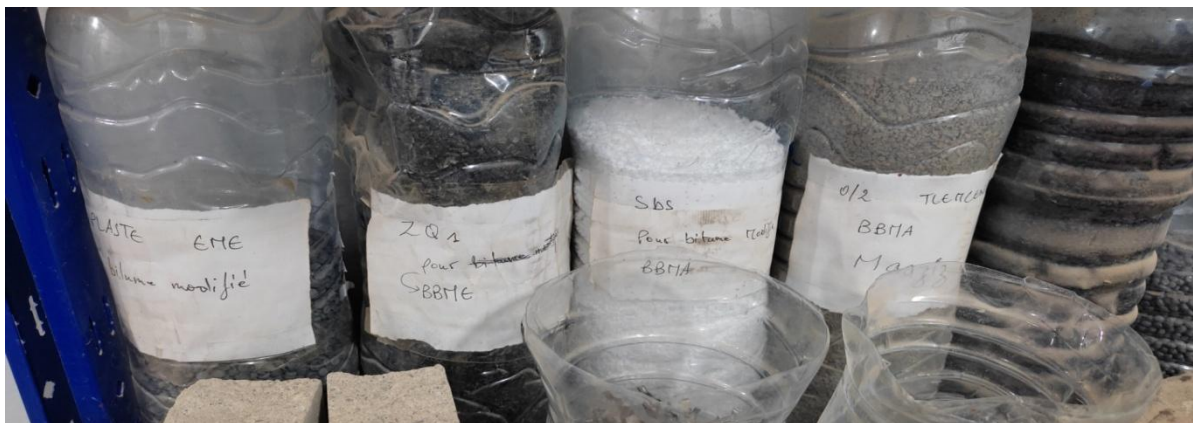


Figure III.5 : Représenté des différents additifs.

La plupart des additifs qui sont ajoutés au mélange se trouvent dans la couche de roulement selon le type de route utilisée :

Tableau III.1 : les additifs et l'épaisseur de chaque classe de type de route.

Type de route	Les classes composant la couche de roulement (De bas en haut)	Les additifs	L'épaisseur (cm)
Autoroute	E.M.E. 1	PRplast	10
	E.M.E 2	PRplast	09
	B.B.M.E	ZQ 1	05.5
	B.B.M.A	SBS, 0/2 Tlemcen	03.5
Route régionale	B.B	-	09
Bonde d'arrêt d'urgence	B.B.M.A	SBS, 0/2 Tlemcen	04.5
	B.B.M.E	ZQ 1	05.5



Figure III.6 : Carotte de l'autoroute Algérienne Est-Ouest.



Figure III.7 : Carotte de route régionale.



Figure III.8 : Carotte de bonde d'arrêt d'urgence.

III.5. Les différentes types des enrobés bitumineux

III.5.1. Les enrobe à chaud

On distingue de nombreux types de béton bitumineux, chacun avec ses caractéristiques propres : [6]

- **Les enrobés bitumineux mince** : possède une granulométrie de 0/10 ou 0/14. Ce béton bitumineux est facilement compactable et est parfaitement imperméable. Principalement utilisé pour les parkings ou les trottoirs, son épaisseur varie de 2.5 à 5 cm.
- **Les enrobés bitumineux très mince** : c'est sans doute l'enrobé le plus intéressant en termes de rapport qualité-prix. En effet, il dispose d'une très bonne durée de vie ainsi que d'une facilité de mise en œuvre. Quelle que soit la granulométrie (0/10 ou 0/6), le BBTM dispose d'une épaisseur comprise entre 1.5 et 3 cm.
- **Les enrobés bitumineux ultra mince** : destiné à une couche de roulement, c'est-à-dire en contact direct avec les pneumatiques des véhicules, il est tout indiqué pour un parking par exemple. Son épaisseur varie de 1 à 1.5 cm.
- **Les enrobés bitumineux souple** : comme son nom l'indique, ce béton est constitué d'un bitume assez mou pour obtenir un enrobé déformable. Cependant, il possède une faible résistance à l'orniérage.
- **Les enrobés bitumineux drainant** : l'avantage principal de ce type de béton bitumineux réside dans son excellente adhérence, aussi bien par temps de pluie ou de forte chaleur. De plus, il réduit le bruit de roulement. Pour une allée de jardin, il est alors parfaitement adapté !
- **Les enrobés bitumineux semi-grenu** : celui-ci est l'enrobé à chaud de référence. En effet, il répond à de nombreux besoins (trottoir, allée...) et est très adapté pour un trafic aussi bien moyen que lourd. Son épaisseur varie de 3 à 9 cm, suivant la granulométrie.

D'autres aspects seront étudiés avant le choix du BB : le climat de la région sera pris en compte pour le choix du futur revêtement [7]:

- le bitume utilisé peut se ramollir si la chaleur est trop forte.
- le béton peut durcir par trop basses températures.
- la pluie ou la neige tassée sont également des critères à prendre en compte, car le BB peut geler et favoriser la formation de verglas.

III.5.2. Les enrobés coulés à froid

Le mélange est entièrement fabriqué et mis en œuvre à la température ambiante et destiné aux couches de roulement des routes à faible trafic.

L'enrobé coulé (ECF) à froid est un mélange de granulats, de sable et de bitume utilisé comme liant. L'enrobé à froid, contrairement à l'enrobé chaud qui nécessite une température de 130 °C environ, se met en œuvre à température ambiante (entre 10 et 20°C). Certains enrobés sont fabriqués avec des granulats ayant déjà été enrobés : il s'agit alors d'un enrobé à froid à double enrobage. [6]

III.5.2.1. Utilisation d'enrobés coulés à froid

Tableau III.2 : Utilisation d'ECF.

L'utilisation d'ECF	Limites d'utilisation
Couche de roulement en entretien	Ne suppriment pas la remontée des fissures.
Revêtement coloré	Ne permettent pas de rectifier le profil du Support
Couche d'accrochage (0/4)	Ne renforcent pas

III.5.2.2. Les avantages et les inconvénients de l'ECF

Tableau III.3 : Les avantages et les inconvénients de l'ECF.

Avantages	Inconvénients
Le prix (avec un aspect «noir» assez comparable).	Qualité souvent médiocre.
Moins de travaux préparatoires.	Peu de résistance.
Pas de couche d'accrochage.	Marque facilement.
Durée de chantier réduite.	Mauvaise élasticité.
Remise en circulation plus rapide (30 à 60 min).	Faible cohésion de surface.

III.5.3. Les enrobés tièdes

On tente d'obtenir une diminution des températures de production de 30 à 50°C; L'enrobé tiède rencontre toutes les spécifications de l'enrobé à chaud, mais il est produit et mis en œuvre à une température inférieure de 30° à 60°C par rapport à l'enrobé à chaud.

L'enrobé tiède est produit en centrale d'enrobage à une température inférieure de 30° à 60°C, par moussage du bitume ou par l'ajout d'additif. Il est recommandé de vérifier l'ajustement du régime thermique de la centrale lors de la production de l'enrobé tiède. [6].

III.5.3.1. Les avantages de l'enrobé tiède

- Augmentation de la durée de vie de l'événement grâce à la diminution des températures de production.
- Diminution des émissions de gaz à effet de serre.
- Réduction de la consommation énergétique.
- Diminution des odeurs et des émissions de bitume lors de la production en centrale et de la mise en œuvre.
- Augmentation potentielle du taux de granulats bitumineux recyclés (GBR) en centrale.

L'enrobé tiède est utilisé en couche de roulement et de liaison, soit en construction ou en entretien. Il répond à tous les types de trafic, au même titre que les enrobés à chaud.

III.6. Transport des enrobés bitumineux

L'enrobé est transporté par camion de la centrale d'enrobage jusqu'au finisseur. Le transport doit être effectué en minimisant les délais ainsi qu'en évitant la ségrégation des granulats et la diminution de la température de façon à ne pas modifier les caractéristiques de l'enrobé. Les délais sont fonction du temps de chargement, du temps de pesage, du temps d'obtention du bon de livraison, du temps pour recouvrir l'enrobé dans la benne, de la distance entre la centrale d'enrobage et le chantier, de la vitesse moyenne de transport et, enfin, de la période d'attente avant le déchargement en chantier. Le nombre de camions nécessaire au fonctionnement efficace du chantier doit être déterminé en fonction de ces délais et il doit être suffisant pour assurer une alimentation continue du finisseur, sans être trop élevée afin d'éviter les délais d'attente avant le déchargement.



Figure III.9 : le déchargement de béton bitumineux au finisseur.

III.7. Contrôle qualité des enrobés bitumineux [10]

III.7.1. Qualité

La qualité peut être plusieurs choses à la fois ; elle comporte des aspects objectifs et subjectifs mais aussi matériels et immatériels.

La qualité réside à satisfaire les besoins du client et de limiter les coûts de non-qualité. La qualité d'un produit se définit comme un ensemble de composantes :

- Objectives : partie technique (sécurité, fiabilité, durabilité, ...) : besoins implicites.
- Subjectives : partie perçue (conforme à l'attente, meilleur prix, ...) : besoins exprimés.

III.7.2. Contrôle

Le contrôle permettra d'établir des mesures correctives en cas d'écarts entre les prévisions et les réalisations et cela dans le but d'une bonne gestion de l'entreprise.



Figure III.10 : Contrôler la température.

Figure III.11 : Contrôler l'épaisseur de couche .

III.7.3. Référentiels

Le référentiel pour le contrôle qualité de la mise en œuvre des enrobés est le Cahier des Clauses Techniques et Particulières qui comprend les normes techniques, les méthodes d'exécution et de mise en œuvre et mode de rémunération propres aux travaux d'aménagement et de bitumage.

III.7.4. Stratégies de contrôle de la mise en œuvre des enrobés

Selon la norme NFP 98-150 concernant l'exécution des corps de chaussées, ce contrôle comprend les étapes suivantes :

- Les travaux préparatoires et vérification du support.

- La vérification des matériels et l'exécution et vérification des réglages des matériels.
- Le contrôle du respect des consignes adoptées et du bon fonctionnement des matériels.
- Le contrôle de conformité de l'ouvrage réalisé.

III.8. Différents types de chaussée

Il existe 03 grandes familles de chaussée :

III.8.1. Chaussées souples : Pour une assurance parfaite et un confort idéal, la chaussée exige généralement pour sa construction :

- Plusieurs couches exécutées en matériaux différents.
- D'une épaisseur bien déterminée.
- Ayant chacune un rôle aussi bien défini.

Les chaussées souples constituées par des couches superposées et de matériaux ayant une faible résistance à la traction. Les couches supérieures sont généralement plus résistantes et moins déformable que les couches inférieures.

III.8.2. Chaussées semi –rigides : Les chaussées comportant une couche de base et/ou une couche de fondation en sable gypseux.

Les chaussées comportant :

- Une couche de base.
- Quelquefois une couche de fondation.
- Traitée au liant hydraulique (ciment, laitier granulé...).

On les rencontre fréquemment dans les zones arides.

III.8.3. Chaussées rigides : Elles sont constituées d'une dalle de béton de ciment, éventuellement armée (correspondant à la couche de surface de chaussée souple) Reposant sur une couche de fondation qui peut être :

- Un grave stabilisé mécaniquement.
- Une grave traitée aux liants hydrocarbonés ou aux liants hydrauliques.

N.B : Les Chaussées semi –rigides et Chaussées rigides n'existe pas actuellement, en Algérie.

III.9. Différentes couches d'une chaussée

III.9.1. Couche de forme (CF) : Elle est généralement prévue pour répondre à certains objectifs en fonction de la nature du sol support :

- Sur un sol rocheux.
- Sur un sol peu portant (argileux à teneur en eau élevée).

III.9.2. Couche de fondation (CF) : La couche de base et couche de fondation forment le « Corps de chaussée ».

III.9.3. Couche de base (CB) : C'est une couche intermédiaire, permet le passage progressif entre la couche de roulement (CR) et la couche de fondation (CF). Elle reprend les efforts verticaux et repartit les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.

III.9.4. Couche de surface (CS) : Cette couche est en contact direct avec le pneumatique de véhicule et la charge extérieure. Elle est composée :

- **Couche de roulement (CR)** dont le rôle est de :
 - Encaisser les efforts de cisaillement provoqués par la circulation.
 - Imperméabiliser la surface de la chaussée.
 - Assurer la sécurité (adhérence).
 - Assurer le confort (bruit).
- **Couche de liaison (CL) :** dont le rôle essentiel est de l'assurer une transition avec les couches inférieures plus rigides.

PARTIE EXPREMENTALE

IV.1. Introduction

La modification du bitume avec des polymères est une technologie ancienne (depuis les années 1960) qui a donné des résultats acceptables et une échelle adaptée à son domaine d'application. Dans ce chapitre, nous présenterons la modification du bitume pur par ajout de polymères (SBR.PET.PRplast.BIO) de manière chimique en fonction de la solubilité de ces polymères dans un solvant et nous nous appuierons sur l'étude des propriétés de ce bitume sur quelques tests expérimentaux à travers lesquels on peut juger de l'évolution de certaines propriétés, ce qui nous donne une idée des performances à obtenir.

IV.2. Partie au niveau du laboratoire de l'université de Tissemsilt :

IV .2.1. Les calcule :

1^{er} cas :

Bitume+ polymère (PET ou BIO) :

$$m(\text{total}) = m(\text{bitume}) + m(\text{polymère})$$

% de (polymère) par x

$$m(\text{bitume}) = m(\text{total}) * (1 - x)$$

$$m(\text{total}) = \frac{m(\text{bitume})}{(1 - x)}$$

$$m(\text{polymère}) = m(\text{total}) - m(\text{bitume})$$

2^{ème} cas :

Bitume + polymère (PET, SBR ou PRplast)+ bio :

$$m(\text{total}) = m(\text{bitume}) + m(\text{polymère}) + m(\text{bio})$$

% de bio s par X1 et de polymère X2

Pour calculer la mass total :

$$m(\text{bitume}) = m(\text{total}) * (1 - (x1 + x2))$$

$$m(\text{total}) = \frac{m(\text{bitume})}{(1 - (x1 + x2))}$$

Pour calculer la masse de bio :

$$m(\text{bio}) = m(\text{total}) * X1$$

Pour calculer la masse de polymère :

$$m(\text{polymer}) = m(\text{total}) * X2$$

Tableau IV.1 : Les mesures expérimental.

	%	Masse(g)		%	Masse(g)		%	Masse (g)
Bitume	99.5	300.2	Bitume	98.18	441.5	Bitume	95.08	305.2
Bio	0.2499	0.7542	Bio	0.907	4.0828	Bio	2.46	7.8953
SBR	0.25	0.7620	SBR	0.908	4.0837	SBR	2.46	7.8967
Bitume	99.55	338	Bitume	98.05	821.9	Bitume	95.41	328.8
Bio	0.222	0.7537	Bio	0.974	8.1644	Bio	2.29	7.9050
PET	0.222	0.7556	PET	0.974	8.1647	PET	2.29	7.8999
Bitume	99.5	302.2	Bitume	98.027	405.8	Bitume	95.01	301.3
Bio	0.2486	0.7553	Bio	0.986	4.0831	Bio	2.49	7.8977
Pr plast	0.2485	0.7549	Prplast	0.986	4.0826	Pr plast	2.49	7.9029

IV .2.2. Protocole de modification :

Tableau IV.2 : les Appareils utilisé dans laboratoire.

Appareils
<ul style="list-style-type: none"> - 2 Un agitateur électrique à hélice avec une vitesse de cisaillement élevée (dans notre cas c'est : 570 tr/min). - Une plaque chauffante réglable. - Un thermomètre digital. - Un four.

Ensuite en commence maintenant dans l'opération :

- Préchauffer le bitume dans l'étuve à 165°C pendant 3- 4h.
- Placé le bitume sur la plaque chauffante qui puisse régler et contrôler la température.
- Mettre en marche le malaxeur dans le bitume à une vitesse de malaxage de à 570 tr/min, pourcréé un vortex.
- A ce moment en prépare les teneurs des polymères soit 0.5% a 5%, et après ajouté là au bitumeet maintenir la vitesse de malaxage en 570 tr/min pendant 1h jusqu'à dissolution complète dupolymère, tout en maintenant la température à 165°C.
- On fixe la vitesse de malaxage à 570tr/min pendant 1h à 5h (Selon la masse de polymère et de bitume).
- Arrêter le une fois que la phase est bien homogène, et le mélange étant prés pour les essais.



Figure IV.1 : Chauffage du bitume (a gauche) et du bitume modifié (a droite) dans le four.



Figure IV.2 : équipement de malaxage.

IV.2.3. Produit utilisé :

- Bitume pur 40/50.
- Les polymères :
 - un produit BIO (deviens de la cellulose).
 - PR plaste.
 - SBR.
 - PET poudre.
 - X1.
 - X2.

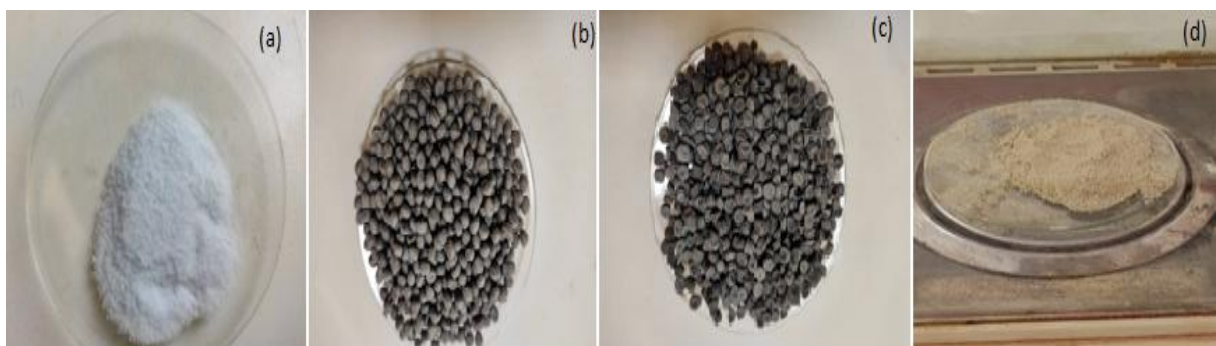


Figure IV.3 : Les différents polymères utilisés(a) : PET poudre.(b) : SBR.(c) : PRplast(d) : BIO (Poudre d'écorce d'olivier).

Tableau IV.3 : Échantillons de bitume modifié et temps de malaxage.

Temps (min)	Produit	%	Figure
126min	BIO+BITUME	0.5	
126	SBR+BIO+BITUME	0.5	
126	PR plast +BIO+BITUME	0.5	
126	PET+BIO+BITTUME	0.5	
126	BIO+BITUME	2	
126	PET+BITUME	2	
226	PET+BIO+BITUME	2	
126	SBR+BIO+BITUME	2	
126	PRplast+BIO+BITUM E	2	
126	PET+BIO+BITUME	5	
126	SBR+BIO+BITUME	5	
126	PRplast+BIO+BITUM E	5	

IV.3. Les essais sur le bitume modifiés au niveau du laboratoire des carburants de la Raffinerie d'Arzew :

IV.3.1. Pénétrabilité :

Cet essai permet de connaître la dureté du bitume sur la base de la pénétrabilité dans un échantillon de bitume évalué au dixième du millimètre d'une aiguille normalisée supportant une masse de 100 g durant 5 secondes à une température de 25 °C . Plus le bitume est dur plus la pénétrabilité est faible, cet essai explique le nom commercial du bitume et donne sa classification.

-Cet essai a pour but de mesurer la dureté du bitume afin de déterminer sa classe.

-Principe :

- Coulez l'aiguille dans l'échantillon pendant 5 secondes.
- Après la coupure, appuyez sur la règle en haut de l'appareil et lisez la valeur enregistrée.
- Enregistrement de la valeur dans le panneau numérique de l'appareil.

Tableau IV.4 : Les appareils utilisés pour la réalisation de cet essai (Pénétrabilité).

Appareils
<ul style="list-style-type: none"> - Bain thermostatique à 25°C. - Pénétromètre. - Thermomètre. - Chronomètre. - Balance de précision

-Mode opératoire :

Cet essai se déroule comme suit :

- Chauffer l'échantillon dans l'étuve.
- Verser l'échantillon dans le godet (jusqu' à ¾ du volume du godet).
- Laisser refroidir à la température ambiante le godet + bitume.
- Introduire dans le bain thermostatique réglé à 25°C l'ensemble godet + bitume pendant 1 heure 30 minutes.
- Mettre sur le plateau du pénétromètre.
- Remettre à zéro l'aiguille du cadran.
- Libérer l'aiguille pendant 5 secondes.
- Relever l'enfoncement correspondant sur le cadran.



Figure IV.4 : Les gobelets des échantillons et le test de pénétrabilité.

IV.3.1.1. Essai du point de ramollissement (NF EN 14 27) :

L'essai consiste à déterminer la température (notée TBA) pour laquelle une bille d'acier normalisée traverse un échantillon de bitume maintenu dans un anneau métallique (Figure IV.2), plus la température bille - anneau est faible, plus le bitume est susceptible à la température ; et plus il est élevé plus le bitume est dur et moins susceptible.

-Cet essai nous permet d'obtenir une indication de la température à laquelle le bitume acquiert une plasticité donnée.

-Principe :

L'essai consiste à déterminer la température à laquelle la prise du matériau devient assez molle pour que la bille, ayant pénétré le produit bitumineux, tombe enveloppée de celui-ci, d'une hauteur déterminée. Cette température est appelée température de ramollissement.

Tableau IV.5 : Les appareils utilisés pour la réalisation de cet essai (point de ramollissement).

Appareils
- Anneau.
- Bille en acier.
- Bécher en vase.
- Spatule.
- Thermomètre.
- Plaque de verre.
- Guide de centrage.
- Réfrigérateur

-Mode opératoire L'opération se déroule comme suit :

- Chauffer le bitume dans l'étuve réglée à 150°C.
- Placer les anneaux sur la plaque de verre.
- Verser le bitume dans les anneaux.
- Laisser refroidir pendant 30 minutes.
- Introduire de l'eau distillée dans un bûcher à une hauteur de 102 à 108mm.
- Mettre les anneaux remplis de bitume dans les guides.
- Placer le dans le bûcher rempli d'eau à la température 5°C.
- Placer la bille avec une pince au centre de chaque guide.
- Chauffer l'ensemble en élevant la température de 5°C par minute.
- Noter la température indiquée par le thermomètre au moment où l'échantillon entourant la bille touche la plaque inférieure du support.



Figure IV.5 : Les anneaux à une température ambiante et dispositif de centrage des billes



Figure IV.6 : Support des anneaux et appareillage de mesure.



Figure IV.7 : Appareillage pour essai de TBA.

IV.3.1.3. Point d'éclair (ASTM D-92) :

Le bitume soumis à une élévation de température dégage des vapeurs qui s'enflamment au contact d'une flamme, cette température correspondante est le point d'éclair en vase ouvert, cette température intéresse la sécurité liée au transport et la manipulation des produits inflammables

But :

Détermination des points d'éclair. Le point d'éclair représente la température la plus basse à laquelle l'application d'une flamme d'essai provoque l'inflammation des vapeurs émises à la surface de produit pétrolier.

Principe :

La prise d'essai est introduite dans la vase jusqu'au niveau indiqué puis chauffée rapidement, au début, ensuite lentement à cadence régulière lorsqu'on se rapproche de la température d'éclair à intervalles spécifiés de températures, une petite flamme d'essai est passée au-dessus du vase. La température la plus basse à laquelle l'application d'une flamme d'essai provoque l'inflammation des vapeurs émises à la surface du liquide est considérée comme le point d'éclair. Pour déterminer le point de feu, l'essai est poursuivi jusqu'à ce que l'application de la flamme provoque l'inflammation de l'huile et la combustion pendant au moins 5s.

Tableau IV.6 : Les appareils utilisés pour la réalisation de cet essai (Point d'éclair) :

Appareils
<ul style="list-style-type: none"> - Appareil Cleveland à vase ouvert comprenant une plaque chauffante, un dispositif de présentation de la flamme d'essai et un support de thermomètre. - Thermomètre 400 C à immersion partielle. - Etuve. - Baromètre.

-. Mode opératoire L'opération se déroule comme suit :

- Remplir le vase avec le produit bitumineux jusqu'au niveau spécifié.
- Allumer la flamme d'essai et le régler de façon qu'elle ait un diamètre d'environ 4mm.
- Chauffer d'abord de façon que la vitesse d'accroissement de la température de la prise d'essai soit de 14 à 17°C par min. lorsque la température de l'échantillon est inférieure d'environ 56°C celle du point d'éclair présumé, diminuer le chauffage pour que la vitesse

d'accroissement de la température, pour les 28 c précédant le point d'éclair, soit de 5 à 6 c par min.

- Présenter la flamme tous les 2c en la faisant passer par le centre du vase. Le mouvement de la flamme doit être lent et régulier au-dessus du vase pendant environ 1s, dans un plan horizontal à 2 mm maximum au-dessus du plan du bord supérieur du vase d'essai. Pour la présentation suivante de la flamme, la faire passer dans le sens inverse.
- Noter comme point d'éclair la température lue sur le thermomètre lorsqu'un éclair apparaît en un point quelconque de la surface du liquide. a ne pas confondre le véritable éclair avec le halo bleuté qui entoure quelquefois la flamm



Figure IV.8: les deux gobelets des échantillons. **Figure IV.9 :** Test de point d'éclair du bitume.

IV.3.1.4. ESSAI de ductilité (ASTM D-113) :

La ductilité d'un matériau bitumineux est la distance à laquelle peut être allongée une éprouvette de bitume immergée dans un bain de 25°C de température à une vitesse spécifiée de 50mm/min et ceci au moment de la rupture du filament ainsi formé. Dans le cas des bitumes modifiés l'essai réalise sur le mode force ductilité (force en fonction l'allongement) ce dernier permet de caractérisée la cohésion de bitumes.

-But :

Essais d'étirage à vitesse constante jusqu'à la rupture d'un bitume de pétrole modifié, en vue d'apprécier sa résistance à la traction.

-Principe :

Consiste à mesurer l'allongement à la rupture d'une éprouvette de forme déterminée que l'on étire à une vitesse et à une température imposée.

-. Mode opératoire L'opération se déroule comme suit :

- Chauffer l'échantillon jusqu'à ce qu'il devienne fluide.
- Appliquer un enduit sur la plaque et les surfaces intenses du moule en utilisant un mélange de 50°/° de glycérine et 50°/° de dextrine pour éviter l'adhérence du produit.
- Placer le moule sur une surface plane, puis le moule sur la plaque.
- Remplir le moule à ras bord de l'échantillon.
- Laisser refroidir pendant 30 à 40 min à la température ambiante.
- Mettre en le bain thermostatique, la température doit être réglée à 25°C.
- Placer l'éprouvette dans le bain pendant 1 h 30 min.
- Enlever la plaque et poser l'éprouvette sur les ergots de la machine.
- Mettre en translation le chariot, les deux pattes du moule s'éloignent à vitesse constante, jusqu'à rupture de l'éprouvette. L'éprouvette doit constamment baigner dans l'eau durant l'essai.
- Au moment de la rupture, arrêter la translation du chariot, puis mesurer en cm la distance d'allongement.



Figure IV.10 : Appareil de mesure de la ductilité.



Figure IV.11 : Test de ductilité de l'échantillon de bitume. **Figure IV.12 :** Les deux moitiés

IV.4. Discussion des résultats:

- **Pénétrabilité :**

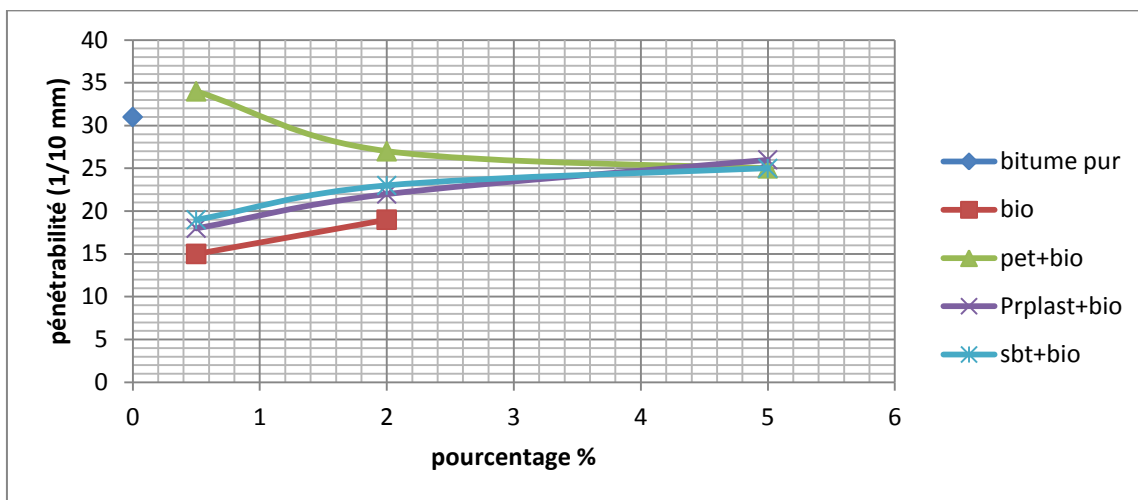


Figure IV.13 : Variation de la pénétrabilité des deux bitumes en fonction du pourcentage des additifs.

Nous présentons dans (la figure IV.13) les résultats de la variation graphique du point de pénétrabilité en fonction du pourcentage des polymères ajoutés. Une diminution de la pénétrabilité de (34 à 25 (1/10 mm)) pour le mélange (PET +BIO), cela s'explique par la solubilité de polymère dans le bitume et sa cristallinité qui provoque une dureté du liant bitumineux. Après on remarque une évolution de la pénétrabilité avec le mélange (SBR+BIO) de (19 à 25 (1/10mm)), le mélange (PRplast+BIO) et le polymère BIO de (18 à 26 (1/10 mm)), car l'ajout de l'additif naturel provoque une modification de la texture du mélange, ce qui conduit à une douceur et souplesse du liant. Donc la pénétrabilité du bitume modifié augmente avec l'ajout de mélange des polymères respectivement . (Voire annexes)

- **Point de ramollissement :**

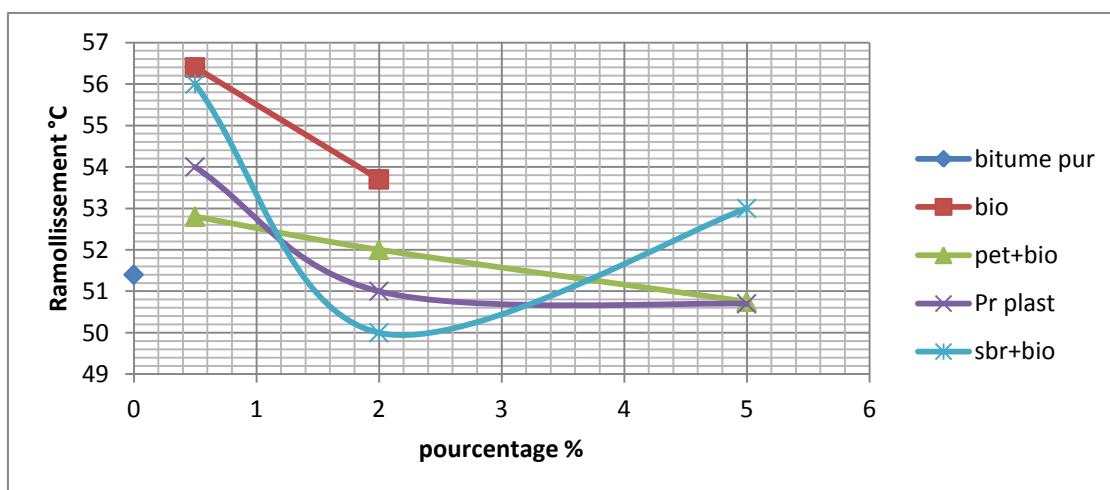


Figure IV.14 : Variation du ramollissement des deux bitumes en fonction du pourcentage des additifs.

La figure (IV-14) montre La variation du point de ramollissement en fonction du pourcentage des additifs. On observe une diminution du point de ramollissement avec l'accroissement des additifs. Plus le pourcentage des additifs est élevé, plus le point de ramollissement est bas. Sauf lors de l'ajout de 5% de (PET+BIO), le point de ramollissement augmente. Cela dépend de la nature chimique de bitume.(Voire annexes)

• **Ductilité :**

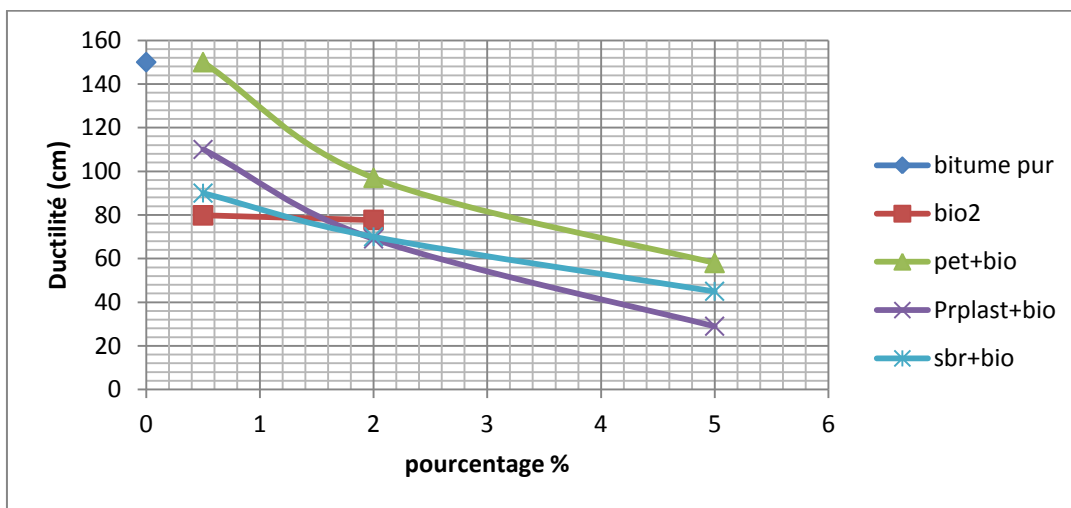


Figure IV.15 : Variation de la ductilité des deux bitumes en fonction du pourcentage des additifs.

La figure (IV-15) représente la variation de la ductilité des bitumes en fonction du pourcentage des additifs. On remarque une diminution avec la proportion des différents additifs. Ces résultats sont exposés dans les annexes

On peut constater des bons résultats avec l'ajout de tous les polymères, et beaucoup meilleur avec le mélange de 0.5% (150 cm) (PET + BIO). (Voire annexes)

• **Point d'éclair :**

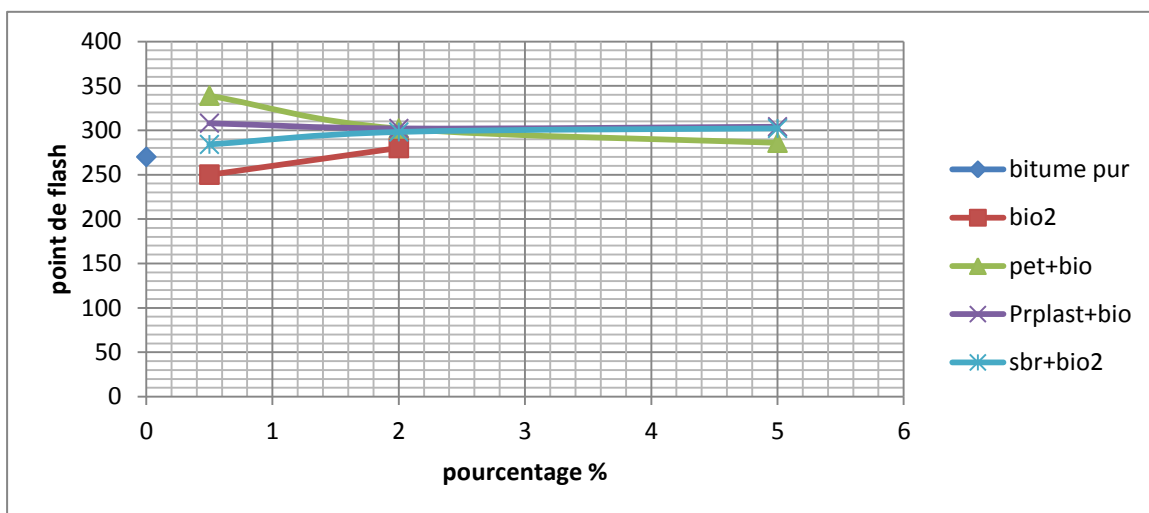


Figure IV.16 : Variation des Points d'éclair des deux bitumes en fonction du pourcentage des additifs.

La figure (IV-16) montre une variation de point de flash de bitume en fonction du pourcentage des additifs. On remarque une augmentation avec le mélange (BIO et SBR+BIO). Plus le pourcentage des additifs est élevé, plus le point de flash est grand, contrairement au mélange (PET +BIO), on remarque une diminution

Cette augmentation du point d'éclair pour le mélange précédent dû à la variation de ces polymères. La valeur minimale était de 250, le meilleur résultat était à un taux de 0,5 (PET+BIO) avec un point d'éclair de 339 alors que la marge pour la température d'inflammabilité est très large et satisfaisante vis à vis la sécurité des manipulateurs sur les chantiers. (**Voire annexes**)

V.1. Introduction

Dans le but d'analyser sur les enrobés bitumineux au niveau de laboratoire des travaux publics de l'Ouest (LTPO) unité de Tiaret, nous effectuons plusieurs étapes comme suit :

- Analyser les agrégats.
- Etudier la composition de mélange d'enrobés bitumineux.
- Faire des essais mécaniques sur l'enrobés.

V.2. Analyse sur les agrégats :

Il existe de nombreux types d'agrégats, de sorte que chaque type diffère de l'autre dans la façon dont il est fabriqué et les caractéristiques qu'il.

Les agrégats utilisés dans notre analyse 0/3, 3/8 et le 8/15.

V.2.1. Classe 0/3 (le sable) :

Pour choisir le sable, vous devez d'abord vérifier ses propriétés, qui doivent être soumises à plusieurs normes, qui sont les suivants :

V.2.1.1. Le tamisage ou granulométrie (NA 2607) :

Pour cette analyse, plusieurs étapes doivent être franchies :

- Prenez 500 grammes d'un échantillon M1h pas argileux et le séchez au four, après cela, nous le trempons dans de l'eau Mh.
- Nous le pesons à nouveau afin de déterminer la masse sèche M1s, de le laver et de le mettre au four pour le sécher.
- Après on a calculé la masse sèche total :

$$M_s = (M_{1s}/M_{1h}) * M_h.$$

M1h : la masse de l'échantillon prélevé.

M1s : la masse sèche.

M_s : la masse sèche de l'échantillon après le lavage et l'étuver.

- A la fin tamiser l'échantillon et peser les refus cumulés.



Figure V.1 : Les moules de tamisage.

Tableau V.1 : Les résultats après le tamisage et le calcul pour la classe 0/3.

module	Tamis (mm)	Masse des refus cumulés (Ri) (gr)	% Refus cumulés $Ri/Ms*100$	%Tamisât cumulés $(100*(Ri/Ms))-100$
38	5	-	00	100
36	4	12	02	98
34	2	149	30	70
31	1	248	50	50
29	0.500	304	61	39
27	0.400	321	64	36
26	0.315	338	68	32
24	0.200	365	73	27
21	0.100	410	82	18
20	0.80	422	84	16

V.2.1.2. Equivalent de sable (NFP 18-597) :

Les étapes sont les suivantes :

- Tamiser l'échantillon sous l'eau sur le tamis de 2 mm.
- Sécher le refus à l'étuve pour l'amener à une teneur en eau comprise entre 1% et 3%.
- La masse de l'échantillon recueilli doit être d'environ 1500 g
- Préparer 4 échantillons à partir du matériau recueilli.
- Déterminer la teneur en eau W en % du premier échantillon de masse Mh1 sur une prise de 100 à 200 gr par la relation : $W = \frac{Mh1 - Ms}{Mh1}$. (Ms : masse sèche de l'échantillon)
- Tamiser le deuxième échantillon de masse Mh2 sous l'eau sur le tamis 0.08 mm
- Sécher et peser le refus à 0.08 mm soit Ms sa masse en gram.
- Calculer la teneur en fines f par la relation : $f = 100 - \frac{Ms \cdot (100 + W)}{Mh2}$. Déterminer la masse M sc de sable correcteur (refus à 0.08 mm), $Msc = 120 - 1200/f$.
- Si $f < 11\%$: correction non nécessaire effectuer les essais sur le 3ème et 4ème échantillon dont la masse est égale à : $(P1) 120(1 + W/100)$ en gr

- Si $f > 11\%$: prendre une masse M_{h3} égale à : $(P1) 1200 / f (1+W/100)$.
- Ajouter à cette masse la quantité de sable correcteur déterminée à l'étape 8 de telle façon à obtenir un échantillon pour essai de masse : $(P1) M = M_{h3} + M_{sc}$
- Exécuter les mesures d'ES sur échantillon de masse = 120gr.

Avec :

PS : équivalent de sable.

PS₁ : équivalent de sable de l'échantillon 1.

PS₂ : équivalent de sable de l'échantillon 2



Figure V.2 : Instruments de mesure d'équivalent de sable.



Figure V.3 : Mode opératoire de deux échantillons.

V.2.1.3. Poids spécifique des grains solides (NA 255/1990) :

- Prenez un échantillon de 25 gr après l'étuvage de matériau et passent au tamis de 2 mm.
- Séparation de matériau par le pilon.
- Peser le pycnomètre + bouchon soit m_1 , et le pycnomètre + l'échantillon + bouchon soit m_2 .
- Remplissage avec l'eau distillée et éliminer les bulles d'air soit par dépression ou ébullition.
- Ajouter l'eau distillée jusqu'au le repère.

- Placer le bouchon et laisser se stabiliser pendant 30 min. et posé soit m3.
- Pycnomètre vide, nettoyé est rempli d'eau distillée jusqu'au repère, l'ensemble est posé soit m4.
- Calculer le pois spécifique avec cette formule :

$$P_s = \frac{m_2 - m_1}{m_4 + m_2 - m_1 - m_3} (\text{g/cm}^3).$$



Figure V.4 : Elimination les bulles d'air par l'ébullition, placer le bouchon et le posé.

V.2.1.4. Mesure de masse volumique apparente (Classe 0/3) :

- Préparer l'échantillon et prendre une masse M ($200D < M < 600D$).
- Peser le récipient vide (M_1).
- Remplir le récipient et l'échantillon, et araser le récipient.
- Peser le récipient et l'échantillon (M_2).
- Calculer la masse volumique apparente avec cette formule : $MVA = \frac{M_2 - M_1}{V}$

V : volume apparente de sable.

V.2.2. Classes 3/8, 8/15 :

V.2.2.1. Le tamisage ou granulométrie (NA 2607) :

Pour effectuer cette analyse, nous suivons les mêmes étapes que nous avons faites dans l'analyse de la classe 0/3, La seule différence sera la masse des deux classe (3/8 et le 8/15).

Tableau V.2 : Les résultats après le tamisage et le calcul pour la classe 3/8.

Module	Tamis (mm)	Masse des refus cumulés (Ri) (gr)	% Refus cumulés $Ri/Ms*100$	% Tamisât cumulés $(100*(Ri/Ms))-100$
41	10	-	00	100
40	8	4	00	100
39	6.30	246	15	85
38	5	756	47	53
36	4	1341	84	16
34	2	1554	97	03
31	1	1585	99	01
29	0.500	1589	99	01
27	0.400	1590	99	01

La masse de l'échantillon qui on a prélevé est : M1h= 1600 gr.

Tableau V.3 : Les résultats après le tamisage et le calcul pour la classe 8/15.

Module	Tamis (mm)	Masse des refus cumulés (Ri) (gr)	% Refus cumulés $Ri/Ms*100$	% Tamisât cumulés $(100*(Ri/Ms))-100$
43	16	-	00	100
42	12.5	263	09	91
41	10	1442	48	52
40	8	2536	84	16
39	6.30	2955	99	01
38	5	2989	100	00
36	4	2996	100	00

La masse de l'échantillon qui on a prélevé est : M1h= 3000 gr.



Figure V.5 : Trempage et lavage de l'échantillon.



Figure V.6 : Tamisage de l'échantillon.

V.2.2.2. Mesure du coefficient d'aplatissement (NA 256/1990) :

L'élaboration des chaussées et les couches de roulement, nécessitent de n'utiliser que des granulats ayant une forme assez ramassée, à l'exclusion des granulats plats. En effet, ceux-ci ne permettent pas de réaliser des bétons très compacts, et, par ailleurs en technique routière, ils ne peuvent être utilisés car ils conduisent à des couches de roulement trop glissantes.

Pour préparer l'échantillon de l'analyse granulométrique :

- Prendre une masse M de l'échantillon ($200D < M < 600D$) et tamiser sur le tamis 4 mm.
- Peser le refus (M_o) en gramme.
- Tamiser l'échantillon sur tamis à maille carrée.
- Peser la fraction (d/D) au gramme près (M_g).
- Tamiser la fraction (d/D) sur la grille à fente.
- Peser la masse des éléments passant sur la grille à fente (M_e).
- Calculer le coefficient avec cette formule :

$$C.A = \sum \frac{M_e}{M_g} \cdot 100$$



Figure V.7 : Tamiser l'échantillon sur tamis à maille carrée.

V.2.2.3 Essai los-Angles (NA458/1990) :

Le but de cet essai est la détermination de la résistance à la fragmentation par chocs des granulats entrant dans la constitution d'une couche de chaussée.

Les étapes qui doivent être franchies pour effectuer cette analyse sont les suivantes :

- Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie, en commençant par le tamis le plus grand.
- Laver le matériau tamisé et le sécher à l'étuve à 105 C°, la masse de l'échantillon pour l'essai sera $M = 5000 \pm 5$ gr.
- Définir le nombre de boulet et déterminer la masse des boulets.
- Recueillir le matériau et tamiser sur un tamis de 1.6mm.
- Etuver le refus à 105°C, et le peser, soit (M').
- Calculer le pourcentage avec cette formule :

$$LA = \frac{5000 - M'}{5000} (\%)$$



Figure V.8 : Les boulets et l'équipement d'essai Los-Angles.

V.2.2.4 Essai Micro-Deval (NA 457/1990) :

Le but de cet essai c'est la détermination de la résistance à l'usure des granulats.

Les étapes qui doivent être franchies pour effectuer cette analyse sont les suivantes :

- Prélever un échantillon de 2000 g.
- Tamiser à sec selon la classe granulaire choisie (les tamis 4-6.3 pour la classe 3/8, et les tamis 6.3-10 pour la classe 8/15).
- Laver l'échantillon et étuver à 105°C.
- Peser 500 g de l'échantillon, et la charge abrasive (2000 ± 5 g pour la classe 3/8, et 4000 ± 5 g pour la classe 8/15).
- En présence d'eau (2.5 l), introduit tous dans le jarre.

- Régler la vitesse de rotation 100 tours/min, et laisser le cylindre en rotation pendant 2 heures.
- Recueillir le matériau et tamiser sur un tamis 1.6 mm.
- Etuver le matériau à 105°C.
- Peser le refus (M') et calculer le pourcentage :

$$MDE = \frac{5000 - M'}{500} (\%)$$



Figure V.9 : Le mélange de l'échantillon et la charge abrasive.



Figure V.10 : Machine de mesure MDE.

V.2.2.5. Mesure de masse volumique apparente (MVA) :

Pour effectuer cette analyse, nous suivons les mêmes étapes que nous avons faites dans l'analyse de la classe 0/3, La seule différence sera la masse des deux classes (3/8 et le 8/15) et la masse de récipient.

V.2.2.6. Mesure de masse volumique porosité (MVP) (NA 255/1990) :

Pour mesurer, suivez ces étapes :

- Peser la masse sèche de l'échantillon (M_a).
- Laver l'échantillon sur le tamis 4 mm, et sécher à 105°C.
- Peser la masse sèche de l'échantillon (M_s), et immerger dans l'eau 24heure.
- Noter la masse dans l'eau ($M'a$).

- Calculer la masse volumique réelle avec cette formule :

$$P = \frac{Ms}{Ma - M'a} \text{gr/cm}^3..$$

V.2.2.7. Mesure d'essai propreté superficielle (NF P 18-591) :

Pour déterminer l'essai, nous suivons ces étapes :

- Peser l'échantillon (M).
- Tamiser à l'eau (utilisant le tamis 0.5mm pour la classe 3/8, et le tamis 1.6mm pour la classe 8/15).
- Récupérer le refus et étuver à 105°C et le Peser (Ms).
- Calculer la propreté avec cette formule :

$$P = \left[\frac{M - Ms}{M} \right] * 100 \%$$

V.3. Etudier la composition de mélange d'enrobés bitumineux :

Après avoir terminé l'analyse des agrégats, qui a donné de bons résultats, nous passons à l'étape suivante, qui consiste à étudier les composants du mélange d'enrobés bitumineux.

Pour former le mélange béton bitumineux :

- Il faut d'abord choisir les bonnes proportions retenues afin de connaître la valeur massique des trois classes afin de préparer un mélange d'une masse de 4800 g, et à cet effet sa courbe doit se conformer aux normes établies. (Voire annexe 8 et 9)

Tableau V.4 : Les tamisât utilisant dans noter expérience.

Tamis (mm)	Fuseau min tamisât (%)	Fuseau max tamisât (%)	Ech tamisât (%)
20	100		100
16	92	100	100
12.5	84	93	97
10	72	84	82
8	60	75	69
6.30	50	66	61
5	44	60	55
4	39.5	54	48
2	28	40	33
1	20	31	23
0.500	14	24	18
0.400	13	22	17
0.315	12	20	15
0.200	10	16	12
0.100	8	12	8
0.080	7	10	7

Tableau V.5 : Les propositions et les masses de mélange après les calculs.

	Classe 0/3	Classe 3/8	Classe 8/15
Proposition retenues (%)	46	17	37
Les masses nécessaires pour 4800 g (g)	2208	816	1776

- Calculer le teneur en liant TL et le module de richesse K.

$$TL = K \cdot \alpha \cdot \sqrt[5]{\Sigma}$$

$$K = m.R$$

Avec :

$$\alpha = \frac{2.65}{MVR} \text{ ou } \alpha = \frac{\text{Coefficient correcteur}}{\text{Moyenne P spécifique}}$$

$$\Sigma = 0.25G + 2.3S + 12s + 135f :$$

G : % d'éléments > 6.3 mm

S : 0.315 mm < % d'éléments < 6.3 mm

s : 0.08 mm < % d'éléments < 0.315 mm

f : % d'éléments < 0.08 mm

Tableau V.6 : les résultats de chaque opération.

Opération	Le résultat
G (mm)	0.392
S (mm)	0.461
S (mm)	0.074
F (mm)	0.074
surface spécifique(Σ) (m²/Kg)	11.98
A	0.971
Coefficient correcteur	2.65

- Après avoir connu les valeurs précédentes, nous pouvons maintenant le calculer.

Le tableau ci-dessous résume les valeurs de teneur de liant et le module de richesse, travers lesquelles nous pourrions calculer la quantité de bitume à ajouter pour chaque formule (chaque formule contient 4800 g des agrégats plus le bitume).

Tableau V.7: Teneur de liant, le module de richesse et la quantité de bitume pour chaque formule.

Formule	Module de richesse K	Teneur en liant (%)	Quantité de bitume (g)
A	3.4	5.42	260
B	3.6	5.74	276

- Après avoir terminé le calcul et connu les valeurs des agrégats et le bitume, nous pouvons maintenant commencer à préparer le mélange (formule A et formule B).

N.B :

- Dans chaque formule, la seule variable est la quantité de bitume.
- Le bitume utilisé dans cette étude c'est le bitume modifié avec le PET et le bio, de 2%. Car il contient une bonne caractérisation.
- Il faut d'abord chauffer le mélange avant le malaxage pendant 2h à 150°C-160°C, pour faciliter l'opération.



Figure V.11 : Le mélange d'enrobés bitumineux avant le malaxage et le mélangeur.

V.3. Faire des essais mécaniques sur l'enrobés :

Après avoir terminé la préparation du mélange, nous effectuons des essais mécaniques, afin d'identifier la possibilité de l'utiliser dans la couche de surface de la route ou non.

L'essai que nous ferons dans cette expérience est l'essai de MARSHALL (NF P 98-251-2) et le Fluage MARSHALL 1/10.

Pour ce faire, nous suivons les étapes suivantes :

- Divisez chaque formule en 4 gâchées égales (chaque gâchée contient 1200g).



Figure V.12 : Les 4 gâchée bitumineux.

- Remplir des moules avec les gâchée, et le compacter avec un équipement de compactage (le compactage est de 50 coups en $55s \pm 5s$ pour chaque face).



Figure V.13 : Remplir les moules.



Figure V.14 : Le moule remplie et l'équipement de compactage.

- Placer les moules dans l'eau froide pendant 15 min après le compactage des autre éprouvette, et le numériser.



Figure V.15 : Refroidissement du moule.

- Conserver les moules une heure au moins à la température ambiante.



Figure V.16 : Conserver les moules à température ambiante.

- Démouler à l'aide du piston extracteur.



Figure V.17 : L'instrument utilisé pour démouler.



Figure V.18 : Les éprouvettes après le démoulage.

- Peser les éprouvette à 1 gr près.
- Calculer la masse volumique apparente MVA à partir de \emptyset et H.
- Vérifier que $62.5 \leq H \leq 65$ mm.
- Mesurer la masse volumique apparente MVA par pesée hydrostatique selon la norme NFP 98-250-6.
- Conserver les éprouvette 5h au moins à température ambiante.
- Placer les éprouvettes et les machoirs dans l'eau à $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ pendant $30 \text{ min} \pm 1 \text{ min}$.
- Vérifier la vitesse de la presse $V = 0.85 \text{ mm/s} \pm 0.1 \text{ mm/s}$.
- Réaliser l'écrasement.
- Déterminer la stabilité MARSHALL (KN).
- Déterminer le Fluage MARSHALL (mm).

Expression des résultats :

Gachée 01 :

Les tableaux ci-dessous résument les valeurs de tous des composants :

Tableau V.8 : Les valeurs du calcul pour les chaque échantillons de formule A.

Echantillon	Formules-en%	P. Spécifique D	Composition centésimale P		Somme	Rapport P/D
8/15	37	2.68	35.098			13.096
3/8	17	2.77	16.126			5.822
0/3	46	2.74	43.635			15.925
					Somme S1	34.843
Bitume en %	5.42	10.4	5.141			4.944
			100-5.141	94.859	Somme S2	39.787

Tableau V.9 : Les valeurs du calcul pour le mélange.

Densité apparente	Densité vraie	Compacité en %	Densité apparente des agrégats	Densité vraie des agrégats	% vide occupé par bitume-air	Vide résiduel	% vide occupé par bitume
Dm	Dm	C	dA	DA	VA	Vm	VB
par balance hydrostatique	100/S2	100/S3	100/S4	100/S5	100/S6	100/S7	100/S8
2.487	2.513	98.95	2.36	2.722	13.35	1.05	92.13

Tableau V.10 : Les résultats d'essai MARSHALL et Fluage MARSHALL de formule A.

Numéros des éprouvettes	1	2	3	4
Poids des éprouvettes (g)	1200.7	1202.3	1199.9	1202.3
Hauteurs des éprouvettes (mm)	63.2	63.1	63.00	62.9
Volume des éprouvettes ($\pi.R^2.H$) (cm ³)	489.8	487.8	484.7	487.9
Masse volumique apparente (g/cm ³)	2.45	2.47	2.47	2.46
Stabilité MARSHALL(KN)	9.9	10.4	11.9	10.2
Moyenne stabilité (KN)	10.8 KN			
Déformation (mm)	36	37.5	38	38
Fluage MARSHALL	3.6	3.75	3.8	3.8
Moyenne fluage MARSHALL	3.74 mm			

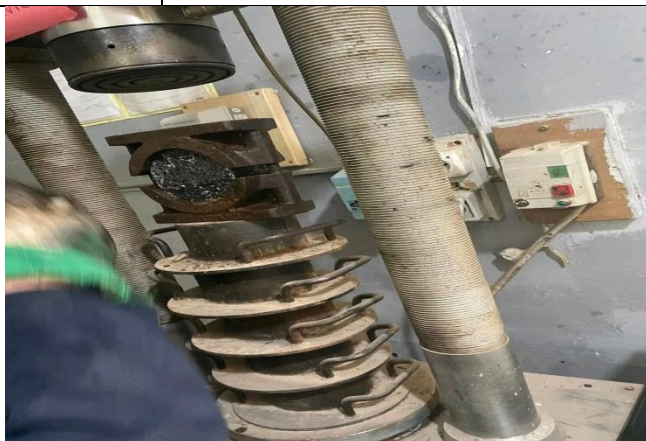


Figure V.19 : La presse de MARSHALL.

Gachée 02 : Les tableaux ci-dessous résument les valeurs de tous des composants :

Tableau V.11 : Les valeurs du calcul pour les chaque échantillon de formule B.

Echantillon	Formule en%	P. Spécifique D	Composition centésimale P	Somme	Rapport P/D
8/15	37	2.68	34.998		13.059
3/8	17	2.77	16.080		5.805
0/3	46	2.74	43.511		15.880
				Somme S1	34.744
Bitume en %	5.72	10.4	5.411		5.202
			100-5.141	94.589	Somme S2

Tableau V.12 : Les valeurs du calcul pour le mélange

Densité apparente	Densité vraie	Compacité en %	Densité apparente des agrégats	Densité vraie des agrégats	% vide occupé par bitume-air	Vide résiduel	% vide occupé par bitume
Dm	Dm	C	dA	DA	VA	Vm	VB
par balance hydrostatique	100/S2	100/S3	100/S4	100/S5	100/S6	100/S7	100/S8
2.49	2.503	99.47	2.36	2.722	13.49	0.53	96.5



Figure V.20 : Instrument de mesure Fluage MARSHALL.

Tableau V.13 : Les résultats d'essai MARSHALL et Fluage MARSHALL de formule B.

Numéros des éprouvettes	1	2	3	4
Poids des éprouvettes (g)	1199.4	1200.9	1200.5	1201.8
Hauteurs des éprouvettes (mm)	63.00	63.00	62.9	62.9
Volume des éprouvettes ($\pi.R^2.H$) (cm ³)	482.4	481.4	481.3	488.8
Masse volumique apparente (g/cm ³)	2.49	2.49	2.49	2.46
Stabilité MARSHALL(KN)	9.2	10.6	11.4	8.6
Moyenne stabilité (KN)	10.15 KN			
Déformation (mm)	60	42.5	45	47.5
Fluage MARSHALL 1/10 (mm)	6	4.25	4.5	4.75
Moyenne fluage MARSHALL 1/10 (mm)	4.88 mm			



Figure V.21 : Une éprouvette après l'écrasement.

Discussion des résultats :

Après les deux essais que nous avons effectués, Les résultats obtenus sont les suivants :

La première formule (A) on a obtenu 10,8 KN avec l'essai de stabilité MARSHALL, et 3.74 mm pour le fluage MARSHALL (Voire le **Tableau V.17**).

Dans la deuxième formule(B), Le stabilité est diminuée jusqu'à 10.15 KN, avec une augmentation de 4.88 mm avec le fluage MARSHALL (Voire le **Tableau V.20**).

ET compte tenu de nos résultats, nous préconisons l'échantillon(A) car il répond aux normes générales avec une stabilité MARSHALL requise les enrobés qui doit être supérieure ou égale à 10.5 KN afin d'avoir un enrobés résistant à l'orniérage, et au Fluage MARSHALL qui dépasser pas 4 mm

Grâce à notre étude et aux expériences qu'on a fait au niveau de laboratoire de la Raffinerie d'Arzew pour les mélanges bitume-polymères et son application dans LTPO, on a constaté que les caractérisations des bitumes et la nature des polymères jouent un rôle très important dans le domaine des enrobés.

Recommandations

L'examen de notre étude a fait apparaître :

- Les propriétés d'un bitume quel qu'il soit sont fortement dépendantes de sa structure colloïdale, Un bitume routier a une bonne résistance au vieillissement mais il est très susceptible à la température ; sa consistance change assez rapidement avec la température, ce qui le rend ou trop fragile à basse température ou trop mou aux températures élevées.
- Il est très important d'étudier toutes les propriétés du bitume et les propriétés des enrobés bitumineux, Ainsi le comportement du bitume utilisé en enrobés qui nous a permis de réaliser les essais suivants : pénétration, point de ramollissement, ductilité et point d'éclair au niveau de laboratoire de la Raffinerie d'Arzew.
- Étudier les mesures de stabilité des émulsions, des profils granulométriques et de viscosité.
- Cependant, pour éviter un vieillissement prématuré, faciliter la mise en œuvre et réduire le coût des enrobés, il serait préférable d'utiliser un bitume modifié.
- Le bitume vieillit et s'altère au cours de son utilisation, depuis sa fabrication en raffinerie jusqu'à son utilisation. Bien que le bitume ne représente généralement que 4 à 6% du poids total des enrobés bitumineux, son impact sur les propriétés du mélange est beaucoup plus significatif. Enfin, nos résultats nous permettent d'affirmer que le bitume/bitume modifié peut être utilisé pour fabriquer des enrobés et évaluer la résistance au vieillissement.
- De nouvelles études complémentaires liées au recyclage doivent permettre de finaliser le mode opératoire qui sera utilisé dans le cadre de l'ancien enrobé afin de recharger l'enrobés bitumineux pour le recyclage, notamment en allongeant le temps de traitement de nouveau enrobé, compléter toute étude physico-chimique du goudron par une étude mécanique et économique.
- Utilisation des mélangeurs mécaniques 3000 tr/min pour assurer un bon mélange.
- La technologie du bitume BIO modifié est très efficace pour que le bitume s'adapte aux conditions et changements climatiques de notre région.
- Les tests rhéologiques du projet SHRP ont été caractérisés par le comportement du bitume en violation des tests expérimentaux des normes européennes.
- Les températures de service pour les mélanges à base de bitume modifié sont élevées par rapport aux mélanges à base de bitume pur, et ces températures sont sélectionnées en fonction des résultats de viscosité à différentes températures.

Conclusion générale

Dans le cadre d'amélioration des performances des chaussées routières vis-à-vis les conditions climatiques et les chargements de plus en plus croissants, Ce manuscrit avait pour objet l'étude de l'évaluation d'influence des polymères sur les caractéristiques du bitume algériens comparativement avec le bitume modifié. L'étude est basée sur un mélange bitume pur grade (35-50) et bitume modifié d'un taux de 0.5% jusqu'à 5% et différents types de polymère (PET, BIO, SBR, PRPLAST, X1 et X2).

Ce travail nous a permis de décrire toutes les caractéristiques rhéologiques au niveau de laboratoire des carburants de la Raffinerie d'Arzew, afin d'aboutir à des résultats concluant l'influence de ces polymères sur le bitume.

La teneur de 0.5% PET et polymère X1 donne un meilleur résultat avec tous les essais :

- Une augmentation de TBA avec l'accroissement de la teneur en Polymère d'une valeur de 52.8 °C, qui améliore la résistance à la déformation de la chaussée (phénomène d'orniérage).
- La pénétrabilité du bitume augmente avec l'augmentation de la température jusqu'à la température de fabrication, puis elle décroît. Cela peut être expliqué par la vitesse de diffusion du bitume dans les particules de polymère qui augmente avec la température et modifie le moment ou le cisaillement devient efficace.

L'ajout de 0,5% de PET (faible teneur en polymère) conduit notre bitume, à un paramètre de solubilité trop faible qui présente une bonne compatibilité pour l'amélioration de sa souplesse d'élasticité et une meilleure protection, en effet, il a donné un meilleur résultat au test du point d'éclair. Si la teneur en PET est forte, le paramètre de solubilité du bitume est trop grand et la compatibilité n'est pas optimale non plus.

Et enfin les résultats de cette étude peuvent être considérés comme des informations importantes pour de futures applications aux enrobés, la mauvaise dispersion des polymères dans la matrice de bitume, L'influence du temps d'agitations sur la modification du bitume, la nature chimique du bitume et ces propriétés, bien que le polymère PET soit un produit coûteux, nous avons pu ajouter un polymère naturel, en utilisant de très petites quantités qui dépassent pas 13 grammes de PET dans 5 kg de bitume, 0,25 % de X1 qui a donné un meilleur résultat coté économique.

Références

Chapitre I : Généralité sur les bitumes :

[1] BOUKRA.B ; ALLAOUI.K ,2019 : « MEMOIRE DE MASTER en Génie Civil » (Formulation et Caractéristique d'un Béton Bitumineux à base des Matériaux d'Adrar).

[2] CTPP : LES CARACTERISATION D'UN ENROBE A BASE DE SABLE DE DUNE PAR LES ESSAIS DES 4 NIVEAUX DE FORMULATION.

[3] Bernard. L, 2005. Bitume.info, Genèse, constitution et caractéristiques du bitume.

[4] K.AIT MOKHTAR, (1994) « Influence De L'affinité Liant Hydrocarboné Granulat Sur Les Caractéristiques Mécaniques Des Mélanges Hydrocarbonées » Thèse de Magister, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene institut de génie civil.

[5] Said , L. 2013. Cours ETS, les enrobés bitumineux.

[6] KEMASSI N, «Bitume Hautement Modifiés par Polymère (HiMA)», Mémoire de Master II, Université KasdiMerbah Ouargla, 2019.

[7] Didier Lesueur, 2002, La Rhéologie des Bitumes : Principes et Modification Eurovia Management - Polo de EmulsionesProbisa - Pol. Ind. "Las Arenas" - c/ Ronda, 9 - 28320 Pinto (Madrid),Vol.2,p1-30.

[8] l'actualité chimique -Le journal de la Société Chimique de France -Mai 2014 - N° 385-p64.

[9] Delaporte, B., Di Benedetto, H., Chaverot, P., & Gauthier, G. (2007). Linear viscoelastic properties of bituminous materials: From binders to mastics (Vol. 76).

[10] Bhushan Mahajan. 02/2021Ductility Test of Bitumen | Apparatus, Procedure, Result.

[11] ORME Conseil .Jan 31, 2019. ATEX . POINT ÉCLAIR : DÉFINITION ET MESURE.

[12] Read, J., Whiteoak, C.D., 2003. The Shell Bitumen Handbook. Fifth edition, Shell Bitumen UK, ThomasTelford Publishing, London.

[13] Rahman, M.M., 2004. Characterisation of Dry Process Crumb Rubber Modified Asphalt Mixtures. Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy, University of Nottingham, School of Civil Engineering.

[14] F OLARD, H DI BENEDETTO, B ECKMANN - BULLETIN DES LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSÉES - 252-253.Rhéologie des bitumes 2004 - RÉF. 4513 - PP. 3-15

[15] Storm D. A., Sheu E. Y., Barresi R. J. et al. Colloidal properties of asphaltenes in vacuum residue.Proc.Chemistry of Bitumen, 2, 813-841 (1991)

Chapitre II : Les bitumes modifiés :

- [1] Michel Fontanille, Jean-Luc Six, Yves Gnanou. octobre 2021. Chimie et physico-chimie des polymères - 4e édition. P4.
- [2] Jean Pierre Mercier, Ernest Maréchal. octobre 1996. Chimie des polymères (TM volume 13).p 11-10.
- [3] Michel Fontanille Yves Gnanou. 18 Juin 2014. Chimie et physico-chimie des polymères 3e édition.p 6-8.
- [4] Hans-Henning Kausch, Nicole Heymans, Christopher J.G. Plummer, Pierre Decroly. juin 2001. MATÉRIAUX POLYMÈRES: PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET PHYSIQUES (TM VOLUME 14). P33.
- [5] Pysh'yev S., Gunka V., Grytsenko Yu., Bratychak M., 2016. POLYMER MODIFIED BITUMEN: REVIEW. Vol. 10, No. 4(s).
- [6] BOULDIN, M.G., COLLINS, J.H., BERKER, A. (1991) Rheology and microstructure of polymer/asphalt blends, Rubber Chemistry and Technology, vol. 64, n° 4, p. 577-600.
- [7] USMANI, A.M. (1996) Polymer Modification of Asphalt: Chemistry and Technology, Polymer News, vol. 21, n° 8, p. 262-267
- [8] Anedony. 2014. liants bitumes -polymère de la fabrication de mise en œuvre des enrobés.
- [9] Giavarini, C. (1994). Chapter 16 Polymer-Modified Bitumen. Asphaltene and Asphalts, 1, 382–387.
- [10] Robertson, G. L. (2014). Food. Packaging. Encyclopedia of Agriculture and Food Systems, 232–249.
- [11] Crawford, C.B., & Quinn, B. (2017). physicochemical properties and degradation. microplastic pollutants, p67
- [12] Firas Awaja. Dumitru Pavel. July 2005. Article European Polymer Journal .Recycling of PET .p 1455
- [13] Sadoun. Souhila. 2011. mémoire de magister. étude du recyclage du béton bitumineux par des granulats plastiques.
- [14] Sisanth, K. S., Thomas, M. G., Abraham, J., & Thomas, S. (2017). General introduction to rubber compounding. Progress in Rubber Nanocomposites, 1–39.
- [15] J.P. ARLIE. 1980. Caoutchoucs synthétiques: procédés et données économiques 27-26
- [16] Xiangming Deng, Hui Huang, Bin Wang and Jie Chen. 2021. Modification Mechanism of Asphalt Modified with Rock Asphalt and Styrene-Butadiene Rubber (SBR). Volume 2021
- [17] Lesueur, D. (2009). The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification. Advances in Colloid and Interface Science, 145(1-2), 42–82
- [18] Honarmand, M., Tanzadeh, J., & Beiranvand, M. (2019). Bitumen and Its Modifier for Use in Pavement Engineering. Sustainable Construction and Building Materials

[19] Anne DONY, 1991, liants bitumes-polymères de la fabrication à la mise en œuvre du bitume sur leurs propriétés mécaniques, leur micromorphologie et leur stabilité thermique. p 28

[20]: Muhammad Ali Hashmi, Afsar Khan, Muhammad Hanif, Umar Farooq, and Shagufta Perveen. 2015. Traditional Uses, Phytochemistry, and Pharmacology of *Olea europaea* (Olive)

[21] Aimen Issaoui, Aimen Mahfoudh, Hatem Ksibi, and Mohamed Ksib. 2012. Composition of the olive tree bark: Richness in oleuropein. Tunisia. p65-69.

Chapitre III : Les enrobés bitumineux :

[1] François. O. COMPORTEMENT THERMOMÉCANIQUE DES ENROBÉS BITUMINEUX À BASSES TEMPÉRATURES. Relations entre les propriétés du liant et de l'enrobé. Mécanique [physics.med-ph]. INSA de Lyon, 2003. Français.

[2] Jean.C. 2015. Recherches autour des propriétés rhéologiques des liants bitumineux. Sciences de l'ingénieur.

[3] HELIL.H ; KHOUDJA.N, 2017 : « MEMOIRE DE MASTER en Génie Civil » (Etude d'un béton bitumineux à base de sables de dunes).

[4] FONTANA, M., DI BENEDETTO, H., DUMONT, G. 1998, Voies de circulation II, chapitre 5. Cours de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

[5] CTPP : LES CARACTERISATIONS D'UN ENROBE A BASE DE SABLE DE DUNE PAR LES ESSAIS DES 4 NIVEAUX DE FORMULATION

[6] HAMMANA.A, DJABRIA.A, Mémoire de Master Académique, «CARACTERISATION DES ENROBES BITUMINEUX RECYCLES».

[7] KHENGAOUI SAFIA, 2013 : « En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Génie Civil » (valorisation du sable de dunes en couche de roulement sable – bitume).

[8] SACR, S. 2017. ROUTES CANTONALES. Cahier des charges pour travaux de revêtements en béton bitumineux.

[9] José, M. Juan, G. Leticia, S. 2014. Guide pour la fabrication d'enrobés bitumineux avec de la poudre de caoutchouc issue de pneumatiques usagés.

[10] KOUASSI, Z. 2018. Mémoire de Master Académique, «Contrôle qualité de la mise en œuvre du béton bitumineux dans le cadre des travaux de bitumage de la route Boundiali-Madinani ».

[11] BOULAHLIB, M, S. 2012. Géométrie des tracés, conception et entretien des chaussées.

Annexes

Annexe 1

1. Le raffinage du pétrole

Le raffinage du pétrole consiste à transformer le pétrole brut en une gamme importante de diverses variétés de produits finis ou semi-finis au moyen de différents procédés tels que le craquage et la distillation [1].

2. La raffinerie d'Arzew :

3. Historique :

L'implantation de l'usine a été réalisée sur un site d'une superficie de 150 ha située sur le plateau d'EL MOHGOUN de la daïra d'Arzew, à 40 km de la ville d'Oran.

- La construction du complexe fut confiée à la société japonaise JGC (Japan Gasoline Corporation).
- La pose de la première pierre aura lieu le 19 juin 1970.
- Le démarrage des unités a été lancé, par la mise en exploitation des utilités, à partir du mois de juillet 1972.
- L'ensemble des unités de la raffinerie était en service en mars 1973.
- La raffinerie a connu une évolution importante : En 1975, pour répondre à la demande du marché, les travaux d'extension des unités de production de bitumes ont été lancés.

4. L'objectif :

La raffinerie a été conçue pour :

- Valoriser le pétrole brut de Hassi Messaoud par son traitement local.
- Satisfaire les besoins de la consommation en carburants pour la région Ouest et en lubrifiants et bitumes pour le marché national.
- Permettre des rentrées devises grâce à l'exportation des produits excédentaires (naphta, kérosène, fioles).

5. Capacité de traitement :

La raffinerie traite 2,75 millions de tonnes par an de pétrole brut saharien.

6. Les principales zones du complexe : Le complexe est constitué de plusieurs zones ayant comme activités spécifiques suivantes :

- ❖ **Parking :** Zone1.
- ❖ **Station de veille :** Zone2.
- ❖ **Production :** Des zones de production divisées:
 - **Production 1 :** zones: 03, 04, 06,07 et 10.
 - **Production 2 :** zone : 05, 19 et 3000.
- ❖ **Utilités (Zones 3 et 19) :** Les utilités constituent assurent la production de la vapeur, l'électricité, air service et instrument et de l'eau distillée. Les zones 3 ,19 comprennent les mêmes unités.
- ❖ **Carburants (Zone 4):**Elle est constituée de 03 unités pour la production des Essences, Gasoil, Kérosène et les Gaz de pétrole liquéfié GPL (propane et butane).

❖ **Lubrifiants :**

- **Huiles de base (Zone 7 et 5) :** Ces deux zones ont pour but d'obtenir des huiles de base considérées comme matière première pour la fabrication des lubrifiants à partir du BRA qui est un composé pétrolier lourd et visqueux recueilli au fond du topping. La chaîne de fabrication est composée de 5 unités.
- **Huiles Finies (Zone 06 / unités 3000) :** mélange et conditionnement pour obtenir des huiles finies.

❖ **Bitume (Zone 10) :** Cette zone est destinée à la fabrication des bitumes de pétrole brut réduit importé, elle comprend deux unités pour la Fabrication du bitume routier et oxydé.

❖ **Stockage :**

- **Zones 8A, 8B :** stockage intermédiaire des huiles de base.
- **Zone 9 :** Stockage du brut et résidus.
- **Zone 11, 12,13 :** Stockage du brut provenant de « HASSI-MESSAOUD ».
- **Zone 16 :** Stockage du NAPHTA et stockage d'eau brut pour incendie.
- **Zone 17 :** Stockage du kérosène et stockage de l'essence de la première distillation.
- **Zone 18 :** Stockage du fuel pour mélange et stockage du slop.
- **Zone 22 et 23 :** Stockages des carburants.
- **Zone 24 :** Stockage du gas-oil.
- **Zone 25 :** Stockage du fuel.
- **Zone 26 :** Stockage GPL.
- **Zone 29 :** Stockage du BRI.

❖ **Administration générale :** zone 14.

❖ **Laboratoire :** zone 15.

❖ **Réception et approvisionnement des produits chimiques et pièces de rechanges :** zone 20.

❖ **Stations de traitement des eaux usées :** zone 27.

❖ **Zone d'expédition:** zone 28 (essences, gas-oil, kérosène et propane butane).

❖ **Administration générale :** Zone 14.

❖ **Laboratoire :** Zone 15.

❖ **Réception et approvisionnement des produits chimiques et pièces de rechanges :** Zone 20.

❖ **Stations de traitement des eaux usées PPI/API :** Zone 27.

❖ **Zone d'expédition : essences, gas-oil, kérosène et propane butane :** Zone 28.

7. La zone 10 production des bitumes :

La capacité des unités de production de bitumes directs (routiers) et oxydés fut augmentée respectivement de 65 000 T/An et 5 000 T/An à 20 000 T/An.

7.1. La charge de la zone 10 :

Depuis quelques années, Sonatrach assure à elle seule une charge pour l'industrie du bitume BRA, Ce forfait se compose de :

- 50% asphalte la Zone 7 et 5.
- 20% RSV LA ZONE 7.
- 18 % VGO.
- 10% U15 bitume oxydé.
- 2 % extrait MVO / SAE 10.

Le brut réduit Atmosphérique est fractionné en gasoil sous vide et en produit visqueux obtenu en fond de colonne lequel est traité dans la section de soufflage à l'air pour obtenir du bitume pur (direct) communément appelé bitume routier.

Les asphaltes provenant des unités de dé-asphaltages au propane sont mélangés au bitume direct pour obtenir les bitumes routiers.

Une ligne réchauffée électriquement relie la raffinerie au port à cet effet.

Les performances :

- Utilisé dans les applications routières.
- Les ventes sont réalisées par camions, citernes, ou navires [2].

7.2. Unité de bitume oxydé (U.15) : production des bitumes oxydés.

L'unité est destinée à produire des bitumes à haut point de ramollissement, elle traite une charge appelée BLOWING-STOCK qui est un mélange approprié de bitume et de gaz-oil lourd provenant tous deux de l'unité de flashing sous-vide. Le principe de son fonctionnement est de traiter la charge en injectant de l'air (réaction exothermique). Cette unité peut produire trois sortes de bitumes : Le bitume oxydé de spécification 85/25, 90/40 et 115/15 avec une production annuelle de 20 000T/an.

La charge (BLOWING-STOCK) provenant du T520/T521 à 160°C est aspiré par la pompe volumétrique 15G1A/B, il est refoulé vers la ligne de charge, une partie revient vers le bac de charge pour recyclage et une partie se dirige vers le four 15F1 et sort à 225°C et ensuite le produit alimente le 15F2 et sort à 235°C, et s'achemine vers le ballon amortisseur 15D1 puis alimente la colonne d'oxydation 15C3.

7.2.1. Circuit d'oxydation :

Dans l'appareil de soufflage l'air est introduit par le fond 15C3, il circule à contre-courant de la charge ce qui accélère la réaction d'oxydation. Comme ces réactions sont exothermiques on peut régler la température de surface 15C3 en contrôlant la quantité d'air introduite. De plus pour maintenir cette température stable et ainsi que pour rendre les réactions homogènes, du bitume est soutiré par une sortie latérale de l'appareil de soufflage, alors que l'oxydation n'est pas complète, pour être introduit en recyclage à l'entrée du four 15F1.

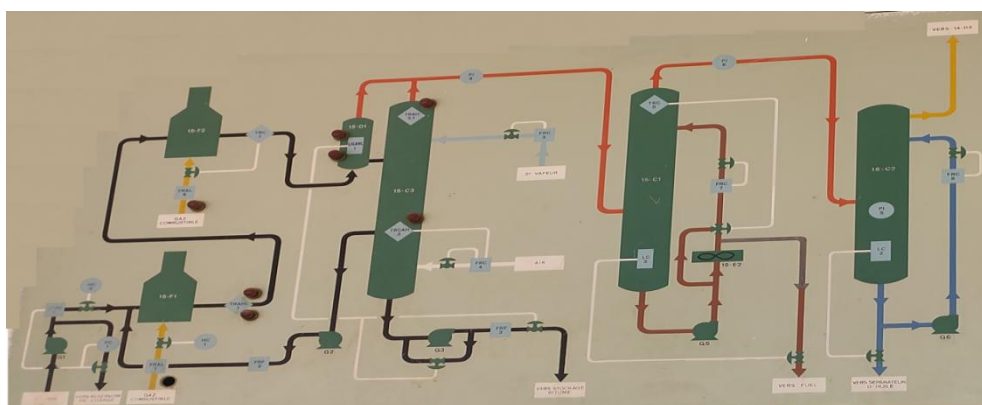


Figure 1 : procédé production des bitumes oxydés unité 15 zone 10 -Raffinerie d'Arzew.

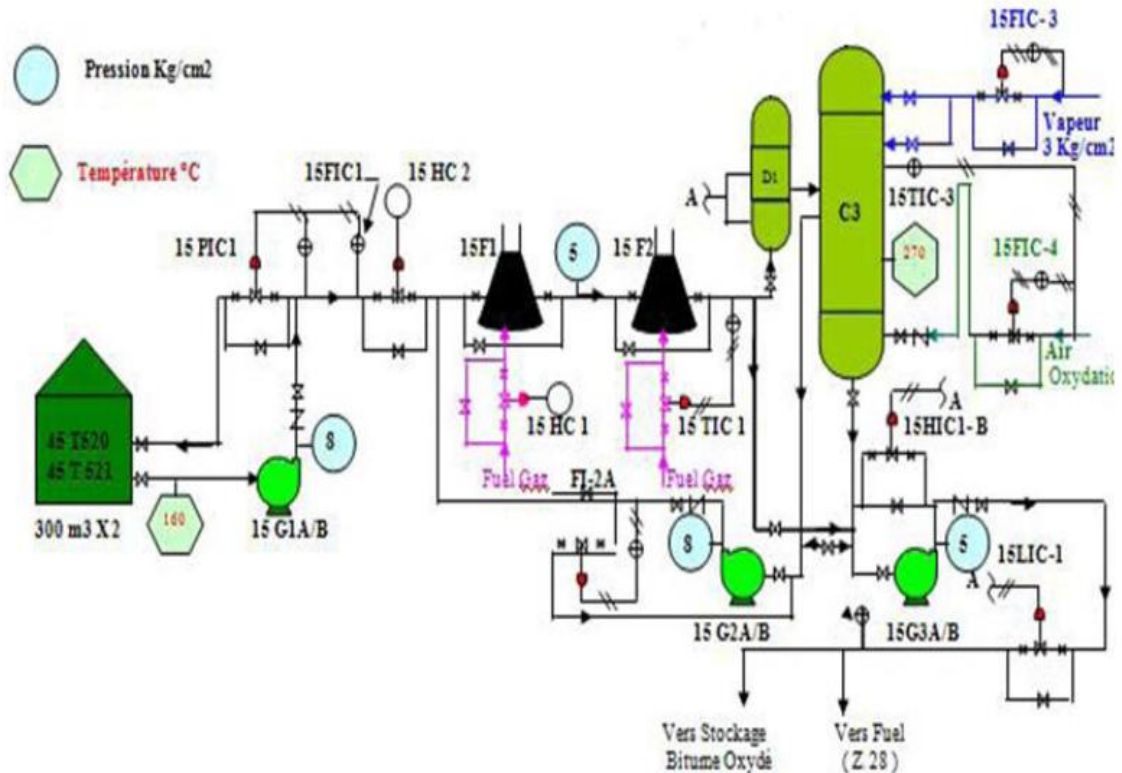


Figure 2 : Schéma de fabrication du bitume oxydé (unité 15).

REMAQUE :

Le mélange 85% du résidu sous vide et 15% de HVGO alimente la colonne d'oxydation pour obtenir des bitumes oxydés

7.3. Unité 14 : le procédé de distillation sous vide :

Dans cette étude, je m'intéresse aux bitumes routiers et pour ce but nous sélectionnons cette unité.

7.3.1. Le procédé d'obtention du bitume routier [3] :

Le BRA est aspiré par une pompe de charge et est refoulé dans une batterie d'échangeurs 14 E (1, 2, 11 et 3A B C) pour chauffer progressivement le BRA à 245°C par échange de chaleur avec les produits de soutirages latéraux.

Puis Le BRA pénètre dans un four 14 F1 à une température de 245°C pour être réchauffé à une température variable suivant le brut réduit importé, à la sortie du four le produit subit une injection de vapeur de dilution qui a pour rôle d'activer la vitesse du BRA et sort du four entre 360-375°C.

La charge provenant du four pénètre en zone de flash de la colonne sous vide en deux phases, les gaz s'acheminent vers le haut et le liquide se dirige vers le fond de la colonne 14C1.

- Le fond C1 est un mélange bitume + gaz oil très lourd aspiré par une pompe et est traverse les échangeurs côté calandre/ BRA côté faisceaux, puis entre dans le ballon 14D1 (amortisseur) et s'écoule dans la colonne d'oxydation 14C2, cette charge provenant du fond de la sous vide servira pour l'obtention des bitumes routiers.

Les coupes latérales sont soutirées des plateaux suivants:

- Gaz oil léger (LVGO) plateau N°6.
- Gaz oil moyen (MVGO) plateau N°12.
- Gaz oil lourd (HVGO) plateau N°18.

7.3.1.1. Le système de vide : Le vide dans le flashing 14C1 est de 30 mmHg en tête et de 50mmHg en zone de flash. Il est crée dans la colonne afin de:

- diminuer le point d'ébullition du BRI.
- d'éviter le craquage des molécules.

Le système comprend :

- Quatre éjecteurs places en série.

- Trois condenseurs pour refroidissement des vapeurs (HC+EAU) appelées condensat.
- Trois jambes barométriques pour récupération des condensas.
- Un puits barométrique. : [4]



Figure 3 : le système de vide.

7.3.1.2. Section semi- Blowing :

Cette section est alimentée par le fond de la colonne 14C1 et après échange de chaleur dans les 14E3 A/B/C côté calandre et traverse le 14D1 amortisseur équipé du régulateur du niveau de la colonne d'oxydation 14C2. Après oxydation à l'air provenant des compresseurs 14G7A/B/C, le produit de fond est aspiré par la pompe 14G8A/B et après passage dans l'échangeur 14E11 côté calandre est stocké par la vanne de niveau la 14LICV-101 dans les bacs T501/T502/T511/T106/T523 à une température de 160°C. La colonne d'oxydation 14C2 munie d'une injection d'air en fond de colonne et dont le débit est contrôlé par la vanne 14FIC-103 suivant l'indication de température du bain du produit représenté par la 14TIC-102. Il y a également deux injections de vapeur contrôlées par la 14FIC-102, l'une en surface du bain a pour rôle l'étouffement du bain et l'autre en tête de colonne a pour but d'éviter les entraînements du produit par la tête de colonne.

Les gaz de tête de la colonne d'oxydation 14C2 composés de gaz d'hydrocarbures +vapeur d'eau sont acheminés vers la colonne d'épuration 14C3 pour une condensation maximale des gaz d'HC en utilisant les pompes 14G9A/B de fond de la 14C3 et l'aéro-réfrigérant 14E12 dont le débit est contrôlé par la 14FIC-104 et la température assurée par 14TRC-108 et reflux vers la tête de colonne à 95°C.

Les gaz de tête de 14C3 composés de vapeur d'eau et des traces d'hydrocarbures sous forme de vapeur sont envoyés vers le ballon séparateur 14D2 pour une meilleure retenue des condensats puis dirigés sur le 14K4 (incinérateur) pour être brûlé au maxi à une température supérieure à 750°C, afin d'éliminer les odeurs (H₂S) résultant des gaz d'oxydation. : [4]

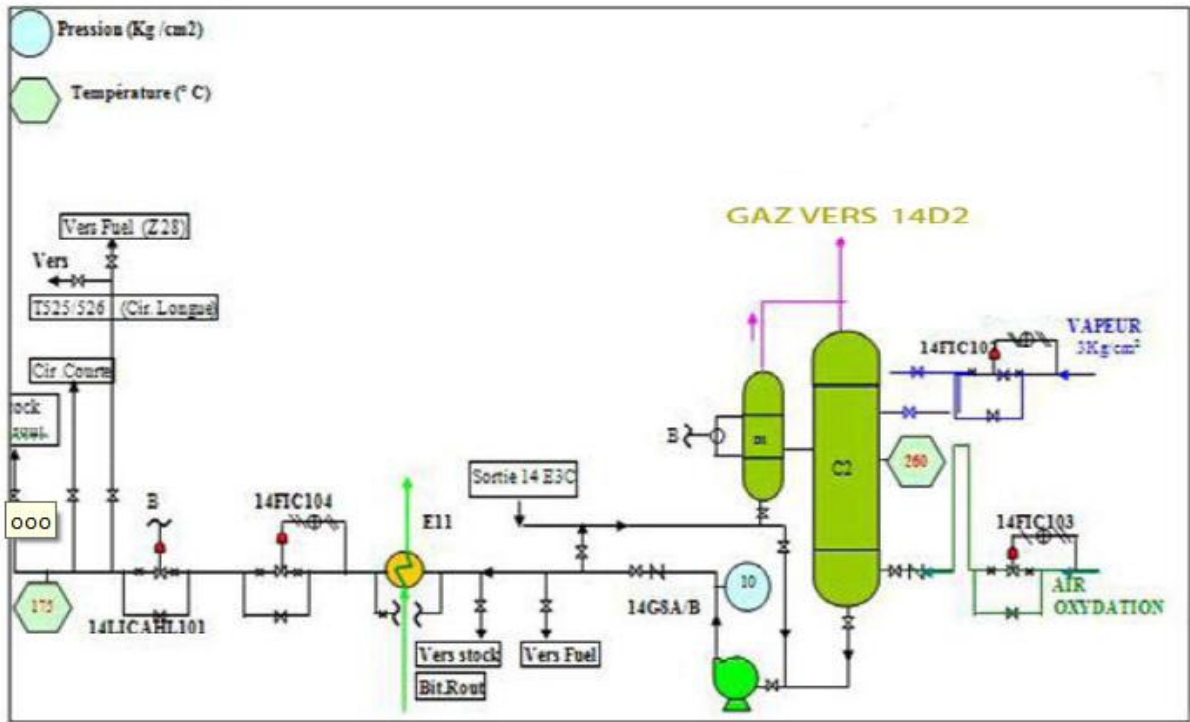


Figure 4 : Circuit de l'oxydation (unité 14).

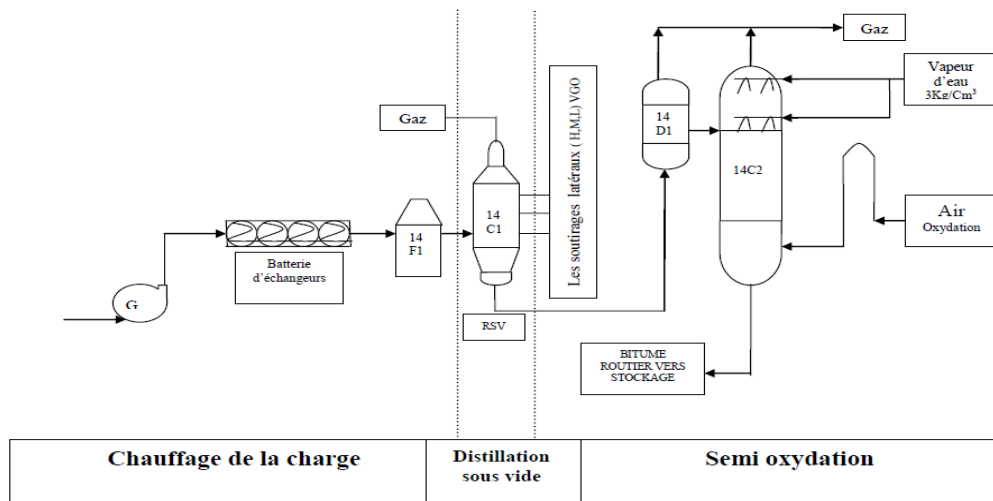
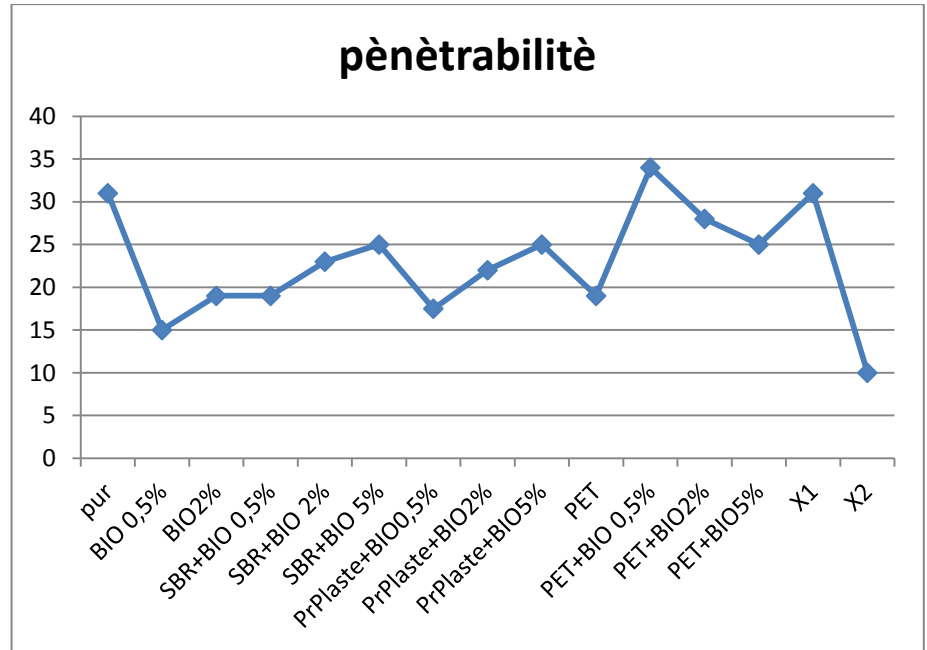


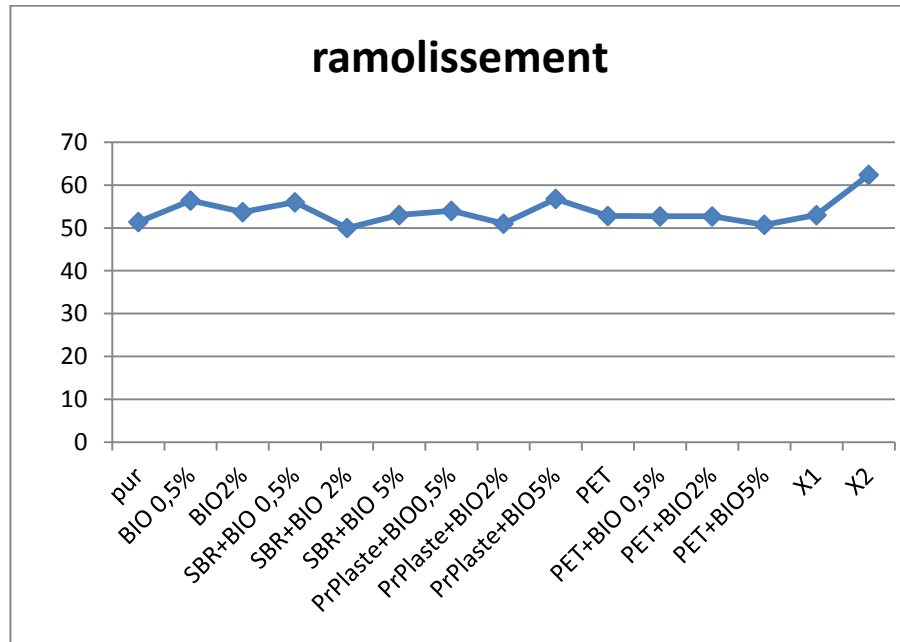
Figure 5 : procédé de production des bitumes routiers 40 /50 unité 14 zone 10 -Raffinerie d'Arzew.

Annexe 2

Colonne1	pènètrabilit
Pur	31
BIO 0,5%	15
BIO2%	19
SBR+BIO 0,5%	19
SBR+BIO 2%	23
SBR+BIO 5%	25
PrPlaste+BIO0,5%	17,5
PrPlaste+BIO2%	22
PrPlaste+BIO5%	25
PET	19
PET+BIO 0,5%	34
PET+BIO2%	28
PET+BIO5%	25
X1	31
X2	10

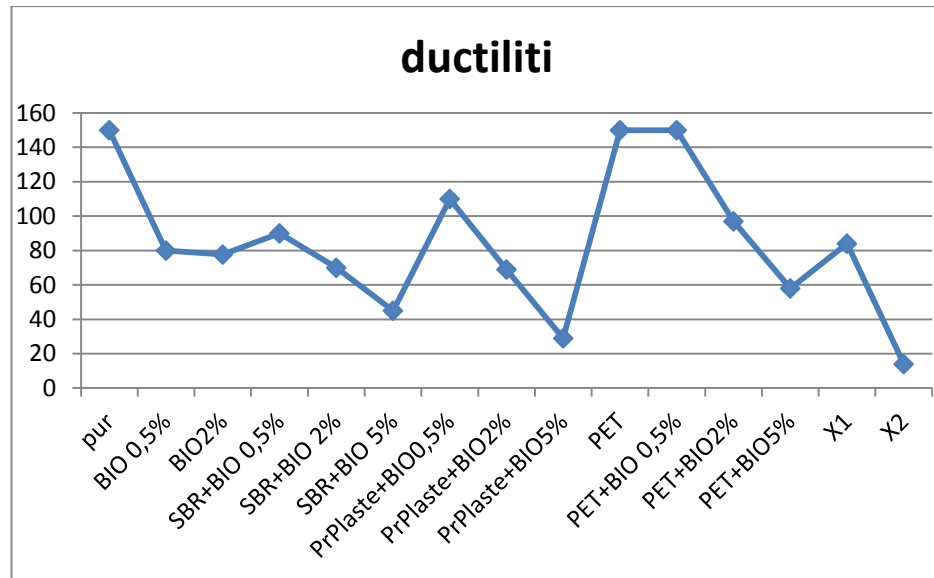


Colonne1	ramollissement
Pur	51,4
BIO 0,5%	56,4
BIO2%	53,7
SBR+BIO 0,5%	56
SBR+BIO 2%	50
SBR+BIO 5%	53
PrPlaste+BIO0,5%	54
PrPlaste+BIO2%	51
PrPlaste+BIO5%	56,8
PET	52,8
PET+BIO 0,5%	52,7
PET+BIO2%	52,7
PET+BIO5%	50,75
X1	53
X2	62,4

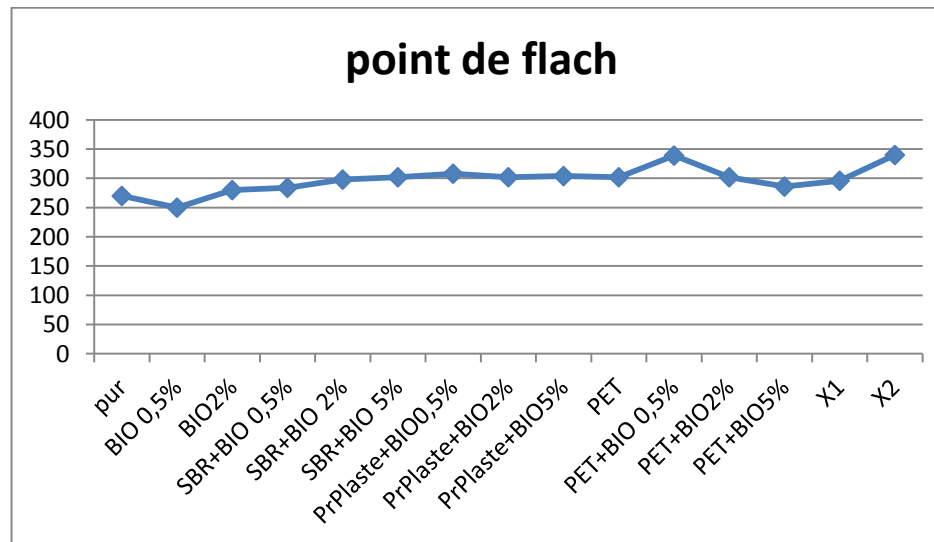


Annexe 3

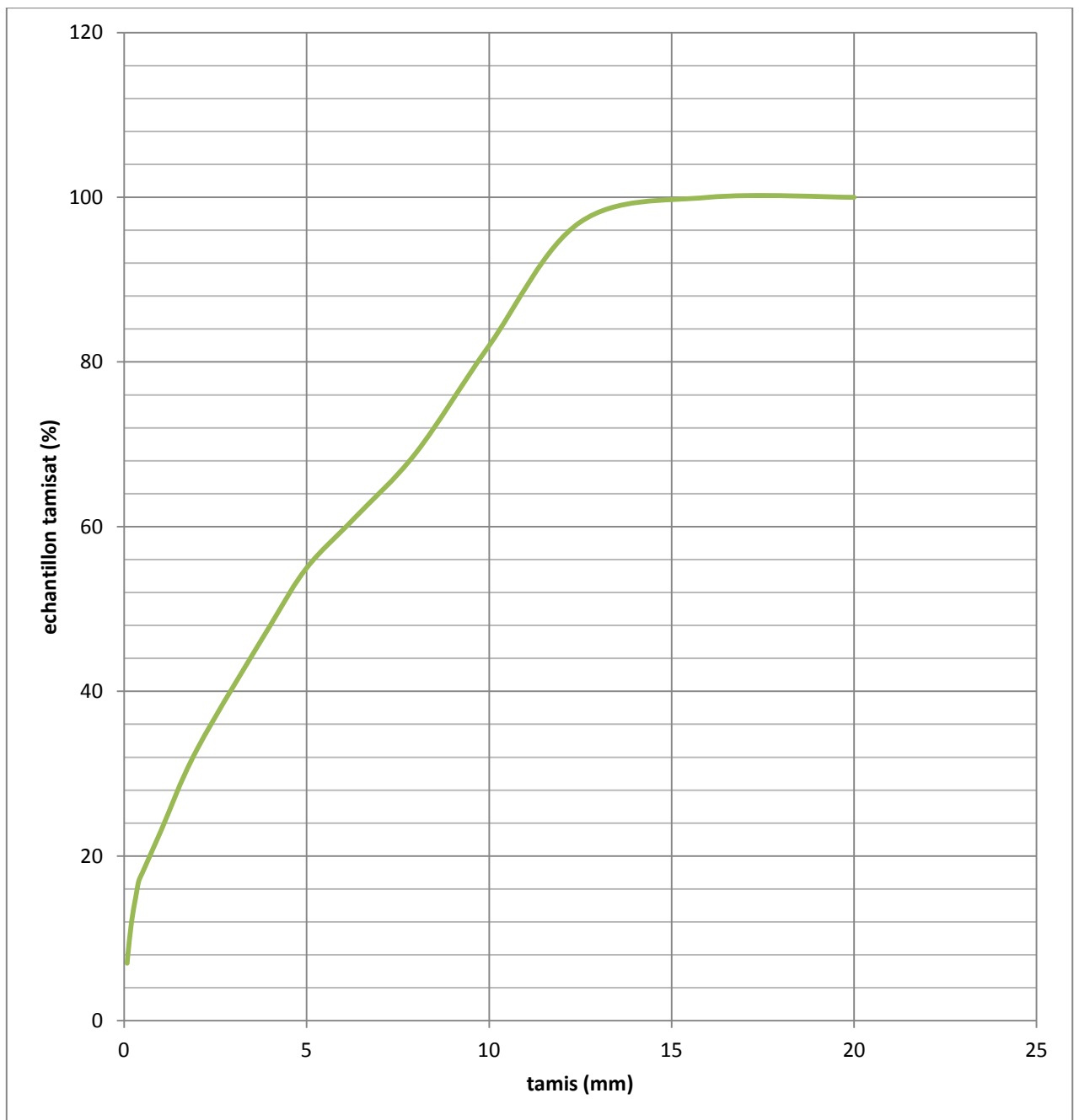
Produit	ductilité
Pur	150
BIO 0,5%	80
BIO2%	77,7
SBR+BIO 0,5%	90
SBR+BIO 2%	70
SBR+BIO 5%	45
PrPlaste+BIO0,5%	110
PrPlaste+BIO2%	69
PrPlaste+BIO5%	29
PET	150
PET+BIO 0,5%	150
PET+BIO2%	97
PET+BIO5%	58
X1	84
X2	14



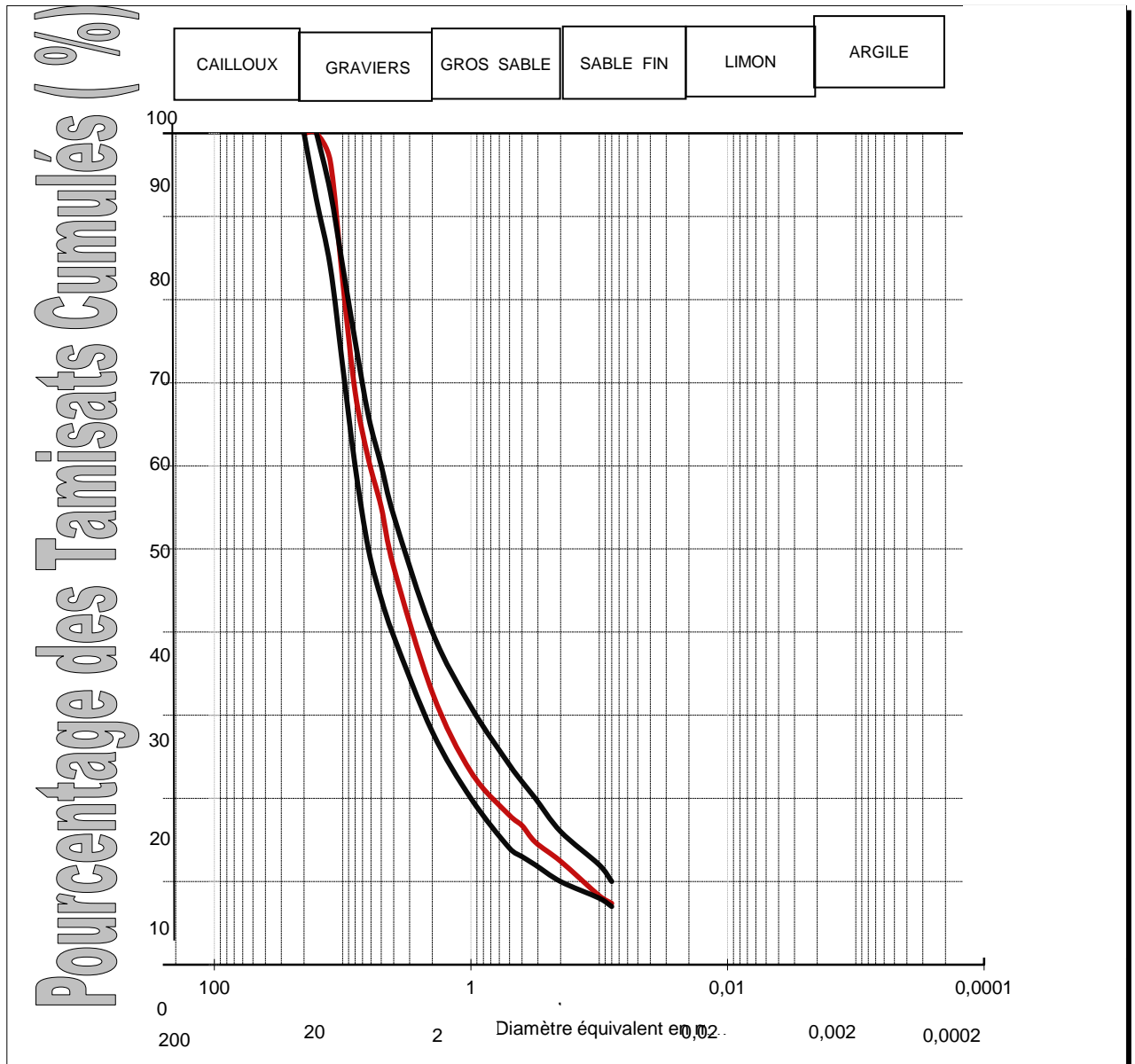
Produit	point de flache
Pur	270
BIO 0,5%	250
BIO2%	280
SBR+BIO 0,5%	284
SBR+BIO 2%	298
SBR+BIO 5%	302
PrPlaste+BIO0,5%	308
PrPlaste+BIO2%	302
PrPlaste+BIO5%	304
PET	302
PET+BIO 0,5%	339
PET+BIO2%	302
PET+BIO5%	286
X1	296
X2	340



Annexe 4



Annexe 5



Annexe 6

Formule A

	1	2	3	4
Numéros des éprouvettes				
Poids des éprouvettes	1200,7	1202,3	1199,9	1202,3
Hauteurs des éprouvettes (au pied à coulisse) (mm)	63,2	63,1	63,00	62,9
Moyenne des hauteurs (mm)				
Diamètres des éprouvettes (au pied à coulisse) (mm)				
Moyenne des diamètres (mm)				
Volume des éprouvettes ($\pi R^2 \cdot H$) (cm ³)	489,8	487,8	484,7	487,9
Masse volumique apparente (g/cm ³)	2,45	2,47	2,47	2,46
* Mesure géométrique (Mva) * Pesée hydrostatique (MVA)				
Stabilité MARSHALL (kg)	9,9	10,4	11,9	10,2
Stabilité MARSHALL (Corrigée) (kg)				
Moyenne stabilité (Kg)	10,8 KN			
Déformation 1 / 10 (mm)	Lecture initiale			
	36 /10	37,5 /10	38 /10	45 /10
Fluage MARSHALL 1/10 (mm)	3,6	3,75	3,8	4,5
Moyenne fluage MARSHALL 1/10 (mm)	3,74 mm			

Date

Le Chef de service

L'Opérateur

Annexe 7

Formule B

Nombres des éprouvettes		1	2	3	4
Poids des éprouvettes		1199,4	1200,5	1200,5	1200,5
Hauteurs des éprouvettes (au pied à coulisse)	(mm)	63,00	63,00	62,9	62,9
Moyenne des hauteurs	(mm)				
Diamètres des éprouvettes (au pied à coulisse)	(mm)				
Moyenne des diamètres	(mm)				
Volume des éprouvettes ($\pi R^2 \cdot H$)	(cm^3)	482,4	481,4	481,3	488,8
Masse volumique apparente	(g/cm^3)	2,49	2,49	2,49	2,46
	* Mesure géométrique (Mva) * Pesée hydrostatique (MVA)				
Stabilité MARSHALL	(kg)	9,2	10,6	11,4	8,6
Stabilité MARSHALL (Corrigée)	(kg)				
Moyenne stabilité	(Kg)	10,15 KN			
Déformation	Lecture initiale				
	1 / 10 (mm)	60/10	42,5/10	45/10	47,5/10
Fluage MARSHALL 1/10	Lecture finale				
	(mm)	6	4,25	4,5	4,75
Moyenne fluage MARSHALL 1/10	(mm)	4,88 mm			

Date

Le Chef de service

L'Opérateur

Résumé

Dans l'industrie routière, le bitume est le composant nécessaire pour lier des matières minérales de la chaussée. Il a un comportement viscoélastique, ces caractéristiques mécaniques et thermique limités, son choix de grade dépend aux conditions climatiques de la région. A causé de ces raisons l'Algérie choisi le bitume 35-50 avec une dureté et une sensibilité thermique moyenne a faible, mais dans ces derniers année, l'Algérie s'impose à améliorer les bitumes par l'ajout des polymères, qui permettront de réduire la partie sensible à la température, et d'augmenter le taux des éléments rigides et élastiques.

Ce travail s'intéresse essentiellement à la proposition d'un bitume modifié par des différents polymères. L'étude est orientée sur un taux de 0,5% jusqu'à 5% d'un mélange bitume -polymère (PET, BIO, SBR, PRPLAST, X1 et X2) et aussi comparé les résultats obtenus par la modification des caractéristiques physico chimique et rhéologique de bitume tel que le point de ramollissement, le point d'éclair, la pénétrabilité et ductilité avec une teneur de 0.5% de PET, et X1. Cette amélioration a un effet positif sur le comportement du bitume et dans le domaine des enrobés bitumineux.

Mots clés : bitume, polymères, PET, pénétrabilité, ramollissement, PMB

ABSTRACTE

In the road industry, bitumen is the necessary component to bind the mineral materials of the pavement. It has a viscoelastic behavior, these limited mechanical and thermal characteristics, his choice of grade depends on the climatic conditions of the region. Caused of these reasons Algeria bitumen 35-50 with medium to low hardness and thermal sensitivity, but in recent years, Algeria is required to improve bitumen's by adding polymers, which will reduce the temperature-sensitive part, and to increase the rate of rigid and elastic elements. This work is mainly interested in the proposal of a bitumen modified by different polymers. The study is oriented on a rate of 0.5% up to 5% of a bitumen-polymer mixture (PET, BIO, SBR, PRPLAST, X1 and X2) and also compare the results obtained by modifying physic-chemical and rheological characteristics of bitumen such as softening point, flash point, penetrability and ductility with a content of 0.5% PET, and X1. This improvement has a positive effect on the behavior of the bitumen and in the field of bituminous mixes.

Keywords: bitumen, polymers, PET, penetrability, softening, PMB

ملخص

في صناعة الطرق ، يعتبر الزفت مكوناً ضرورياً لربط المواد المعدنية للرصيف ، وله سلوك مرن لزج ، وهذه الخصائص الميكانيكية والحرارية المحدودة ، واختيار الدرجة يعتمد على الظروف المناخية في المنطقة. احد هذه الأسباب هو الزفت الجزائري 35-50 مع صلابة متوسطة إلى منخفضة وحساسية حرارية ، ولكن في السنوات الأخيرة ، مطلوب من الجزائر تحسين الزفت بإضافة البوليمرات التي ستقلل الجزء الحساس لدرجة الحرارة ، وزيادة معدل الصلابة والعناصر المرنة. يهتم هذا العمل بشكل أساسي باقتراح الزفت المعدل ببوليمرات مختلفة. الدراسة موجهة على معدل 0.5% حتى 5% من خليط الزفت والبوليمر (PET, BIO, SBR, PRPLAST, X1 et X2) وكذلك مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها عن طريق تعديل الخصائص الفيزيائية والكيميائية والريولوجية للزفت مثل نقطة التليين ونقطة الوميض وقابلية الاختراق والليونة بمحتوى (PET) 0.5% و (X1) وهذا التحسين له تأثير إيجابي على سلوك الزفت وفي مجال الخلطات الزفتية

الكلمات المفتاحية : الزفت . البوليميرات . النفاذية . التليين .