

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

**Université d'El-Oued**

Faculté de technologie

Département de hydraulique et génie civil



## **MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention de diplôme de Master II en Génie Civil**

**Option : Matériaux en Génie Civil**

**Thème : Etude de la possibilité d'améliorer les propriétés du bitume par l'ajout de déchets plastiques**

**Dirigé par : Dr FETHIZA ALI Boubaker**

**Prépare par :**

TRIKI Yacine

HICHER Fathi

GHENDIR Ali

GHANIA Boubaker seddike

**Promotion : 2022/2023**

# Remerciements

Au nom de Dieu le Miséricordieux. Louange à lui pour ses bénédictions constantes tout au long de ma vie. Ma confiance en lui m'a rendu fort dans les moments difficiles et ses conseils me conduisent d'un succès à l'autre. Alhamdulillah, je tiens à remercier mon superviseur, le Dr FETHIZA ALI Boubaker, pour son soutien continu et ses encouragements.

Sincères remerciements à nos chers parents qui nous ont constamment encouragés tout au long de nos années scolaires ; Qu'ils soient fiers de nous, et nous sommes reconnaissants à notre famille pour le soutien moral et financier qu'ils nous ont apporté tout au long de cette période. Leur amour durable nous a permis de continuer même lorsque nous avons remis en question nos capacités.

Merci à tous pour tout le monde.

Je tiens à remercier tous ceux qui nous ont aidés à travers leur consultation dans mes carrières à l'université et je n'oublierai pas nos meilleurs amis qui nous ont aidés par leur soutien, leurs encouragements et leurs conseils. Alors ..... merci à tous.

## Résumé

Les conditions climatiques en Algérie ont eu un impact négatif sur la structure des routes en raison des températures élevées en période de l'été, ce qui entraîne l'apparition d'affaissements dans la couche de surface de la route en plus de fissures longitudinales et transversales à basse Températures.

Le but de ce travail est étudié la possibilité d'améliorer les propriétés du bitume pour de meilleures performances en ajoutant des déchets plastiques locaux au bitume dans une proportion spécifique. Nous étudions également l'effet de ces déchets locaux sur le vieillissement du bitume

Les résultats obtenus avant et après la modification ont montré que ces ajouts modifient effectivement les propriétés du bitume à travers les expériences que nous avons menées (la Pénétrabilité et la TBA), ainsi qu'en améliorant les propriétés de vieillissement.

**Mots-clés :** bitume modifié, déchets plastiques, vieillissement, TBA

## ملخص

كان للظروف المناخية في الجزائر أثر سلبي على البنية الهيكلية للطرق بسبب درجات الحرارة المرتفعة في فصل الصيف مما يؤدي الى انخفاض في مستوى الطبقة السطحية للطريق بالاضافة الى التشققات الطولية والعرضية عند درجات حرارة منخفضة.

الهدف الأساسي من هذا العمل هو إثبات إمكانية تحسين خصائص القار لاداء أفضل عن طريق إضافة النفايات البلاستيكية المحليه الى القار بنسب محدد كما نقوم ايضا بدراسه تأثير هذه النفايات المحلية على شيخوخه القار.

وقد اظهرت النتائج المتحصل عليها قبل التعديل وبعد التعديل ان هذه الاضافات تغير خصائص القار في الواقع من خلال التجارب التي قمنا بها وكذلك ادت الى تحسين خواص الشيخوخه.

**الكلمات المفتاحية:** القار المعدل , نفايات البلاستيكية , الشيخوخه , TBA.

---

## Sommaire

<b>Remercîments .....</b>	<b>.....</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>.....</b>
<b>Sommaire.....</b>	<b>.....</b>
<b>Liste des Figures .....</b>	<b>.....</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>.....</b>
<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>

### Partie I: Étude bibliographique

#### Chapitre 01 : Généralités sur le bitume

1.1-Introduction :	5
1.2- Définition du bitume :	5
1.3-Fabrication des bitumes.....	5
1.3.1-La distillation .....	5
1.3.1.1-Distillation à la pression atmosphérique .....	5
1.3.1.2- Distillation sous vide.....	5
1.3.2-Le désasphaltage .....	6
1.3.3-Le soufflage.....	6
1.3.4-Le craquage .....	6
1.4- Composition chimique des bitumes [5].....	7
1.4.1- Les maltènes .....	7
1.4.1.1- Les huiles saturées.....	7
1.4.1.2-Les huiles aromatiques .....	7
1.4.1.3- Les résines (aromatique polaire) .....	7
1.4.2- Les Asphaltènes .....	7
1.5- Classification des bitumes routiers.....	8
1.6- Structure colloïdale du bitume .....	9
1.7-Description de la structure sol/gel du bitumen [5] .....	10
1.8- Essais sur le bitumen.....	11
1.8.1- Essai de pénétrabilité à l'aiguille (NF EN 1426) .....	11
1.8.2- Bille Point de ramollissement Anneau (NF EN 1427).....	12
1.8.3- Ductilité (NF EN 13589).....	12
1.9- Généralité sur le vieillissement des bitumes [9].....	13
1.9.1- Type de vieillissement.....	13
1.9.2-Facteurs influant sur le vieillissement [12] .....	13

1.10. Conclusion .....	14
------------------------	----

## **Chapitre 02 : Les bitumes modifiés**

2.1- Introduction .....	16
2.2 -Les bitumes modifiés .....	16
2.3- les objectifs de la modification.....	16
2.4 mecanisme de modification [16] .....	16
2.5 -procédés de modification [17].....	17
2.5.1- Le procédé par voie humide .....	17
2.5.2- Le procédé par voie sèche .....	17
2.6 -Essais spécifiques aux liants modifiés .....	17
2.6.1 -Observation microscopique.....	17
2.6.2- Stabilité au stockage.....	18
2.7-dommain dapplication des bitumes modifiés [18] .....	19
2.8- Différents agents de modification [20] .....	19
2.8.1- Les polymères Thermoplastiques.....	19
2.8.2- Caoutchoucs naturels et synthétiques.....	20
2.8.3- Caoutchoucs thermoplastiques.....	20
2.8.4- Polymères thermodurcissables .....	20
2.9- les plastiques .....	21
2.10- conclusions .....	21

## **Partie II: Etude Exprémental**

### **Chapitre 03: Matériaux utilisés et Méthodes d'essais**

3.1-Introduction .....	25
3.2-Présentations des Matériaux.....	25
3.2.1- Le bitume .....	25
3.2.2-Le déchet plastique alimentaire (DP) .....	26
3.3-Essais de caractérisation.....	26
3.3.1- Pénétrabilité (NF EN 1426).....	26
3.3.2-Température de ramollissement Bille Anneau (NF EN 1427) :.....	27
3.3.3- La susceptibilité thermique [9].....	27
3.3.4- Essai de stabilité au stockage .....	28
3.4-mode opératoire de la modification.....	28
3.5- Des essais de simulation des vieillissements.....	29

---

3.5.1-Protocole de vieillissement à court terme (Rolling Thin-Film Oven Test, NF EN 12607-1) [9] .....	29
3.5.2-Protocole de vieillissement à long terme « Pressure Aging Vessel » (PAV) (NF EN 14769) [9] .....	30
3.6- Conclusion.....	31
<b>Chapitre 04 : Effet DP sur les propriétés des bitumes modifiés</b>	
4.1- Introduction .....	33
4.2- Caractéristiques physiques des bitumes modifiés .....	33
4.2.1-Pénétrabilité à 25 °C.....	33
4.2.2- Température de ramollissement Bille Anneau .....	33
4.2.3- Susceptibilité thermique (IP).....	34
4.3-Stabilité au stockage.....	35
4.4-Conclusion.....	36
<b>Chapitre 05 : Effet du DP sur le vieillissement des bitumes modifiés</b>	
5.1- Introduction .....	38
5.2- Caractéristiques physiques des bitumes modifiés après le vieillissement .....	38
5.2.1- Pénétrabilité à 25 °C.....	38
5.2.2- Point de ramollissement .....	39
5.2.3. Susceptibilité thermique .....	40
5.3. Conclusion .....	41
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>42</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>44</b>

---

## Liste des Figures

Figure 1.01: Principe de fabrication des bitumes [6].....	6
Figure 1.02: Schéma de séparation chimique des constituants du bitume [5].....	8
Figure 1.03: Macrostructure des asphaltènes [YEN 72] [7].....	10
Figure 1.04 : Représentations schématiques d'un bitume type sol et d'un Bitume type gel. [7] D'après l'indice d'instabilité colloïdal IC, la structure du bitume peut être classée en fonction de sa composition générique comme exposé en tableau 1.3. [5] .....	11
Figure 1.05:Pénétrabilité à aiguille. [6] .....	12
Figure 1.06: Bille Point de ramollissement Anneau. [6] .....	12
Figure 1.07: Essai Ductilité. [8].....	13
Figure 2.01: Observation de la microstructure d'un bitume modifié par microscopie de fluorescence (0.5x0.7mm) [18] .....	18
Figure 2.02: Courbes de l'essai ductilité-force pour certains bitumes modifiés [9].....	19
Figure 3.01: Bitume de classe 40/50 .....	25
Figure 3.02: Déchet plastique alimentaire .....	26
Figure 3.03: Appareillage de l'essai de pénétrabilité à l'aiguille .....	27
Figure 3.04: L'essai la température bille et anneau.....	27
Figure 3.05: Prélèvement d'éprouvettes pour l'essai de stabilité au stockage .....	28
Figure 3.06: Appareillage de modification.....	29
Figure 3.07: Fioles du protocole RTFOT (vide, avant le test et après le test) .....	30
Figure 3.08: Appareillage du protocole RTFOT .....	30
Figure 3.09: Plateaux du protocole PAV .....	31
Figure 3.10: Appareillage du protocole PAV .....	31
Figure 4.01: Résultats de pénétrabilités des bitumes modifiés.....	33
Figure 4.02: Résultats de TBA des bitumes modifiés en fonction de la teneur en DP .....	34
Figure 4.03: La susceptibilité thermique (IP) des bitumes modifiés.....	35
Figure 4.04: Évaluations de la stabilité au stockage des bitumes testés.....	35
Figure 5.01: Pénétrabilité des bitumes modifiés en fonction de la teneur en DP avant et après vieillessement.....	39
Figure 5.02: Point de ramollissement des bitumes modifiés en fonction De la teneur en DP avant et après vieillissement.....	40
Figure 5.03: Indice de pénétrabilité des bitumes modifiés en fonction De la teneur en DP avant et après vieillissement.....	41

---

**Liste des tableaux**

Tableau 1.01: Composition chimique des bitumes selon certains chercheurs [5].....	8
Tableau 1.02: Classes de bitume les plus appropriées en France [6] .....	9
Tableau 1.03: Structures des bitumes en fonction de leurs compositions génériques. [5] .....	11
Tableau 2.01: Principaux agents chimiques utilisés dans la modification des bitumes [20]....	21
Tableau 3.01: Propriété physique de bitume de base .....	25
Tableau 4.01: Résultats de pénétrabilités des bitumes modifiés .....	33
Tableau 4.02: Résultats de TBA des bitumes modifiés en fonction de la teneur en DP .....	34
Tableau 4.03: Résultats de Susceptibilité thermique (IP) des bitumes modifiés .....	34
Tableau 5.01: Pénétrabilité des bitumes modifiés en fonction de la teneur en DP avant et après vieillessement. ....	38
Tableau 5.02: Point de ramollissement des bitumes modifiés en fonction De la teneur en DP avant et après vieillissement. ....	39

---

# *Introduction générale*

---

Le réseau routier dans la plupart des pays du monde est d'une grande importance à cet égard et à la lumière de l'augmentation du trafic en termes de nombre et de charges importantes en plus du climat agressif, qui conduit à la défaillance des mélanges bitumineux.

Les bitumes ordinaires aux limites au stade de ces conditions difficiles, on retrouve donc la fissuration provoquée par des charges énormes et des températures élevées, en plus du phénomène de fissuration et de fissuration à basse température. Par conséquent, il est devenu nécessaire de développer du bitume ordinaire pour augmenter la durabilité des routes et prolonger leur durée de vie, selon la méthode de modification du bitume par ajout de polymères.

Certaines études ont montré que le bitume modifié par des polymères peut entraîner des économies potentielles lorsqu'elle est utilisée dans certaines applications. En plus de résister à des charges énormes ou de résister à la fissuration, et de réduire sa sensibilité thermique.

Ce travail vise à étudier les propriétés du bitume modifié par de déchets plastiques, la structure générale du mémoire est organisée comme suite :

La première partie est entièrement consacrée à une étude bibliographique :

- Le chapitre 1 donne un bref aperçu des caractéristiques chimiques du bitume, du vieillissement.
- Le chapitre 2 traite brièvement de certaines caractéristiques générales des bitumes modifiés, ensuite, il se concentre sur l'utilisation des polymères dans la modification des bitumes.

La deuxième partie présente l'étude expérimentale, elle est constituée par trois chapitres :

. Le troisième chapitre examine des matériaux utilisés, de leur mode de préparation, des expérimentations réalisées sur les bitumes purs et modifiés.

. Le chapitre 4 étudie l'effet des modifications (le déchet plastique alimentaire (DP)) sur les propriétés physiques du bitume modifié. Les propriétés des bitumes mesurées par des essais tels que (pénétrabilité, TBA et la susceptibilité thermique).

• Le durcissement des bitumes ont été étudiés dans le chapitre 5 en utilisant les propriétés physiques des bitumes avant et après vieillissement. Le durcissement des bitumes a été caractérisé par des tests physiques tels que la pénétration, le point de ramollissement.

Enfin, une conclusion finale reprend les différents principaux résultats.

---

# *Partie I*

## *Étude bibliographique*

---

Cette partie présente des études bibliographiques sur l'enrobé et l'enrobé modifié.

---

***Chapitre 01 : Généralités sur  
le bitume***

---

## 1.1-Introduction :

Les liants hydrocarbonés, qui jouent un rôle important dans la technique routière moderne, sont connus et utilisés depuis longtemps. Un liant hydrocarboné est un matériau thermoplastique, c'est-à-dire qu'il conserve ses caractéristiques après chauffage et que sa consistance varie avec la température. Cette modification de la consistance sur une large gamme de températures est particulièrement exploitée dans la construction routière [1].

Le liant hydrocarboné est insoluble dans l'eau mais soluble dans de solvants organiques [2]. Il possède un grand pouvoir agglomérant car il adhère à la majorité des matériaux usuels : pierre, bois, béton [1].

On distingue trois groupes de liants hydrocarbonés :

- Les liants naturels obtenus par broyage des roches asphaltiques est dénommée Asphalte.
- Les bitumes qui sont obtenus par raffinage des pétroles bruts.
- Les goudrons qui proviennent de la pyrogénéation à l'abri de l'air de la matière d'origine végétale. En technique routier en utilise que les bitume des pétroles bruts.

## 1.2- Définition du bitume :

Le bitume est défini comme liquide visqueux consistant essentiellement en hydrocarbures et leurs dérivés, qui est soluble dans tri chloro-ethyene et est essentiellement non-volatile et se ramollit graduellement une fois de chauffage. Il est noir ou brun en couleurs et possède les propriétés imperméabilisantes et adhésives. Il est obtenu par des processus de raffinerie de pétrole [3].

Le bitume a été largement utilisé comme le liant de granulats dans la chaussée en raison de sa bonne propriété viscoélastique [4].

## 1.3-Fabrication des bitumes

Tous les bitumes (les liants) sont issus de la distillation du pétrole brut [5]

Les modes de fabrication des bitumes sont : [5]

### 1.3.1-La distillation

#### 1.3.1.1-Distillation à la pression atmosphérique

Ce mode de raffinage consiste à chauffer en continu par passage dans un four, le brut préalablement décanté et dessalé. Le brut, porté à une température de 340 °C, est envoyé dans une colonne de fractionnement maintenue à la pression atmosphérique. Le produit récupéré en fond de tour est le brut réduit. [6]

### 1.3.1.2- Distillation sous vide

A ce stade, le pétrole brut réduit provenant de la distillation atmosphérique est, après réchauffage aux alentours de 400 °C, envoyé dans une colonne où règne une pression déclinée à quelques dizaines d'hPa. Il est possible, dans cette classe d'unité, de fabriquer directement toutes les types de bitumes du 20/30 au 160/220. [6]

### 1.3.2-Le désasphaltage

Cette procédure est utilisée pour les résidus sous vide contenant trop de fraction lubrifiante et consiste à traverser le résidu sous vide avec un flux ascendant de solvant. La différence de solubilité de la fraction bitumineuse selon le solvant utilisé permet la récupération du bitume. [5]

### 1.3.3-Le soufflage

Le bitume oxydé ou bitume soufflé, réservé à des usages industriels, il est obtenu par l'injection d'air dans le résidu de la distillation sous vide, à une température élevée (280 °C en moyenne). L'objectif principal de cette méthode de fabrication est d'optimiser les propriétés du bitume. [5]

### 1.3.4-Le craquage

Il s'agit d'un procédé de raffinage qui a pour but de transformer, en présence d'un catalyseur, les coupes lourdes à longues chaînes d'hydrocarbures en coupes légères pour être utilisées dans la fabrication du carburant. On notera qu'à haute température (450 à 550 °C) et à pression atmosphérique, les grosses molécules hydrocarbonées sont cassées pour avoir de petites molécules ayant un indice d'octane élevé. [5]

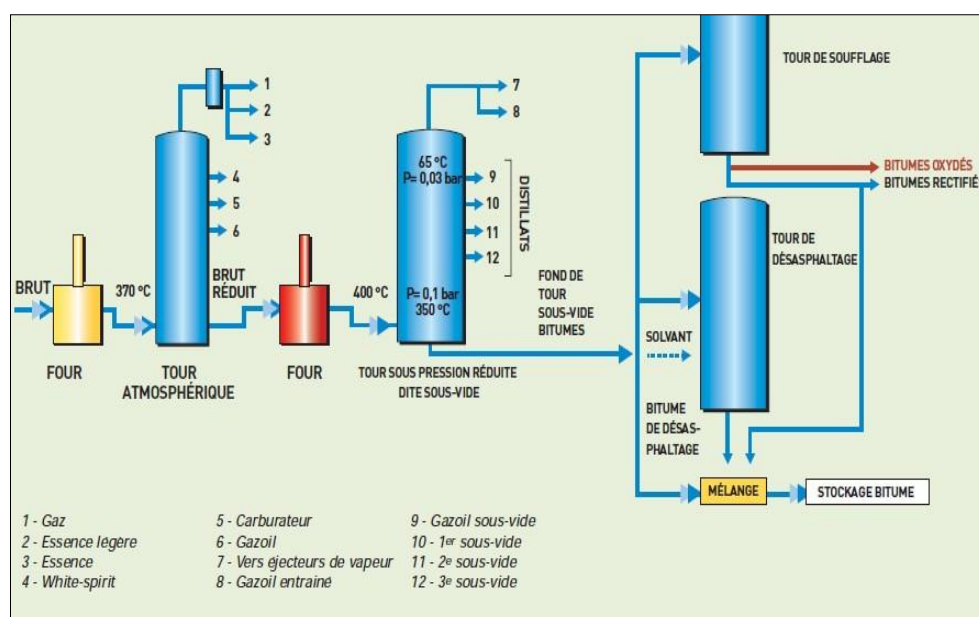


Figure 1.01: Principe de fabrication des bitumes [6]

---

## 1.4- Composition chimique des bitumes [5]

De point de vue chimique, le bitume fait partie de la famille des liants hydrocarbonés, sa composition chimique, bien qu'elle soit complexe, est constituée essentiellement de carbone (79 à 87%) et d'hydrogène (9 à 12%). En outre, des hétéroatomes tels que le soufre (1 à 8%), l'azote (0 à 1,6%) et l'oxygène (0,5 à 1,7%) sont présents. Il existe également dans le bitume des métaux : vanadium (10-2000 ppm) ou nickel (20-200 ppm) mais aussi aluminium, chrome, zinc, plomb, ... à l'état de traces.

La composition de base du bitume dépend principalement de l'origine de son brut et d'une manière moindre, des techniques de raffinage. Pour la structure, le bitume se compose de deux familles génériques séparables selon leur solubilité dans le heptane :

### 1.4.1- Les maltènes

Les maltènes est un produit huileux dans lequel baignent les asphaltènes. Les maltènes peuvent être encore fractionnées par chromatographie liquide en trois sous-familles d'hydrocarbures en fonction de leur polarité croissante : saturés, aromatiques et résines.

#### 1.4.1.1- Les huiles saturées

Le huile saturée est un huile incolore ou légèrement jaunâtre composée principalement de molécules paraffiniques et de cycles naphthéniques. Elle représente généralement moins de 10% d'un bitume. Leur masse moléculaire est de (300 à 2000 g/mole).

#### 1.4.1.2- Les huiles aromatiques

Ils sont des huiles visqueuses de couleur rouge sombre, avec 31% de leurs atomes de carbone inclus dans des cycles aromatiques. Elles représentent 50 à 72% de la composition d'un bitume. Leur masse moléculaire est du même ordre que celle des saturés.

#### 1.4.1.3- Les résines (aromatique polaire)

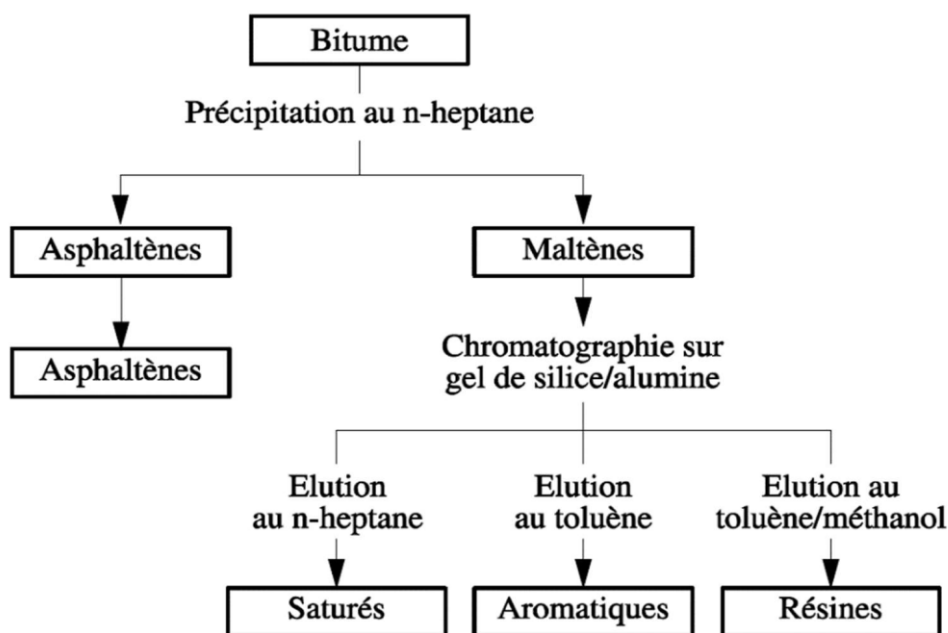
Les résines sont des solides noirs qui fondent par chauffage et représentent environ 11% du bitume. Elles sont caractérisées par de nombreuses ramifications, ce sont des systèmes condensés de cycles naphthéniques, aromatiques et hétérocycliques. Elles présentent une plus grande proportion de composés aromatiques que les huiles. Leurs molécules sont plus grosses et la proportion des hétéroatomes est plus élevée. La courbe de distribution de leur masse moléculaire s'étale de 500 à 50 000 g/mole. La taille est comprise entre (1 et 5nm)

### 1.4.2- Les Asphaltènes

Les 'asphaltènes peuvent se retrouver sous deux états ; le premier étant un état associé sous forme de micelles (entité élémentaire de quelques feuillettes de molécules) ou, sous forme

de paquets de micelles appelés agglomérats dans le second cas. Les micelles sont retenues ensemble par des forces de type hydrogène, dipolaires induites ou permanentes.

L'ensemble forme un système colloïdal constitué par une suspension de micelles d'asphaltènes peptisés par les résines dans un milieu huileux. En effet, les résines s'absorbent sur les asphaltènes et permettent leur dispersion dans le mélange huileux (hydrocarbures aromatiques et saturés), on dit qu'il y a peptisation. Les aromatiques assurent le rôle de solvant, tandis que les saturés assurent le rôle de flocculant.



**Figure 1.02:** Schéma de séparation chimique des constituants du bitume [5]

**Tableau 1.01:** Composition chimique des bitumes selon certains chercheurs [5]

Bitume	Saturés (%)	Aromatiques (%)	Résines (%)	Asphaltènes (%)
80 / 100	8.72 à 19.0	34.7 à 58.55	18.33 à 30.30	14.61 à 23.0
35/50	10.97 à 19.0	30.40 à 50.19	20.41 à 30.50	17.91 à 35.55

## 1.5- Classification des bitumes

Les bitumes mis sur le marché doivent présenter des qualités définies et constantes. Les spécifications qui définissent ces qualités portent sur les caractéristiques physicochimiques intrinsèques du bitume et sur ses performances, en tant que liant destiné à être incorporé dans un matériau complexe (enrobé, asphalte, enduit superficiel, etc.) destiné à diverses applications (route, étanchéité, industrie). Elles ont pour but de déterminer les valeurs limites de certaines caractéristiques : consistance, viscosité, adhésivité, solubilité, point de rupture, résistance au vieillissement et d'autres spécificités propres au fabricant. [6]

La maîtrise de la qualité commence bien avant la fabrication proprement dite, avec l'analyse des pétroles bruts. Tous les bruts ne sont en effet pas également utilisables pour la production de bitume, puisque 10 % environ des 1 300 variétés de pétroles connues sont des bruts à bitume. La première tâche des raffineurs est de prédire et vérifier les propriétés des coupes les plus lourdes des pétroles bruts utilisés, afin d'en doser correctement la combinaison en fonction du résultat recherché. [6]

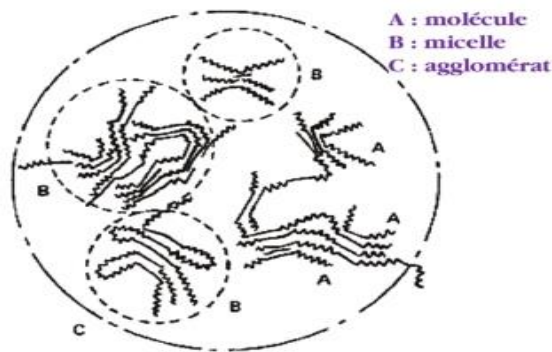
**Tableau 1.02:** Classes de bitume les plus appropriées en France [6]

Bitumes purs - Norme européenne EN 12591*							
Caractéristique	Unité	Méthode	Désignation des classes appropriées				
			20/30	35/50	50/70	70/100	160/220
Pénétrabilité à 25 °C, 100 g, 5 s	x 0,1 mm	EN 1426	20-30	35-50	50-70	70-100	160-220
Point de ramollissement Bille et Anneau	°C	EN 1427	55-63	50-58	46-54	43-51	35-43
Résistance au durcissement EN 12607- 1 RTFOT à 163 °C		EN 12607-1					
Variation de masse maximum, +/-	%	EN 12607-1	0,5	0,5	0,5	0,8	1,0
Pénétrabilité restante, minimum	%	EN 1426	55	53	50	46	37
Point de ramollissement après durcissement, minimum	°C	EN 1427	57	52	48	45	37
Augmentation du point de ramollissement, maximum	°C	EN 1427	8	8	8	9	11
Point d'éclair	°C	EN ISO 2592	240	240	230	230	220
Solubilité, minimum	% (m/m)	EN 12592	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
Teneur en paraffine, maximum	% (m/m)	EN 12606-2	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

## 1.6- Structure colloïdale du bitume

Nellensteyn a proposé pour le bitume une structure colloïdale pour laquelle les asphaltènes absorbent la fraction la plus lourde des maltènes, c'est-à-dire les résines, et forment des micelles, tandis que les huiles aromatiques et saturées représentent la phase intermicellaire.

Actuellement, le modèle colloïdal est le seul qui permet d'expliquer au mieux les propriétés particulières du bitume [7].



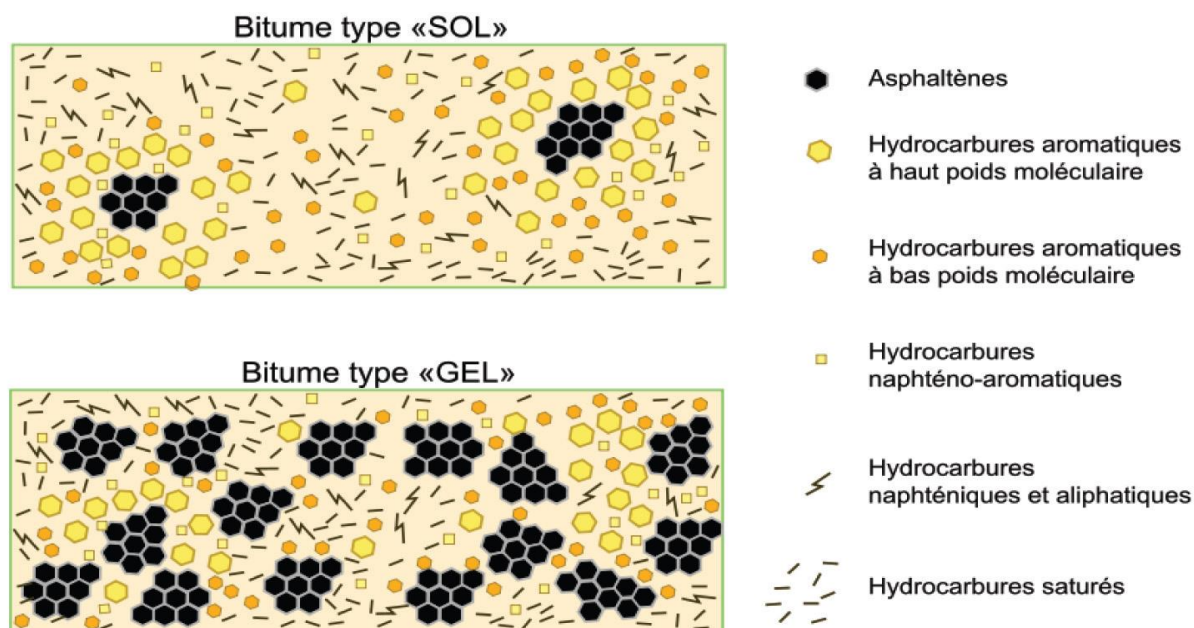
**Figure 1.03:** Macrostructure des asphaltènes [YEN 72] [7].

### 1.7-Description de la structure sol/gel du bitumen [5]

Les proportions relatives des différentes familles de constituants, citées ci-dessus, influent énormément sur l'équilibre et la structure du système colloïdal bitumineux. En effet, les particules solides sous forme de micelles de quelques microns de diamètre (les asphaltènes) se trouvent dispersés dans une phase liquide et continue (les maltènes).

Selon le degré de dispersion et d'organisation des micelles dans la phase dispersante, on distingue deux grandes classes de structure pour bitume;

- ✓ Type **Sol** : dispersion complète, bitume riche en huiles aromatiques et résines (milieu solvant) et pauvres en huiles saturées (milieu floculant) et asphaltènes.
- ✓ Type **Gel** : dispersion partielle, bitume pauvre en aromatiques et résines mais riche en huiles saturées et asphaltènes, cas des bitumes fortement soufflés.
- ✓ Type **Sol-Gel**, structure intermédiaire, est caractérisée par des agglomérats de micelles d'asphaltènes baignant dans un milieu dispersant structuré par les résines. La plupart des bitumes des routes possèdent cette structure intermédiaire et présentent, de ce fait, un comportement viscoélastique.



**Figure 1.04 :** Représentations d'un bitume type sol et d'un bitume type gel. [7]

D'après l'indice d'instabilité colloïdal IC, la structure du bitume peut être classée en fonction de sa composition générique comme exposé en tableau 1.03. [5]

**Tableau 1.03:** Structures des liants (bitumes) en fonction de leurs compositions génériques. [5]

Type de structure	Asphaltènes (%)	Résines (%)	Huiles (%)
Gel	> 25	< 24	> 50
Sol	< 18	> 36	< 48
Sol - Gel	21 à 33	30 à 34	45 à 49

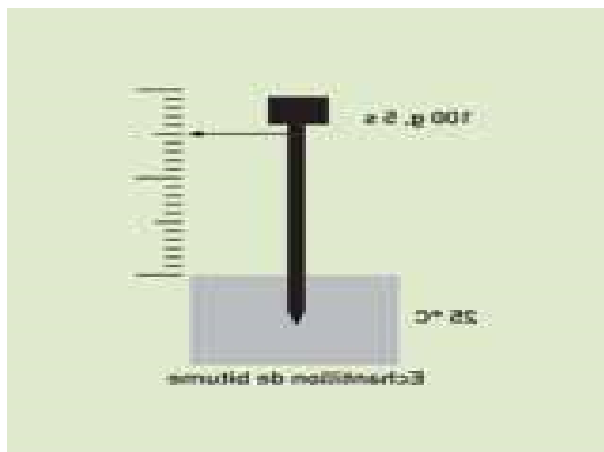
**Remarque :** En domaine routier, le type Sol-Gel sont les plus appropriées. [5]

## 1.8- Essais sur le bitumen

Les bitumes sont caractérisés par des tests normalisés dont les plus pratiqués sont la pénétrabilité et le point de ramollissement bille et anneau, qui permettent d'apprécier leur consistance. [6]

### 1.8.1- Essai de pénétrabilité à l'aiguille (NF EN 1426)

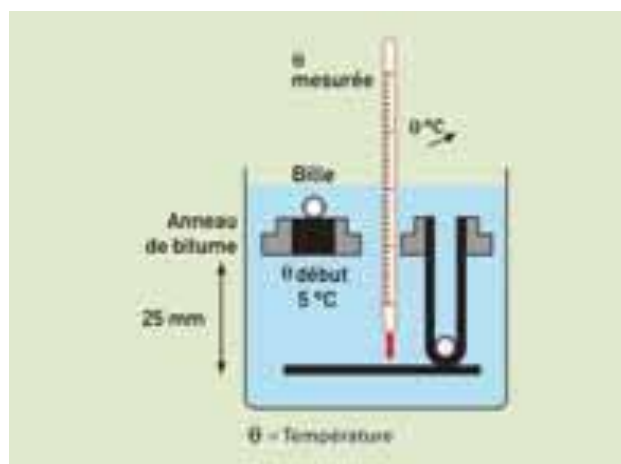
La propriété appelée « pénétrabilité » est la mesure de la pénétration d'une aiguille dans un échantillon de bitume après 5 secondes et s'exprime en dixièmes de millimètre (0,1 mm). La pénétrabilité la plus couramment utilisée est celle qui est mesurée à 25 °C. A une température donnée, plus le bitume est dur, plus la valeur de sa pénétrabilité est faible. Le bitume 20/30 est plus dur que le 35/50. [6]



**Figure 1.05:** Pénétrabilité à aiguille. [6]

### 1.8.2- Bille Point de ramollissement Anneau (NF EN 1427)

Le bitume n'a pas de point de fusion défini. Lorsque la température augmente, sa consistance diminue. Pour cette raison, une méthode bien définie doit être utilisée pour déterminer le point de ramollissement afin d'obtenir des résultats comparables. Une bille d'acier de 3,5 g et de 9,5 mm de diamètre est posée sur un petit disque bitumineux reposant sur un anneau métallique de diamètre 19 mm. L'ensemble est chauffé à vitesse constante (5°C/min). Le point de ramollissement bille et anneau (TBA) est la température à laquelle le poids de la bille provoque une déformation verticale de 25 mm sur l'échantillon. [6]



**Figure 1.06:** Bille Point de ramollissement Anneau. [6]

### 1.8.3- Ductilité (NF EN 13589)

Ce test mesure la force subie par une éprouvette soumise à un allongement. Cette éprouvette de forme déterminée est étirée à une vitesse de 50 mm/min, à la température imposée par l'essai. [6]



**Figure 1.07:** Essai Ductilité. [8]

## **1.9- Généralité sur le vieillissement des bitumes [9]**

Comme tout matériau d'origine organique, les bitumes sont soumis, en effet à des Phénomènes de vieillissement qui entraînent des changements de leurs paramètres Rhéologiques, mécaniques et chimiques.

Le vieillissement du bitume est l'un des principaux facteurs responsables de la rupture des chaussées (fissuration, orniérage...). Les propriétés de vieillissement dépendent en grande partie des origines et des types de bitume.

Le bitume est exposé à des processus de vieillissement au cours du stockage, de transport, de mélange, et à long terme en service.

Le vieillissement du bitume à habituellement comme conséquence le durcissement des bitumes et de la fragilisation, à la fois lors de la mise en œuvre et de la mise en service, ce qui contribue de manière significative à la dégradation de la chaussée.

### **1.9.1- Type de vieillissement**

Il y 'a deux types :

- **Vieillissement à court-terme :** Au stade de la fabrication de la mise en oeuvre des enrobés bitumineux
- **Vieillissement à long-terme :** au stade de mise en service

### **1.9.2-Facteurs influant sur le vieillissement [12]**

Différents paramètres interviennent donc sur la vitesse de vieillissement du bitume :

- L'oxydation.
- La volatilisation.
- La température.
- La lumière et en particulier les ultraviolets en surface des revêtements.
- L'épaisseur des films de bitumen.
- L'humidité des granulats.
- Le pourcentage des vides.

- Les charges statiques et dynamiques, etc.
- La nature intrinsèque du bitume conditionne également son évolution.

### **1.9.3- Simulation du vieillissement en laboratoire [12]**

Les tests les plus représentatifs pour simuler le vieillissement des enrobés en laboratoire sont le test RTFOT (Rolling Film Oven Test) et le test PAV (Pressure Aging Vessel). Ceux-ci simulent très bien le durcissement du bitume :

- Au stade de la fabrication de la mise en oeuvre des enrobés bitumineux (RTFOT).
- Au stade de mise en service (PAV).

## **1.10. Conclusion**

La qualité et les performances des routes dépendent des propriétés du bitume et sont contrôlées par la composition du bitume. Dans ce chapitre, nous avons abordé certaines questions générales concernant le bitume, nous avons appris les composés du bitume et leur fabrication, ainsi que la classification du bitume, et nous avons mentionné un certain nombre de tests, notamment le test de de pénétrabilité à l'aiguille, et Bille Point de ramollissement Anneau, et ductilité.

---

*Chapitre 02 : Les bitumes  
modifiés*

---

## 2.1- Introduction

L'amélioration des propriétés des chaussées routières s'avère indispensable devant la croissance des trafics et les performances de plus en plus grandes des véhicules. Cette amélioration s'est développée, entre autres, par l'introduction de nouvelles techniques et procédés de modification des produits bitumineux ; ceci constitue un axe de recherche très étudié à travers le monde ces dernières années. [13]

Les polymères sont les agents de modification les plus souvent utilisés pour améliorer les caractéristiques des bitumes. Ils accroissent le domaine de température sur lequel un liant peut résister à la fissuration thermique, l'orniérage ainsi que sa durabilité en fatigue. [14]

La première utilisation des polymères dans un processus de modification remonte à 1843 et a été appliquée à l'asphalte naturel. L'utilisation de matières plastiques recyclées est presque aussi ancienne que le développement des bitumes polymères. On relève ainsi à partir de la fin des années 50, aux États-Unis, la réalisation d'enrobés avec du bitume modifié par des caoutchoucs incorporés sous forme de latex. [14]

Ce chapitre expose d'une façon générale les bitumes modifiés, les polymères qui peuvent être ajoutés au bitume pour modifier les propriétés et le comportement du liant.

## 2.2 -Les bitumes modifiés

Les bitumes modifiés sont des liants bitumineux dont les caractéristiques ont été modifiées par l'emploi d'un agent chimique, qui introduit dans le bitume pur, en modifie la structure chimique et les propriétés physiques et mécaniques. Ils sont utilisés dans le domaine de la route. [15]

## 2.3- les objectifs de la modification

Les objectifs recherchés par la modification des bitumes par des polymères sont multiples. Il s'agit avant tout de modifier le comportement aux températures extrêmes atteintes par la chaussée : conserver une consistance suffisamment élevée aux hautes températures pour éviter les déformations permanentes, diminuer la fragilité à basse température pour éviter fissurations et arrachements de gravillons, et pour minimiser l'épaisseur du rechargement.

## 2.4 mécanisme de modification [16]

Une des hypothèses les plus souvent avancées pour tenter d'expliquer la modification des caractéristiques des bitumes par adjonction de systèmes thermoplastiques est leur gonflement par les huiles du bitume. Toutefois pour qu'un polymère soit utilisable pour la modification d'un bitume, il doit être au moins gonflable, éventuellement soluble, dans les fractions hydrocarbonées de faibles masses moléculaires du liant.

KRAUS pense que lorsque le polymère est ajouté au bitume préalablement chauffé, ce dernier commence immédiatement à pénétrer dans les particules du polymère.

Sous l'influence du cisaillement de l'agitation, le polymère gonflé devient mobile et se disperse dans le bitume. Le taux de dispersion est tributaire des paramètres suivants:

- La température : la vitesse de diffusion du bitume dans les particules de polymère augmente avec la température et modifie le moment où le cisaillement devient efficace.
- La taille des particules : plus elles sont petites, plus la surface de l'échange est importante et plus grande est la vitesse de diffusion du bitume dans les particules.
- Le cisaillement : malgré le gonflement les molécules deviennent d'autant plus mobiles qu'elles ont été rompues.

## **2.5 -procédés de modification [17]**

### **2.5.1- Le procédé par voie humide**

La modification du bitume par des additifs est l'incorporation de polymères dans le bitume par mélange mécanique ou réaction chimique [18]. La température de mélange est généralement comprise entre (150°C et 200°C).

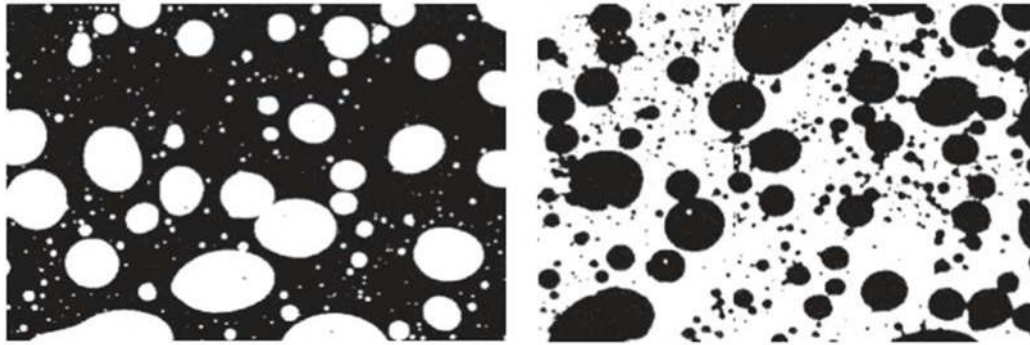
### **2.5.2- Le procédé par voie sèche**

Dans ce procédé par voie sèche, lors de la fabrication du revêtement bitumineux à chaud, le polymère (l'additif) est ajouté directement dans le malaxeur de la centrale d'enrobage, avec les bitumes, les granulats, les sables, filler, etc.).

## **2.6 -Essais spécifiques aux liants modifiés**

### **2.6.1 -Observation microscopique**

C'est la technique la plus utilisée pour apprécier l'état de dispersion des phases bitume et polymères. Elle est basée sur le principe que les polymères, gonflés par certains composants du bitume auquel ils sont ajoutés, sont fluorescents lorsqu'ils sont éclairés par une lumière UV. Ils réémettent une lumière jaune-vert alors que la phase bitume restante apparaît noire. [18]



Bitume modifié par 5% de SBS

Bitume modifié par 7% d'EVA

**Figure 2.01:** Observation de la microstructure d'un bitume modifié par microscopie de fluorescence (0.5x0.7mm) [18]

### 2.6.2- Stabilité au stockage

Durant le stockage à haute température, le polymère ne doit pas se séparer de la phase bitumineuse et le mélange ne doit pas changer excessivement de consistance.

L'essai de stabilité au stockage fournit des informations utiles pour les mesures préventives pendant le stockage et le transport des bitumes modifiés.

Le test de stabilité au stockage peut être mesuré à l'aide de l'essai dit « essai de décantation ». Le principe de cet essai est de maintenir un tube contenant le liant en position verticale dans un four pendant un temps déterminé, puis le refroidir et de procéder à son découpage en trois parties égales. La séparation éventuelle des phases est appréciée par la détermination de certaines caractéristiques (en premier lieu la TBA) sur les parties supérieures et inférieures.

Si la différence entre les points de ramollissement des parties est inférieure à 2,5°C le bitumepolymère est considéré comme stable [100].

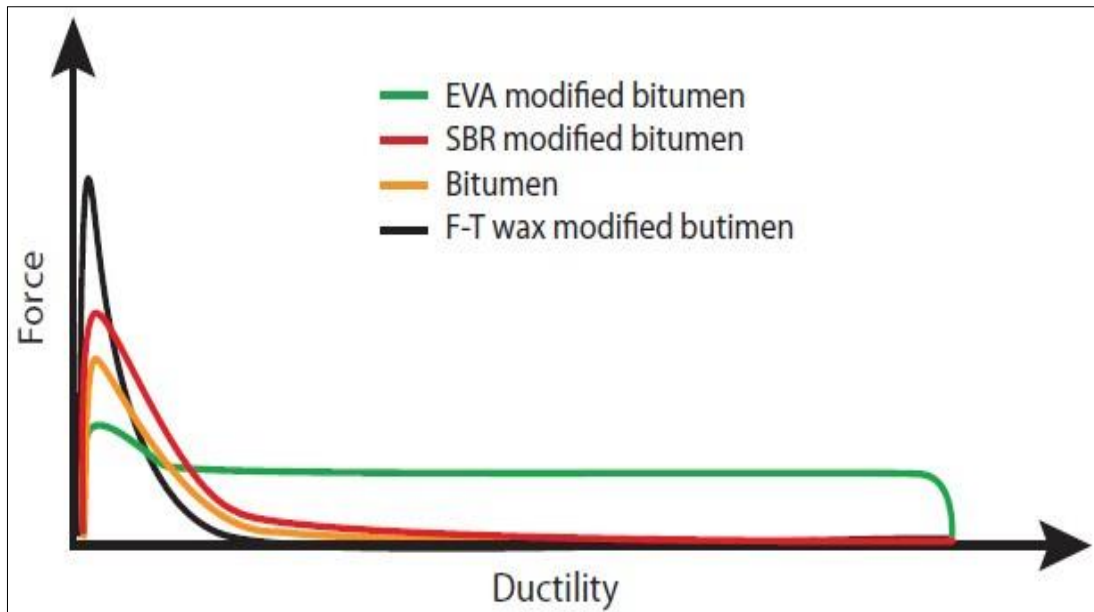
En général la stabilité au stockage des bitumes dépend de divers facteurs, tel que la nature et la teneur en polymère, la composition chimique et la structure du bitume et du polymère, la différence dans la densité et la viscosité entre le bitume et le polymère et le temps et la vitesse d'agitation. [8]

### 2.6.3- Essai force-ductilité [19]

Cet essai est utilisé pour examiner les caractéristiques de traction d'éprouvettes de bitume dans des conditions définies de vitesse d'allongement et de température.

Les résultats de cette essai permettent d'évaluer les caractéristiques de cohésion des bitumes modifiés et des liants bitumineux :

L'essai est réalisé dans un bain d'eau habituellement à 5°C, mais d'autres températures peuvent être utilisées.



**Figure 2.02:** Courbes de l'essai ductilité-force pour certains bitumes modifiés [9]

### 2.7-domaine d'application des bitumes modifiés [18]

Les bitumes modifiés ont été développés pour les domaines d'utilisation suivants :

- Couches de surface en faible épaisseur (Enduit superficiel, Enrobé mince BBM 3 à 4 cm, BBTM 2 à 3cm et BBUM 1 à 2cm...);
- Enrobés drainants ;
- Couches de roulement pour routes à trafic intense ;
- Couche d'assise pour routes à trafic intense ;
- Membranes anti-fissures et des chapes d'étanchéité ;
- Chapes d'étanchéité d'ouvrages d'art.

### 2.8- Différents agents de modification [20]

Les différentes familles de polymères utilisés pour la modification des bitumes (enrobés) sont les suivantes :

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

#### 2.8.1- Les polymères Thermoplastiques

Les polymères thermoplastiques sont caractérisés par le ramollissement pendant le chauffage et par le durcissement pendant le refroidissement. [20] [9]

Ils se fluidifient et deviennent malléables sous l'effet de la chaleur, de façon réversible. Ces produits sont subdivisés en deux familles : les élastomères et les plastomères. [9]

### **2.8.2- Caoutchoucs naturels et synthétiques**

Les caoutchoucs naturels et synthétiques tels que le polybutadiène (PB), le polyisoprène (IR), le butyle caoutchouc, le Caoutchouc Styrène Butadiène (SBC) et le polychloroprène (CR) ont tous été testés avec les bitumes. 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 bitumen. [20]

### **2.8.3- Caoutchoucs thermoplastiques**

Les élastomères thermoplastiques utilisés comme adjuvants pour les enrobés sont des blocs de copolymères de mono-et dioléfines. Comme monoléfine, le styrène est le plus utilisé, tandis que comme dioléfines, ce sont le butadiène et l'isoprène. Ces blocs copolymères sont sous forme de SBS (ou SIS), où S représente le polystyrène et B (ou I) le polybutadiène (ou polyisoprène). Ces copolymères se distinguent par leur teneur en styrène, leur poids moléculaire et leur configuration. [20]

### **2.8.4- Polymères thermodurcissables**

Les polymères thermodurcissables ne ramollissent pas durant le chauffage. Ils ne sont pas très utilisés dans le pavage des routes, en raison de leur coût élevé et de la méthode de leur mise en œuvre. Toutefois, les propriétés qu'ils confèrent à l'enrober 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 tridimensionnelle forte. Mélangées avec du bitume en quantité substantielle, les résines époxy montrent plus les propriétés des résines thermodurcissables modifiées que celles des bitumes. Quand les deux composants (résine et durcissant) des résines thermodurcissables se mélangent. La durée de vie du liant se trouve limitée. Le bitume modifié n'exhibe pas d'écoulement visqueux; il devient très résistant aux attaques des produits chimiques, notamment des solvants et des fuels. Depuis son introduction sur le marché, le bitume époxy est utilisé pour couvrir des aires spéciales des aéroports et des ponts. [20]

**Tableau 2.01:** Principaux agents chimiques utilisés dans la modification des bitumes [20]

Polymères thermoplastiques élastomères	
Polymères thermoplastiques élastomères	SBS
Copolymère styrène-isoprène-styrène	SIS
Styrène-butadiène	SB
Copolymère statistique styrène-butadiène	SBR
Polymères thermoplastiques plastomères	
Copolymère éthylène-acétate de vinyle	EVA
Copolymère éthylène-acrylate de méthyle	EMA
Copolymère éthylène-acrylate de butyle	EBA
Polyisobutylène	PIB
Latex	
Polychloroprène	
Caoutchouc SBR	
Caoutchouc naturel	
Poudrette de caoutchouc	

## 2.9- les plastiques

La consommation mondiale annuelle de plastique est passée d'environ 5 millions de tonnes dans les années 1950 à près de 100 millions de tonnes en 2001 [9]

En ce qui concerne les sacs plastiques, 4 à 5 billions de sacs en plastique polyéthylène sont fabriqués chaque année dans le monde. L'Algérie est le cinquième plus grand pays consommateur au monde, avec 6 milliards de sacs par an. Le plastique est facile à utiliser, mais il n'est pas écologique car il n'est pas biodégradable. Il est généralement éliminé par enfouissement ou incinération, ce qui peut entraîner des préoccupations environnementales, des dangers et des risques pour la santé.

## 2.10- conclusions

Dans la construction routière proprement dite, les enrobés bitumineux sont soumis à une variété de contraintes, y compris des contraintes thermiques et des fréquences de contraintes mécaniques, nécessitant des enrobés moins sensibles aux changements de température et qui adhèrent fortement aux granulats. Par conséquent, l'utilisation du bitume modifié (BmP) est nécessaire. C'est une condition préalable à la construction de routes.

Ce chapitre s'est concentré sur la recherche de modification du bitume par des polymères et sur les déchets plastiques recyclés et les tentatives d'utilisation pour les routes et les chaussées.

---

*Partie II*

*Etude Expérimentale*

---

---

*Chapitre 03 : Matériaux  
utilisés et Méthodes d'essais*

---

### 3.1-Introduction

Ce chapitre décrit les différents matériaux utilisés et les méthodes de fabrication des enrobés modifiés. Les principaux essais utilisés pour évaluer les propriétés de l'enrobé modifié sont ensuite décrits et les équipements et procédures normalisés utilisés pour chaque essai sont présentés. Les tests de pénétration et le TBA ont été utilisés pour la caractérisation physique, et le PAV et le RTFOT ont été utilisés pour les simulations de vieillissement à long et à court terme.

### 3.2-Présentations des Matériaux

#### 3.2.1- Le bitume

Cette étude expérimentale a été menée sur un liant (Bitume) de grade 40/50, largement utilisé en Algérie pour la réalisation de chaussées routières. Il provient de l'entreprise Souf pour goudron et huiles (Hassi Khalifa).

Les caractéristiques physiques du bitume sont données dans le tableau 3.1, ce tableau indique que les caractéristiques de ce bitume répondent aux spécifications préconisées dans la norme NF EN 12591 « Spécifications des bitumes routiers » pour la classe 40/50.

**Tableau 3.01:** Propriété physique du bitume

Type d'essai		Résultat	Spécification
Pénétrabilité à 25 °C (1/10 mm)		39	40-50
Température bille et anneau « TBA » (°C)		51.4	50-58
Indice de pénétrabilité « IP »		-1.3987	$-3 \leq IP \leq +7$
Ductilité (cm)		>100	100
Après RTFOT	Pénétrabilité à 25 °C (1/10 mm)	25	
	TBA (°C)	58	> 52
	Pénétrabilité restante [%]	64.10	> 53
	$\Delta$ TBA [°C]	6.6	< 8



**Figure 3.01:** Bitume (40/50)

### 3.2.2-Le déchet plastique alimentaire (DP)

Les déchets plastiques utilisés dans ce travail proviennent de grands sacs d'emballage alimentaire (Fili). La procédure de traitement du déchet plastique est de couper les sacs en petits morceaux de longueurs de 2 à 5 mm de longueur.

Les déchets plastiques rougeâtres utilisés sont principalement constitués de polypropylène. La formule chimique du plastique utilisé est  $(C_3H_6)_n$  et sa densité est de 0.9 g/cm<sup>3</sup>.



**Figure 3.02:** Déchet plastique alimentaire

### 3.3-Essais de caractérisation

La campagne expérimentale a été effectuée, dans l'entreprise Souf pour goudron et huiles (Hassi Khalifa) et au laboratoire de routes et aérodromes de la faculté de génie civil / USTHB.

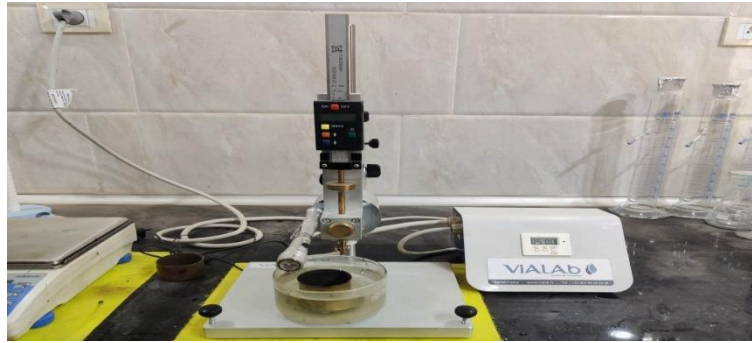
Les bitumes modifiés et le bitume de base ont été caractérisés à l'aide des tests suivants :

- Pénétrabilité (EN1426)
- Température de ramollissement bille anneau (EN1427)
- La susceptibilité thermique
- Essai de stabilité au stockage
- Des essais de simulation des vieillissements tels que RTFOT et PAV

#### 3.3.1- Pénétrabilité (NF EN 1426)

Cette test consiste à mesurer la consistance des bitumes et des liants bitumineux. Cette méthode consiste à mesure la profondeur de pénétration verticale d'une aiguille de référence dans un échantillon d'essai du matériau, en dixième de millimètre, dans des conditions précises de température, de charge et de durée d'application de la charge.

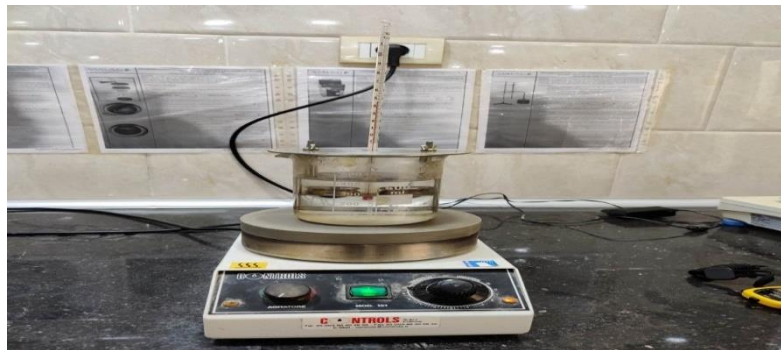
La pénétrabilité du liant bitumineux s'exprime par la profondeur (en dixièmes de millimètre) d'une aiguille standard de diamètre 1 mm soumis à une charge de 100 g pendant 5 secondes sur un échantillon de bitume maintenu à 25°C



**Figure 3.03:** Appareillage de l'essai de pénétrabilité à l'aiguille

### 3.3.2-Température de ramollissement Bille Anneau (NF EN 1427) :

Ce test mesure le point de ramollissement des liants bitumineux dans la plage de température de 28 °C à 150 °C. Deux disques horizontaux de bitume, coulés avec des anneaux en laiton épaulés, supportant chacun une bille d'acier de taille et de poids définis, sont chauffés dans un bain liquide à une vitesse contrôlée de montée en température de 5°C par minute. Le point de ramollissement spécifié doit correspondre à la température moyenne à laquelle les deux disques se ramollissent suffisamment pour permettre à une bille enveloppée de liant bitumineux de tomber d'une hauteur de  $25 \pm 0,4$  mm.



**Figure 3.04:** L'essai la température bille et anneau

### 3.3.3- La susceptibilité thermique [9]

La susceptibilité thermique est définie comme la modification du paramètre de consistance en fonction de la température, est représentée par un indice appelé indice de pénétrabilité (IP) exprimé par la relation montrée dans l'équation. (Où Pen25 correspond à la pénétration à 25°C et TBA à la température de ramollissement):

$$IP = \frac{1952 - 500 \times \log(\text{pen}25) - 20 \times TBA}{50 \times \log(\text{pen}25) - TBA - 120}$$

Pfeiffer et van Doormaal en 1936 ont défini la susceptibilité thermique des bitumes en se basant sur l'indice de pénétrabilité (IP) et ont précisé que cet indice peut prendre des valeurs de -3 pour les bitumes très susceptibles à +7 pour les bitumes à faible susceptibilité thermique.

Pour les bitumes de type « gel » les indices de pénétrabilité sont positifs par contre pour les bitumes de type « sol » ils sont négatifs.

### 3.3.4- Essai de stabilité au stockage

Pour évaluer la stabilité au stockage, nous avons placé chaque mélange immédiatement après fabrication dans un tube cylindrique en aluminium ou il a été maintenu verticalement à une température de 165°C pendant 48 h. Il a été, par la suite, mis dans un congélateur à une température de -5°C pour le refroidir. Le tube a ensuite été découpé en trois parties de longueur égale à l'aide d'une spatule et de marteau. La différence de points de ramollissement entre les sections supérieure et inférieure du tube a été mesurée. Un échantillon est considéré comme ayant une bonne stabilité au stockage si la différence est inférieure à 2,5°C. Ce test est utilisé pour contrôler l'homogénéité et la compatibilité du bitume avec le polymère.



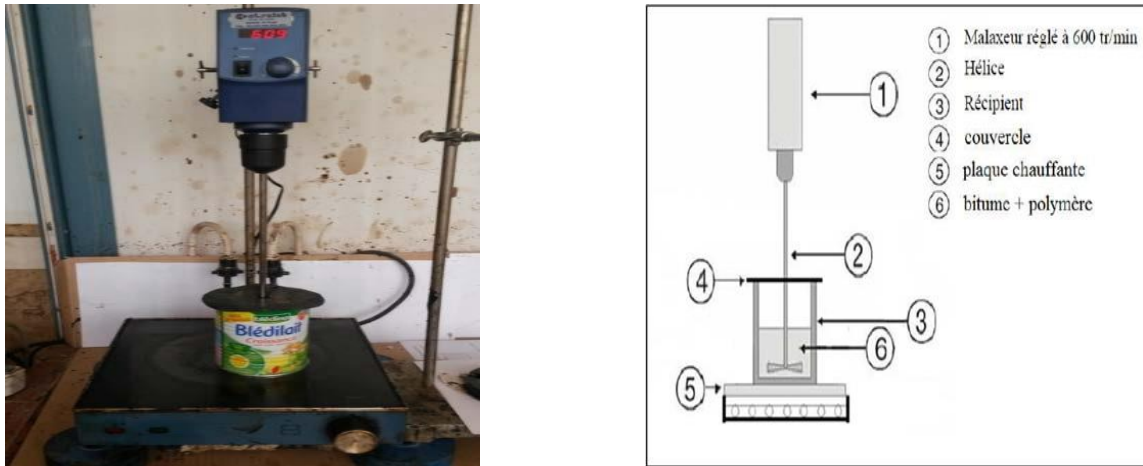
Figure 3.05: Prélèvement d'éprouvettes pour l'essai de stabilité au stockage

### 3.4-mode opératoire de la modification

Les bitumes modifiés sont fabriqués en général par dispersion du polymère dans le bitume sous agitation à haute températures.

Nous avons utilisé un appareillage se composant (figure 3.06) :

- D'un agitateur électrique à hélice muni d'un variateur de vitesse de rotation allant de 50 à 2500 tr/mn,
- D'un thermomètre allant de - 50 °C à 250 °C,
- D'un récipient dans lequel on effectue la modification, ce dernier est équipé d'un couvercle hermétique pour empêcher l'évaporation des huiles de bitume lors du chauffage.



**Figure 3.06:** Appareillage de modification

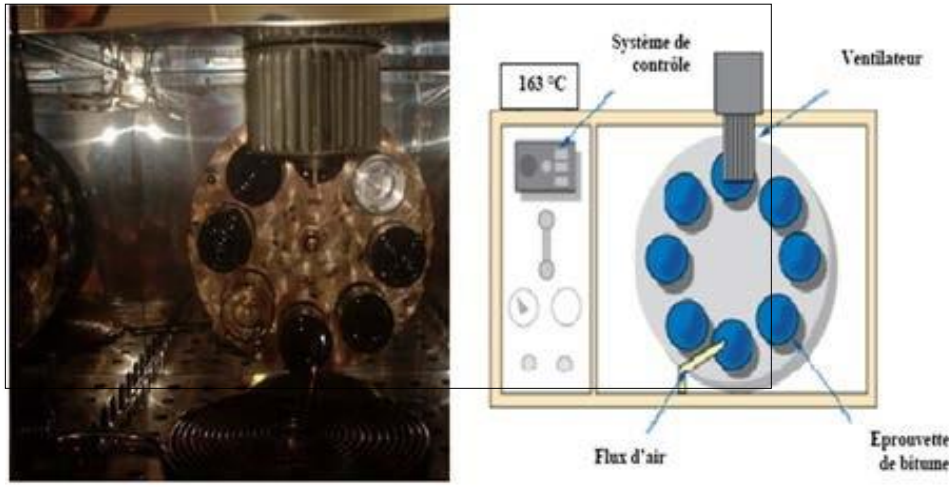
Le bitume modifié a été fabriqué à partir de bitume de qualité 40/50 et de polymère (déchets de plastique (DP)). Le pourcentage de déchets plastiques utilisés pour la modification est de 1, 3 et 5 % du poids du bitume. Le mélange polymère-bitume a été malaxé pendant 2 heures, à une température de 180°C et une vitesse de 600 rpm.

### 3.5- Des essais de simulation des vieillissements

#### 3.5.1-Protocole de vieillissement à court terme (Rolling Thin-Film Oven Test, NF EN 12607-1) [9]

Le RTFOT est utilisé pour simuler le vieillissement pendant le mélange, le stockage, le transport.

Cette essai est destinée à mesurer l'effet de l'air et de la chaleur et sur un film en mouvement de matériau bitumineux. Le RTFOT, dans lequel les conditions sont similaires au vieillissement à court terme qui a lieu sur le site où le liant est appliqué, est utilisé pour estimer le vieillissement à court terme à haute température en laboratoire. Dans cette méthode, les fioles sont chauffées à 160 ° C avant de charger l'échantillon. Ensuite, 35 g de bitume sont versés dans ces fioles en verre. Ces fioles sont ensuite placées dans un four chauffant à 163°C pendant 75 minutes avec un débit d'air de 4 L / min. Ensuite, les bitumes vieillis sont évalués en mesurant leurs propriétés physiques et leurs caractéristiques chimiques. L'équipement du RTFOT est représenté dans la figure 3.07.



**Figure 3.07:** Appareillage du RTFOT



**Figure 3.08:** Fioles du protocole RTFOT

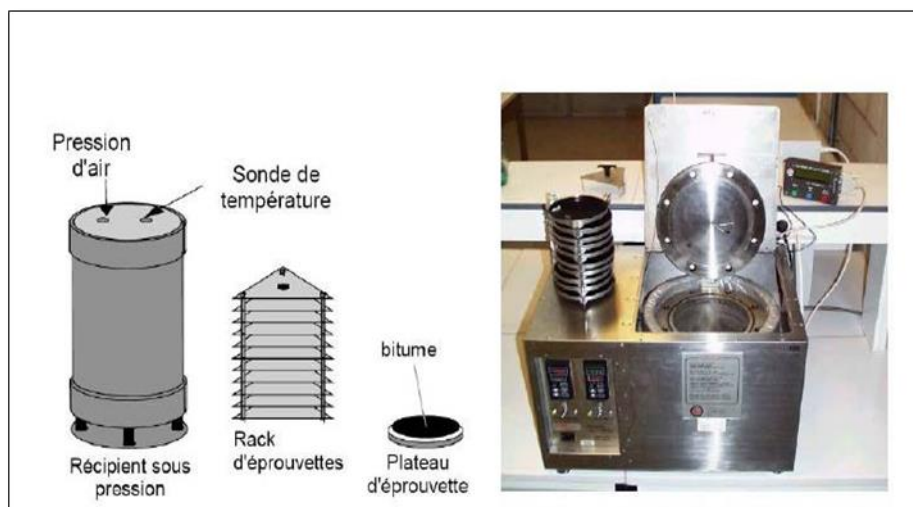
### 3.5.2-Protocole de vieillissement à long terme « Pressure Aging Vessel » (PAV) (NF EN 14769) [9]

Le protocole PAV sert à simuler en laboratoire le vieillissement à long terme des bitumes. Ce protocole a été développé pour simuler le vieillissement des enrobés pour un équivalent de 7 à 10 ans de mise en service. Le liant utilisé pour le PAV est d'abord vieilli par RTFOT pour simuler le vieillissement à court terme, car la simulation du vieillissement à long terme doit prendre en compte le vieillissement à court terme.

La procédure standard, réglementée par la norme EN 14769, consiste à placer 50 g de bitume conditionné au RTFOT dans des plateaux d'acier, comme présenté à la Figure 3.10. Plusieurs plateaux sont placés dans une enceinte chauffée à 100 °C sous une pression d'air sec de  $2,1 \pm 0,1$  MPa, pendant une durée de 20 heures. À la fin du test, les plateaux sont retirés du PAV et placés dans un four réglé à 163 °C. Le bitume doit être chauffé à un niveau suffisant pour être versé, puis agité doucement pour aider à éliminer les bulles d'air avant d'autres tests.



**Figure 3.09:** Plateaux du PAV



**Figure 3.10:** Appareillage du PAV

### 3.6- Conclusion

Après avoir effectué les expériences nécessaires sur le bitume pur et modifié, nous passerons en revue dans le chapitre suivant les résultats obtenus.

---

*Chapitre 04 : Effet DP sur les  
propriétés des bitumes  
modifiés*

---

## 4.1- Introduction

Ce chapitre montre l'effet de l'ajout de déchets plastiques (DP), sur les caractéristiques physiques d'un bitume de classe 40/50. Les bitumes modifiés ont été caractérisés par des essais conventionnels, tel que la TBA, la pénétrabilité et l'essai de stabilité au stockage.

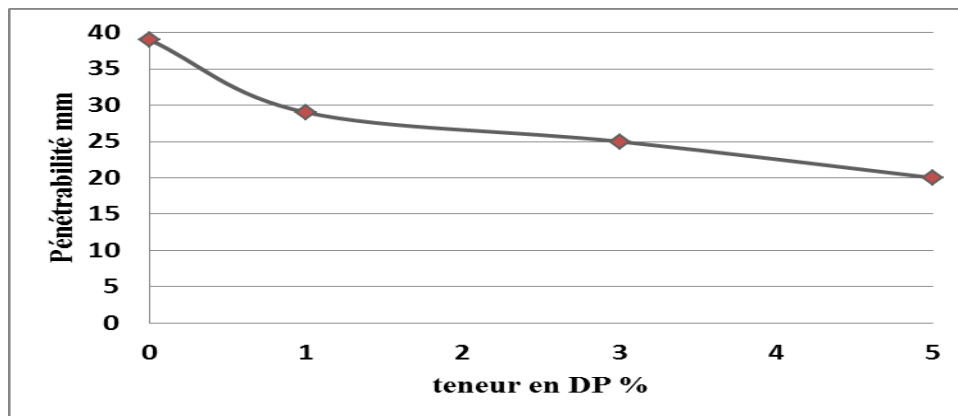
## 4.2- Caractéristiques physiques des bitumes modifiés

### 4.2.1-Pénétrabilité à 25 °C

Les résultats de la pénétrabilité en fonction de la teneur en DP sont présentés dans le tableau 4.01 et schématisés par la figure 4.01.

**Tableau 4.01:** Résultats de pénétrabilités

Teneur en DP (%)	0(%)	1(%)	3(%)	5(%)
Pénétrabilité à 25 °C mm	39	29	25	20



**Figure 4.01:** Résultats de pénétrabilités des bitumes modifiés

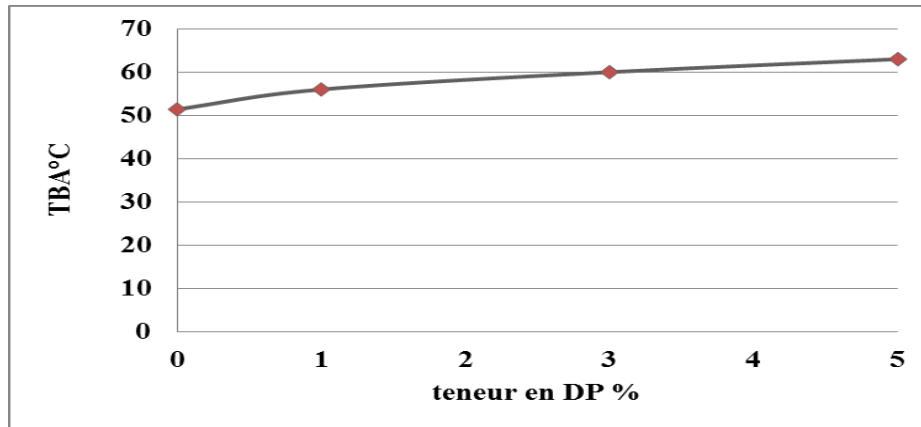
Les résultats de cette figure montrent que la pénétrabilité diminue en fonction de la teneur en polymères. Comparativement au bitume pur, les bitumes modifiés sont plus consistants ce qui montre que les bitumes modifiés par les déchets peuvent présenter un meilleur comportement à haute température. Globalement, l'augmentation de la rigidité du bitume après l'ajout de déchets DP peut améliorer la résistance aux déformations à hautes températures [9].

### 4.2.2- Température de ramollissement Bille Anneau

La figure 4.02 montre la variation de la TBA des bitumes modifiés en fonction de la teneur en DP.

**Tableau 4.02:** Résultats de TBA des bitumes modifiés en fonction de la teneur en DP

Teneur en DP (%)	0%	1%	3%	5%
TBA (°C)	51.4	56	60	63

**Figure 4.02:** Résultats de TBA des bitumes en fonction de la teneur en DP

Les résultats de la figure 4.2 montrent que la TBA augmente avec l'augmentation de la teneur en DP. En effet, la TBA augmente d'environ 12% après l'ajout de 5% DP comparativement au bitume de base. Les résultats de la température de ramollissement indiquent clairement que l'additif utilisé améliore les caractéristiques du bitume à hautes températures. Selon certaines études [23], [24], existe une relation proportionnelle entre la TBA et la résistance à l'orniérage. En effet, plus la TBA augmente plus la résistance à l'orniérage augmente. Ceci montre que les bitumes modifiés par les déchets plastiques augmentent la résistance à l'orniérage des chaussées bitumineuses fabriquées à base de ces déchets.

#### 4.2.3- Susceptibilité thermique (IP)

La susceptibilité thermique est définie comme le changement du paramètre de consistance en fonction de la température [25], est représentée par un indice de pénétrabilité (IP) exprimé par la relation montrée dans l'équation. (Où Pen25 correspond à la pénétration à 25°C et TBA à la température de ramollissement).

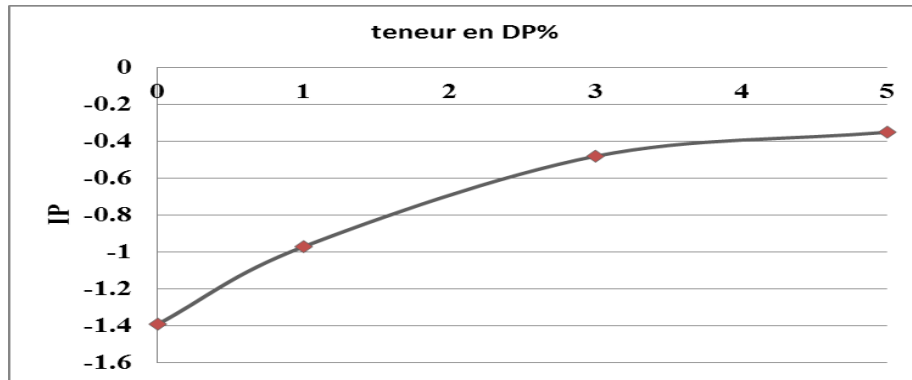
$$IP = \frac{1952 - 500 \times \log(\text{pen}25) - 20 \times TBA}{50 \times \log(\text{pen}25) - TBA - 120}$$

La figure 4.03 indique la variation de la susceptibilité thermique des bitumes en fonction de la teneur en DP. Il est connu que plus la valeur de l'indice de pénétrabilité augmente plus la susceptibilité thermique du bitume diminue, on remarque que les bitumes modifiés présentent une susceptibilité thermique moindre que le bitume de base explicité par l'augmentation de IP

en fonction de la teneur DP. Ces résultats suggèrent que le bitume modifié est plus résistant à la fissuration et à la déformation permanente [25].

**Tableau 4.03:** Résultats de Susceptibilité thermique (IP) des bitumes

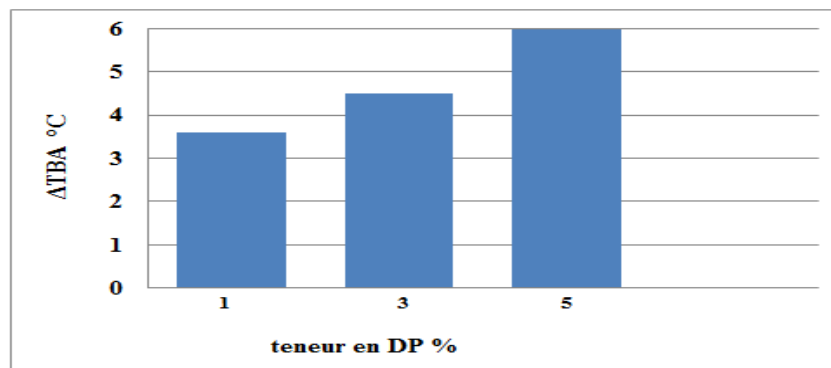
Teneur en DP (%)	0%	1%	3%	5%
IP	-1.39	-0.97	-0.48	-0.35



**Figure 4.03:** La susceptibilité thermique (IP) des bitumes modifiés.

### 4.3-Stabilité au stockage

Les résultats de stabilité au stockage des bitumes modifiés sont présentés dans la figure 4.05



**Figure 4.04:** Évaluations de la stabilité au stockage des bitumes testés

D'après les résultats de la figure 4.05 on peut conclure que la stabilité au stockage des bitumes modifiés est fortement influencée par la teneur en DP. L'instabilité des bitumes modifiés avec DP peut être provoquée par l'augmentation de la quantité d'asphaltènes et la formation d'agglomérats conduisant à une séparation de phase. On conclut que le DP mal dispersé dans le bitume et l'échantillon subit de séparation de phase pendant le stockage.

Pour résoudre le problème d'instabilité, les chercheurs ont essayé différents types de solutions, telles que :

- L'ajout de soufre.
- Maintenir le mélange sous agitation aux températures de stockage et de transport.

#### **4.4-Conclusion**

Dans ce chapitre on a montré l'impact de l'ajout des déchets locaux, sur les propriétés physiques d'un bitume de classe 40/50. Les différentes conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Les tests physiques montrent que les bitumes modifiés sont plus consistants, en effet la pénétrabilité diminue et le point de ramollissement augmente en fonction de la teneur des déchets utilisés.
- La stabilité au stockage des bitumes modifiés est fortement influencée par la teneur en polymère.

---

*Chapitré 05 : Effet du DP sur  
le vieillissement des bitumes  
modifiés*

---

## 5.1- Introduction

Ce chapitre, on présente l'impact des déchets plastiques sur le vieillissement du bitume à court et à long terme. Pour cela, les bitumes ont été soumis à un processus de vieillissement à court terme en utilisant le test RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) et à long terme en utilisant le test PAV (Pressure Ageing Vessel).

Le processus de durcissement du bitume a été caractérisé par des tests physiques tels que la pénétration, le point de ramollissement.

## 5.2- Caractéristiques physiques des bitumes modifiés après le vieillissement

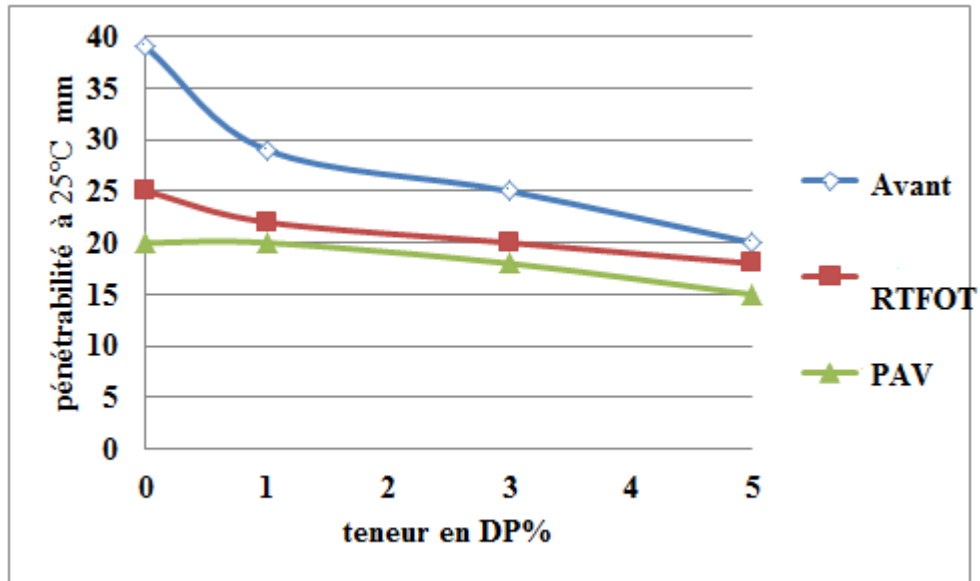
### 5.2.1- Pénétrabilité à 25 °C

Les résultats de la pénétrabilité des bitumes en fonction la teneur en DP après leurs passages au RTFOT et au PAV sont donnés dans la figure 5.01 et schématisées par la figure 5.01.

On remarque que la pénétrabilité des bitumes diminue significativement après leurs passages au RTFOT et au PAV en raison du durcissement physique des liants, ce durcissement est dû à l'évaporation des composants volatils du bitume.[26]. Par rapport la différence entre les valeurs de pénétrabilité avant et après RTFOT diminue après l'ajout les déchets plastiques indiquant que les déchets augmentent la résistance au durcissement. Concernant le vieillissement à court terme, on peut remarquer que la différence entre la variation de la pénétrabilité avant et après RTFOT est plus grande que celle entre RTFOT et PAV montrant que le processus de durcissement est plus important à court terme, lors de la mise en œuvre de l'enrobé bitumineux.

**Tableau 5.01:** Pénétrabilité des bitumes modifiés en fonction de la teneur en DP avant et après vieillissement.

		Teneur en DP %		0%	1%	3%	5%
Pénétrabilité à 25 °C (mm)	Vieillissement	Avant		39	29	25	20
		Après	RTFOT	25	22	20	18
			PAV	20	20	18	15



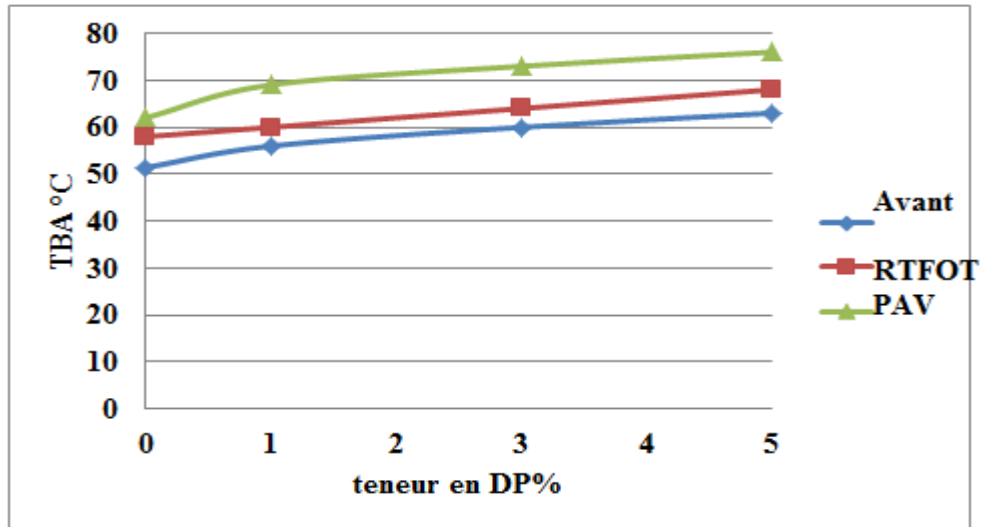
**Figure 5.01:** Pénétrabilité des bitumes modifiés en fonction de la teneur en DP avant et après vieillissement

### 5.2.2- Point de ramollissement

Les résultats de la température de ramollissement en fonction de la teneur en DP de modification avant et après vieillissement sont donnés dans la Tableau 5.02 et schématisé par la figure 5.02.

**Tableau 5.02:** Point de ramollissement des bitumes modifiés en fonction De la teneur en DP avant et après vieillissement.

		Teneur en DP %					
		0%	1%	3%	5%		
TBA °C	Vieillissement	Avant		51.4	56	60	63
		Après	RTFOT	58	60	64	68
			PAV	62	69	73	76



**Figure 5.02:** Point de ramollissement des bitumes modifiés en fonction de la teneur en DP avant et après vieillissement.

Les résultats de la figure 5.02 montrent que la température de ramollissement augmente après RTFOT et PAV.

Comparativement au bitume pur, la différence entre les valeurs de TBA avant et après RTFOT diminue après l'ajout de déchets, montrant que les déchets plastiques augmentent la résistance au vieillissement par durcissement, et par voie de conséquence une meilleure durabilité des chaussées.

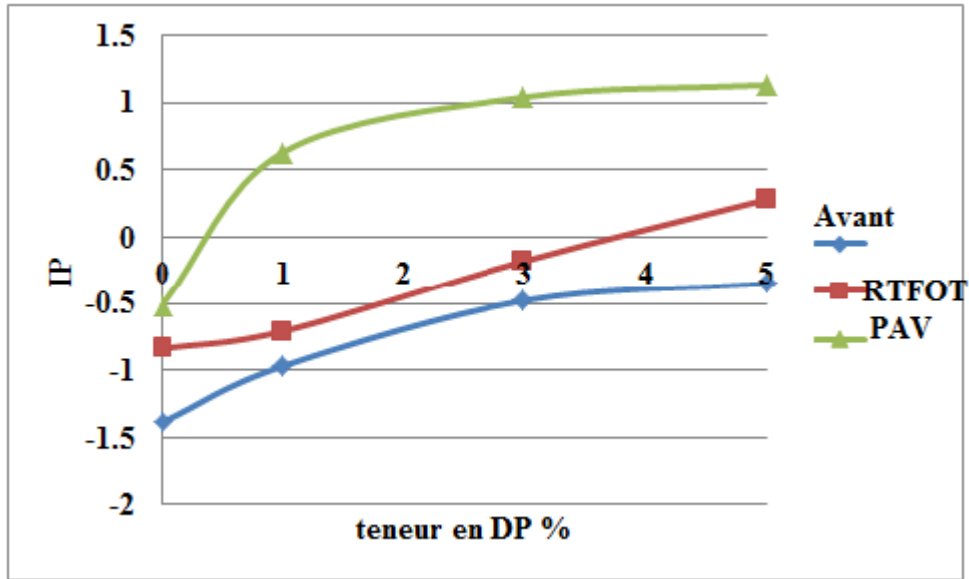
La différence entre la variation de TBA entre RTFOT et PAV est plus grande que celle entre Avant et après RTFOT, montrant que le processus de durcissement sur la TBA est plus important à long terme, lors de la mise en service de l'enrobé bitumineux.

### 5.2.3. Susceptibilité thermique

Les résultats de l'indice de pénétrabilité (IP) en fonction de la teneur en additif avant et après vieillissement des bitumes modifiés sont présentés dans la figure 5.03.

Les résultats de la figure 5.03 montrent que l'indice de pénétrabilité augmente après le vieillissement pour le bitume pur et les bitumes modifiés.

Comparativement au bitume pur, l'indice de pénétrabilité augmente considérablement après RTFOT et après PAV pour les bitumes modifiés. L'augmentation de l'IP après RTFOT et après PAV montre que les bitumes modifiés sont moins susceptibles à la variation thermique, ce qui indique que les bitumes modifiés présentent une meilleure résistance au vieillissement, à court et à long terme.



**Figure 5.03:** Indice de pénétrabilité des bitumes modifiés en fonction De la teneur en DP avant et après vieillissement

### 5.3. Conclusion

Le durcissement de bitume de base et des bitumes modifiés, ont été étudiés dans ce chapitre en utilisant les propriétés physiques des liants avant et après vieillissement.

Les résultats montrent que la dureté du bitume est plus remarquable après le vieillissement, expliquée par la variation importante des valeurs de pénétrabilité, du point de ramollissement. Cependant, cette variation diminue pour les liants modifiés.

Pour tous les bitumes testés, l'effet du vieillissement à long terme et à court terme sont différents. L'influence de vieillissement après PAV est très importante par rapport à celle de vieillissement après RTFOT.

L'augmentation de l'indice de pénétrabilité IP du bitume après vieillissement a pour conséquence la diminution de la susceptibilité thermique du bitume, ce qui montre que le vieillissement réduit la susceptibilité thermique des bitumes.

---

## *Conclusion générale*

---

La plupart des chaussées contenant du bitume conventionnel souffre du problème de durabilité en raison de la mauvaise performance des matériaux de revêtement et la croissance sans cesse du trafic, conjuguée aux conditions climatiques agressives.

Le mélange bitumineux doit être suffisamment flexible à basse température de service pour éviter la fissuration de la chaussée et être suffisamment rigide à haute température de service pour éviter l'orniérage.

Dans ce memoire nous nous sommes intéressés à la modification du bitume de classe 35/50 commercialisé en Algérie par l'ajout d'un déchet plastique. L'objectif de cette étude est d'étudier la possibilité de recycler ce déchet non biodégradable en technique routière.

Les propriétés des bitumes avant et après le vieillissement ont été mesurées par des méthodes conventionnelles (Pénétrabilité, température Bille et Anneau et la susceptibilité thermique). Les bitumes purs et modifiés ont tous été soumis à un processus de vieillissement à court et à long terme en utilisant l'essai RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) et l'essai PAV (Pressure Ageing Vessel).

A la lumière des résultats exposés dans ce travail, les différentes conclusions suivantes peuvent être tirées :

### **I -Avant le vieillissement**

1. Les résultats d'analyses classiques ont montré que la modification du bitume par l'ajout de déchet plastique modifie les propriétés des bitumes. Le bitume modifié est plus dur que le bitume pur. En effet, la pénétrabilité des bitumes diminue par contre le point de ramollissement augmente avec l'ajout des polymères.
2. Les résultats expérimentaux montrent que les bitumes modifiés, par leur susceptibilité thermique moindre, présentent de bien meilleures performances que les bitumes conventionnels.
3. La stabilité au stockage des bitumes modifiés est fortement influencée par la teneur en polymère. L'instabilité du BmP-DP peut être provoquée par l'augmentation de la quantité d'asphaltènes et la formation d'agglomérats a conduit à une séparation de phase.

### **II Après le vieillissement**

1. L'effet du vieillissement sur les caractéristiques physiques des bitumes est significative, cet effet est différent entre les bitumes modifiés et le bitume de base.
2. Après le vieillissement, les bitumes modifiés restent les moins susceptibles thermiquement par rapport au bitume de base.
3. L'effet du vieillissement à long terme et à court terme sont différents. L'influence de vieillissement après PAV est très importante par rapport à celle de vieillissement après RTFOT.

---

---

# *Références bibliographiques*

---

---

---

**Bibliographie**

- [1] M. Ould-henia. « Modélisation et prédiction du comportement rhéologique des mélanges bitume caoutchouc », Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, (2005).
- [2] Shell bitumes. « Bitumes techniques et utilisations », (1991)
- [3] P. Harshad., P. J. Gundaliya. « Review on effect of aging on paving grade bitumen using different filler material ». International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol. 4, Issue 3, (March 2014).
- [4] H. Zhang., J. Yu., D. Kuan. « Effect of expanded vermiculite on aging properties of bitumen ». Construction and Building Materials, Vol.26, pp. 244-248, (2012).
- [5] KEBAÏLI Nabil, "L'asphalte caoutchouc valorisation de la poudrette de caoutchouc en domaine routier", Thèse de doctorat, Faculté science appliquées, ourgla, 2017.
- [6] Groupement professionnel des bitumes, "le bitume qu'est-ce que c'est ? « Genèse, constitution et caractéristiques du bitume », Bitume infos, N° special-1", juin 2005.
- [7] Emmanuel Chailleux, " La structure chimique des bitumes pétroliers", l'actualité chimique, mai 2014 - n° 385.
- [8] JIDOUMOU MOHAMED MAHMOUD, BIZIMANA BELIEVE, " Elaboration et caractérisation du bitume algérien 40/50 modifié par divers polymères", Thèse de master, Faculté des Sciences et de la Technologie, Tissemsilt, 2022.
- [9] FETHIZA ALI Boubaker, " Contribution à l'Étude du Comportement des Bitumes Modifiés par l'Association du NBR et de Déchets Plastiques", Thèse de doctorat, Faculté de génie civil, houari boumediene, 2021.
- [10] eurobitume, " EN 14769 : Bitumes et liants bitumineux - Vieillissement long-terme accéléré réalisé dans un récipient de vieillissement sous pression (PAV)".
- [11] Alexandre ROGEAUX, "Impact du vieillissement par oxydation sur les caractéristiques rhéologique et chimique de deux bitumes de même grade de performance et d'origine pétrolière différente", Thèse de doctorat, ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE, QUÉBEC, 2017.
- [12] AFECHKAR Mohamed, " VIEILLISSEMENT DES BITUMES ET EFFET SUR LES PERFORMANCES DES ENROBES BITUMINEUX", Chef de Service Recherche / CNER – DRCR.

- [13] Nabila BELLAOUAR, Messaouda MEDDAH," Etude sur les Caractéristiques Physico-chimique du Bitume Modifié par Polymère (SBS)",Thèse de master, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Ghardaïa,2019.
- [14] OURARI Linda, DJANATI Sara," Etude comparative des procédés de modification du bitume routier algérien 40/50 par des déchets polymériques",Thèse de master, Faculté des Sciences, Université de DE M'HAMED BOUGUARA,2017.
- [15]MOKHTAR DJAMILA," VALORISATION DU BITUME ALGERIEN",Thèse de magister, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Abdelhamid Ibn Badis,2012.
- [16] KEMASSI Nassima," Bitume Hautement Modifiés par Polymère (HiMA): Influence des polymères sur la viscosité des liants –Etude de cas : D0234",Thèse de master, Faculté des Sciences Appliquées, ourgla,2019.
- [17] Luc De Bock, Alexandra Destrée, et d'autres" Recyclage des plastiques dans les enrobés – une analyse ",Centre de recherches routières, Bruxelles: CRR, 2020, 56 p. (Synthèse ; SF 50).
- [18] Mohammed LIZOUL," OBSERVATION D'UN BITUME MODIFIE SOUS MICROSCOPE A EPI-FLUORESCENCE", Centre d'Etudes et de Recherches des Infrastructures de Transport], [Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes], [Maroc].
- [19] eurobitume," FORCE\_DUCTILITE EN 13589: Bitumes et liants bitumineux – Détermination des caractéristiques de traction des bitumes modifi és par la méthode de force ductilité".
- [20] BOUNAADJA ZOULIKHA," Amélioration des caractéristiques du béton bitumineux employé pour l'étanchéité des barrages en remblai par les polymères et le filler",Thèse doctorat, Faculté des sciences de l'ingénieur, UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR, ANNABA,2019.
- [21] Boudlal Omar, Kechemir Anissa, Khattaoui Mohammed," Valorisation d'un mélange de schiste et de déchets plastiques dans la construction routière" AJCE-special Issue, volume36
- [22] Omar BOUDLAL , Leticia OUALI"VALORISATION D'UN MELANGE DE MARNE ET DE DECHETS PLASTIQUES DANS LA CONSTRUCTION ROUTIERE",Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur – Champs-sur-Marne 2018.

- [23] Dakhli Sami, “Étude de l’influence de la variation de la fréquence sur le comportement rhéologique des bitumes purs et des bitumes modifiés polymères EVA et SEBS,” Thèse de doctorant en 3 cycle, USTHB, Alger, 2015
- [24] Sengoz Burak and Isikyakar Giray, “Evaluation of the properties and microstructure of SBS and EVA polymer modified bitumen,” *Constr. Build. Mater.*, no. 22(9), 1897-1905., 2008, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.07.013.
- [25] Krzysztof Formela and Michał Sulkowski, “Assessment of microstructure, physical and thermal properties of bitumen modified with LDPE/GTR/elastomer ternary blends.” *Construction and Building Materials.*, no.106 160–167, 2016. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.108
- [26] Tony McNally, *Polymer modified bitumen properties and characterization.* Woodhead Publishing Limited, 2011.