

# RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA  
FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL ET HYDRAULIQUE

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

PRESENTÉ POUR OBTENIR LE DIPLOME DE MASTER ACADÉMIQUE

SPÉCIALITÉ : Travaux Publics

OPTION : Voies et Ouvrages d'Art

### Thème :

Etude des caractéristiques d'un bitume pur modifié par PVC

Soutenu le : 29 / 06 / 2019

Réalisé par:

- IBEK Yahia
- LITIEM Lamine

### Devant le jury composé de:

BENTATA Aissa	MAA	UKMO	Président
BOUAKA Wafa	Doctorante	UKMO	Examinatrice
KEBAILI Nabil	MCB	UKMO	Encadreur
BOUCHERBA Mohamed	Doctorant	LTPS	Co-encadreur

Année universitaire : 2018/2019





# REMERSIEMENTS :

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude, et de mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à remercier Monsieur : N. Kebaili qui nous a fait confiance d'accepter de nous encadrer. Nous lui sommes très reconnaissants de l'opportunité apportée par ses notes pertinentes et son esprit de synthèse nous ont permis d'avoir un autre voyant du problème. Nous le remercions pour son intérêt et suivis permanent. Nous pensons que nous avons beaucoup appris de lui. Nous aimerions également la saluer, Mais aussi sa compréhension et son soutien dans les moments difficiles.

Nous aimerions également retrouver Monsieur M. Boucherba dans nos meilleures salutations. Nous lui sommes reconnaissants pour son soutien, ses conseils, son dévouement et son engagement scientifique. Ses remarques importantes nous ont permis de terminer ce travail.

Nous sommes également heureux d'exprimer notre gratitude à la présidence : Bentata Aissa, Bouaka Wafa qui nous ont fait l'honneur d'accepter d'examiner et d'enrichir ce travail par leurs remarques et suggestions.

Nous remercions également Monsieur: B. Blaour de LTPS de Ghardaïa pour votre aide et de l'accompagnement dans nos travaux et de nous recevoir au sein du laboratoire malgré ses tâches et le manque de temps.

Nous souhaitons également remercier chef de service des matériaux LTPS Ouargla Monsieur Koraichi, qui nous a aidés à bien mener ce travail.

Les remerciements vont également à l'informateur de la Fondation Naftal Touggourt, Monsieur Belarbi, ainsi qu'aux travailleurs et membres de l'entreprise « Mourdjén » à Touggourt

Nous remercions également tous ceux qui nous ont soutenus tout au long de la rédaction de ce mémoire et a contribué de près ou de loin à créer l'atmosphère de recherche et de préparation de ce travail.



## Dédicaces :

À la lumière qui brille mon chemin et à la lampe qui ne s'éteint jamais, à mon père la miséricorde de Dieu soit sur lui

À qui le paradis se trouve sous ses pieds et m'a inondé d'amour et d'affection, ma mère prolonger Dieu de son vivant

À mes frères : Économisez-leur la miséricorde.

À tous mes parents

À tous mes professeurs et collègues

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à accomplir ce mémoire

Je dédie ce modeste travail

Yahia I.





# *Dédicace :*

**Je dédie cet humble travail à :**

**Ma mère bien-aimée, qui m'a toujours  
invité à mes études.**

**Mon père, qui souhaitait fournir autant  
de widgets que possible.**

**Membres de la famille.**

**Mes proches, mes amis et tous ceux qui  
me connaissent.**

**Lamine L.**

## ملخص:

الظروف المناخية السائدة في جنوب الجزائر لها تأثير سلبي على البنية الهيكلية للطرق إذ تسبب اضطرابات كبيرة كالتشققات الطولية منها والعرضية وكذا ظهور هبوطات في الطبقات السطحية، كما أن الزفت المستخدم في تكوين الخرسانة الإسفلتية حساس لدرجات حرارة الصيف المرتفعة والتباين اليومي في درجة الحرارة.

يهدف هذا العمل إلى معرفة تأثير متعدد كلوريد الفينيل المستعمل في صناعة الأنابيب البلاستيكية على سلوك الزفت النقي وهذا من خلال إجراء بعض من التجارب والتي تتمثل في الاختراق، TBA، Force ductilité، وكذا تأثير هذا الزفت المعدل بمتعدد كلوريد الفينيل على الخلطة الإسفلتية من خلال إجراء اختبارات كل من مارشال، densité، إذ يتم إجراء هذه الاختبارات على عينات مختلفة بحيث تحدد نسب التعديل الخاصة لكل عينة.

وبالاعتماد على النتائج المتحصل عليها قبل إضافة متعدد كلوريد الفينيل ومقارنتها بالنتائج المتحصل عليها بعد إضافته في كل تجربة يتم تحديد طبيعة سلوك الزفت، واستخلاص نسبة التعديل المثلى لهاته المادة.

**الكلمات المفتاحية :** الزفت الخام، متعدد كلوريد الفينيل، سلوك الزفت، نسبة التعديل، تجربة الاختراق.

## Abstract:

The climatic conditions prevailing in southern Algeria have a negative impact on the road structure, causing major disturbances such as longitudinal and transverse cracks, as well as depressions in the superficial layers. The bitumen used in the formation of bituminous concrete is sensitive at high summer temperatures and daily temperature changes.

The purpose of this work is to know the effect of polyvinyl chloride (PVC) on the behavior of pure bitumen by performing some experiments, such as penetration, TBA, ductility strength, as well as the effect of this modified bitumen on the asphalt mix by means of tests: Marshal, density, since these tests are performed on different samples to determine the specific adjustment ratios for each sample.

On the basis of the results obtained before the addition of PVC and compared with the results obtained after the addition of each experiment, the nature of the behavior of the bitumen is determined and the percentage of acceptable modification determined.

**Key words:** pure bitumen, PVC, bitumen behavior, percentage of change, penetration test.

## Résumé :

Les conditions climatiques prévalant dans le sud algérien ont un impact négatif sur la structure des routes, provoquant des perturbations majeures telles que des fissures longitudinales et transversales, ainsi que des dépressions dans les couches superficielles, Le bitume utilisé dans la formation de béton bitumineux est sensible aux températures estivales élevées et aux variations de température journalières.

Le but de ce travail est de connaître l'effet du polychlorure de vinyle (PVC) sur le comportement du bitume pur en effectuant certaines expériences, telles que la pénétration, le TBA, la force de ductilité, ainsi que l'effet de ce bitume modifié sur le mélange d'asphalte au moyen de tests. De marshal, densité, puisque ces tests sont effectués sur différents échantillons pour déterminer les ratios d'ajustement spécifiques pour chaque échantillon.

Sur la base des résultats obtenus avant l'addition de PVC et comparés aux résultats obtenus après l'addition de chaque expérience, la nature du comportement du bitume est déterminée et le pourcentage de modification acceptable déterminé.

**Mots clé :** bitume pur, PVC, comportement de bitume, pourcentage de modification, essai de pénétrabilité.

## SOMMAIRE

Remerciements.....	I
Dédicaces .....	II
Résumé .....	IV
Sommaire .....	V
Liste des tableaux .....	VIII
Liste des figures .....	IX
Liste des photos .....	X
Liste des abréviations et symboles .....	XI
INTRODUCTION GENERALE.....	01

### PARTIE I : PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

#### CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LES BITUMES

1. Introduction .....	03
2. Définition .....	03
3. Provenance du bitume .....	03
4. Compositions et caractérisation chimique .....	04
4.1. Composition .....	04
4.2. Caractérisation chimique des quatre grandes familles de constituants du bitume .....	05
5. Les différents types de bitume .....	07
6. Les classes du bitume .....	08
7. Les essais du bitume .....	08
7.1. Essai de densité (EN 15326) .....	08
7.2. Essai de viscosité (EN 12846) .....	09
7.3. Essai de vieillissement (EN 12607-1) .....	10
7.4. Essai de point d'éclair et de feu (EN 22592) .....	11
7.5. Essai de la perte de masse au chauffage TFOT (EN 13303 EN 12607-2) .....	12
8. Conclusion .....	13

#### CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉS SUR LES POLYMÈRES

1. Introduction .....	14
2. Les polymères .....	14
2.1. Définitions .....	14
2.2. Les monomères .....	15
3. Polymérisation .....	15
3.1. Méthodes de polymérisations .....	16
4. Différents types de polymères .....	16
4.1. Classification selon l'origine .....	16
4.2. Classification Selon la structure chimique .....	17
4.3. Classification selon le comportement thermique .....	18
4.4. Classification selon le comportement physique .....	19
5. Propriétés générales des polymères .....	20
5.1. Propriétés thermiques .....	20
6. Applications des polymères .....	20
7. Les essais du polymère .....	21

7.1. Essai Mécanique .....	21
7.2. Essai thermique .....	22
8. Conclusion .....	25

### **CHAPITRE III : GÉNÉRALITÉ SUR BETON BITUMINEUX MODIFIER**

1. Introduction .....	26
2. Béton bitumineux modifié par les déchets plastiques (PEHD) .....	26
2.1. Résultats .....	26
2.2. Recommandations .....	27
3. Béton bitumineux modifié par Caoutchouc .....	27
3.1. Résultats .....	27
3.2. Perspectives .....	28
4. Béton bitumineux modifié en déchets plastiques (PEBD) .....	28
4.1. Résultats .....	29
4.2. Recommandations .....	30
5. Béton bitumineux modifié par SBS et polyéthylène .....	30
5.1. Résultats .....	31
5.2. Recommandations .....	31
6. Béton bitumineux modifié par PVC et polyéthylène .....	32
6.1. Résultats .....	32
6.2. Recommandations .....	32
7. Conclusion .....	33

## **PARTIE II : PARTIE EXPERIMENTALE**

### **CHAPITRE IV : MATÉRIAUX UTILISÉS**

1. Introduction .....	34
2. Le Liant utilisé .....	34
2.1. Définition .....	34
2.2. Présentation de l'entreprise NAFTAL .....	34
2.3. Caractéristiques de bitume 40/50 .....	35
3. Le polymère utilisé .....	35
3.1. Définition .....	35
3.2. Composition de PVC .....	36
3.3. Fabrication de la matière PVC .....	36
4. Les granulats .....	37
4.1. Définition .....	37
4.2. Processus de préparation des nos granulats .....	37
5. Filler .....	38
5.1. Définition .....	38
6. Les essais de granulats .....	38
6.1. Analyses granulométrique .....	38
6.2. Essai propriété (P) .....	39
6.3. Essai d'aplatissement .....	39
6.4. Essai los angeles .....	39
6.5. Essai Micro deval .....	39
6.6. Essai friabilité des sable .....	40
6.7. Essai équivalent des sable .....	40

6.8. Essai au bleu de méthylène .....	40
6.9. Masse volumique .....	41
7. Conclusion .....	41

## **CHAPITRE V : RÉSULTATS ET DISCUSSION**

1. Introduction .....	42
2. Bitume modifié .....	42
2.1. Préparation des échantillons de bitume modifié .....	42
2.2. Influence de PVC sur la pénétrabilité .....	43
2.3. Influence de PVC sur la TBA .....	45
2.4. Influence de PVC sur la force ductilité .....	47
3. Béton bitumineux modifié .....	51
3.1. Préparation des échantillons Marshall modifiés .....	51
3.2. Influence de bitume modifié sur marchal .....	53
3.3. Influence de bitume modifié sur la masse volumique apparente .....	55
4. Synthèse générale .....	57
5. Conclusion .....	57

<b>CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>58</b>
---	-----------

Références bibliographiques

Annexes

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau (I.1) : Motifs hydrocarbonés composant la molécule de bitume .....	04
Tableau (I.2) : Classification des bitumes selon la pénétrabilité et TBA .....	08
Tableau (II.1) : Modélisation pour les 03 type d'homopolymères .....	18
Tableau (III.1) : Formulation de béton bitumineux témoins par la méthode Marshall .....	26
Tableau (III.2) : Valeurs de stabilité et fluage en termes de pourcentage de PEHD .....	26
Tableau (III.3) : Caractéristiques physico-mécaniques de bitume et l'enrobé modifié .....	27
Tableau (III.4) : Performances mécaniques des mélanges .....	29
Tableau (III.5) : Caractéristiques physico-mécaniques d'enrobé modifié par PE et SBS .....	31
Tableau (III.6) : Caractéristiques marshall des mélanges à la teneur optimale .....	32
Tableau (IV.1) : Les caractéristiques de bitume pur classe 40/50 .....	35
Tableau (IV.2) : Résultats obtenus d'analyse granulométrique .....	38
Tableau (IV.3) : Résultats obtenus de propriété .....	39
Tableau (IV.4) : Résultats obtenus d'aplatissement .....	39
Tableau (IV.5) : Résultats obtenus de los angeles.....	39
Tableau (IV.6) : Résultats obtenus de micro-deval .....	40
Tableau (IV.7) : Résultats obtenus de friabilité de sable .....	40
Tableau (IV.8) : Résultats obtenus d'équivalent de sable .....	40
Tableau (IV.9) : Résultats obtenus au bleu de méthylène .....	41
Tableau (IV.10) : Résultats obtenus de masse volumique absolue .....	41
Tableau (IV.11) : Résultats obtenus de masse volumique apparente .....	41
Tableau (V.1) : Variation de la pénétration en fonction de la teneur en PVC .....	44
Tableau (V.2) : Influence de la teneur en PVC sur la TBA .....	46
Tableau (V.3) : Force de ductilité en fonction de l'allongement (0.5%) .....	48
Tableau (V.4) : Force de ductilité en fonction de l'allongement (1,0%) .....	49
Tableau (V.5) : Force de ductilité en fonction de l'allongement (1.5%) .....	49
Tableau (V.6) : Force de ductilité en fonction de l'allongement (2%) .....	50
Tableau (V.7) : Stabilités Marshall pour BB normal et modifié .....	54
Tableau (V.8) : Fluage du BB normal et modifié .....	54
Tableau (V.9) : Masse volumique apparente pour BB normal et BB modifié .....	56

## LISTE DES FIGURES

Figure (I.1) : Exemple de structures pour la fraction saturée des bitumes .....	05
Figure (I.2) : Exemple de structures pour la fraction aromatique des bitumes .....	05
Figure (I.3) : Exemple de structures pour la fraction des résines des bitumes .....	06
Figure (I.4) : Structure hypothétique des asphaltènes des bitumes .....	06
Figure (I.5) : Définition des fractions SARA d'un bitume .....	07
Figure (I.6) : Pycnomètre + bitume .....	09
Figure (I.7) : Appareil de l'essai point d'éclair et de feu .....	11
Figure (I.8) : Appareil de l'essai TFOT .....	12
Figure (II.1) : schéma de composant de polymère du polyéthylène .....	14
Figure (II.2) : Structure de glucose C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> .....	15
Figure (II.3) : Polymère naturel .....	17
Figure (II.4) : Polymère synthétique .....	17
Figure (II.5) : L'homopolymère et Le copolymère .....	18
Figure (II.6) : Thermoplastique et thermodurcissable .....	19
Figure (II.7) : Elastomère .....	19
Figure (II.8) : L'état amorphe et l'état cristallin .....	19
Figure (II.9) : L'état semi cristallin .....	20
Figure (II.10) : Machine de traction .....	21
Figure (II.11) : Balance et four d'essai ATG .....	22
Figure (II.12) : Appareillage de TGA .....	22
Figure (II.13) : Appareille de DSC .....	25
Figure (III.1) : Déchets plastiques (PEHD) .....	26
Figure (III.2) : Poudrette de caoutchouc .....	28
Figure (III.3) : Poudrette de PEBD .....	30
Figure (III.4) : Poudrette de SBS .....	31
Figure (III.5) : Poudrette de PE .....	31
Figure (III.6) : Poudrette de PVC .....	32
Figure (IV.1) : Bitume de classe 40/50 .....	34
Figure (IV.2) : Logo de l'entreprise Naftal .....	34
Figure (IV.3) : Corrélacion des composants du PVC .....	35
Figure (IV.4) : Poudrette de PVC .....	35
Figure (IV.5) : Modélisation de la phase de formation du PVC à partir de monomère .....	36
Figure (IV.6) : Schéma illustratif du processus de fabrication du PVC .....	37
Figure (V.1) : La courbe d'évolution des valeurs de pénétration en termes de quantité de PVC ....	44
Figure (V.2) : Courbe de changement de température en termes de valeurs de PVC .....	46
Figure (V.3) : Courbe de changement de force de cohérence en termes d'élongation (0.5%) .....	48
Figure (V.4) : Courbe de changement de force de cohérence en termes d'élongation (1%) .....	49
Figure (V.5) : Courbe de changement de force de cohérence en termes d'élongation (1.5%) .....	50
Figure (V.6) : Courbe de changement de force de cohérence en termes d'élongation (2%) .....	50
Figure (V.7) : Cercle relatif montrant la distribution la formulation .....	52
Figure (V.8) : Les colonnes graphiques montrent les valeurs de stabilité pour BB normal et modifié .....	54
Figure (V.9) : Les colonnes graphiques montrent les valeurs de fluage pour BB normal et modifié .....	55
Figure (V.10) : Les colonnes graphiques montrent les valeurs de masse volumique apparente pour BB normal et modifié .....	57

## LISTE DES PHOTOS

Photo (I.1) : Appareil de l'essai RTFOT (LTPS Ghardaïa) .....	11
Photo (IV.1) : Echantillon d'un granulat .....	37
Photo (IV.2) : Echantillon de filler .....	38
Photo (V.1) : Les étapes de préparation des échantillons .....	42
Photo (V.2) : Exemple de l'appareil de pénétrabilité + l'échantillon .....	43
Photo (V.3) : L'échantillon .....	44
Photo (V.4) : Echantillon dans le bain- marie .....	44
Photo (V.5) : Exemple de l'appareil de TBA + l'échantillon .....	45
Photo (V.6) : Remplissage des anneaux avec du bitume .....	46
Photo (V.7) : Échantillon dans le bain- marie .....	46
Photo (V.8) : Exemple de l'appareil de ductilité .....	47
Photo (V.9) : Les étapes d'essai .....	48
Photo (V.10) : Pesage des granulats et bitume .....	52
Photo (V.11) : Malaxage du mélange .....	52
Photo (V.12) : Pesage de l'échantillon .....	52
Photo (V.13) : Etuve de l'étude .....	54
Photo (V.14) : Echantillons Marshall dans le bain .....	54
Photo (V.15) : Les étapes d'essai .....	56

## LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES

PVC :	Polychlorure de vinyle.
TBA :	Température bille et anneau.
LTPS :	Laboratoire travaux public du sud.
SARA :	Satures, aromatiques, résines, asphaltènes.
EN :	Européen normes
RTFOT :	Rolling Thin Film Oven Test
TFOT :	Thin Film Oven Test
PEHD :	Polyéthylène haute densité
PEBD :	Polyéthylène basse densité
SBS :	Styrène, Butadiène, Styrène
PE :	Polyéthylène
TOT :	Total
NAF :	Naftal
F :	fine
G :	grossière
JETT :	Journal of Engineering Trends and Technology
MCV :	Monomère de chlorure de vinyle.
BB :	Béton bitumineux.
MVA :	Masse volumique apparente.

## INTRODUCTION GENERALE

Dans la plupart des pays du monde, le réseau routier constitue le patrimoine le plus important appartenant principalement à l'État. Chaque jour, plusieurs kilomètres de rues, routes, autoroutes et pistes d'aéroports sont construits pour accroître les échanges commerciaux et donner des régions dynamiques. Par conséquent, les autorités routières doivent construire et entretenir ces routes de manière approfondie, tout en améliorant la qualité des matières premières, tout en gérant avec soin les ressources financières et humaines qui doivent être utilisées pour atteindre ces objectifs.

Les ingénieurs routiers rencontrent de nombreux problèmes dans la conception des routes. Le plus important de ces problèmes est le manque de matériaux de construction de routes adéquats et efficaces. Cela nécessite la mise à niveau des matériaux locaux ou l'importation d'autres matériaux adaptés au site, ce qui augmente les coûts de construction.

Le processus de modification du bitume est défini comme un développement au niveau de la recherche et de l'application et avec les polymères et la différence de chacun d'eux, il est nécessaire de souligner et de mener une étude approfondie pour suivre la différence et le contraste de ces matériaux, étude repose sur une approche scientifique, pour des résultats pratiques.

Dans cette étude, nous avons examiné l'effet du polychlorure de vinyle, un matériau plastique original (non recyclé) sur le bitume pur (40/50), en mélangeant ces derniers avec PVC selon des pourcentages spécifiques et en effectuant une série des essais sur chaque échantillon (Pénétrabilité, TBA et Force ductilité) afin de déterminer l'effet de ce matériau sur les caractéristiques principales du bitume ainsi que la conclusion du pourcentage optimal dans l'ajustement qui était de 1,5%. Ce choix était bien sûr basé sur la comparaison des résultats des essais du bitume modifié. Les essais ont été menés conjointement avec le laboratoire de travaux publics du sud (LTPS) à Ghardaïa. En raison des bons résultats obtenus avec le bitume modifié, cette étude a étudié l'effet du bitume modifié sur les propriétés des enrobés bitumineux sur le pourcentage optimal, en utilisant deux essais (Marshal et Densité) pour déterminer l'évolution des propriétés des enrobés bitumineux modifiés, Où nous avons effectué ces essais au laboratoire de travaux publics du sud à Ouargla. Qu'ils soient liés à des bitumes modifiés ou à des mélanges bitumineux modifiés, ces essais restent le critère de classification de la qualité du bitume, les chercheurs des laboratoires s'appuyant sur eux pour étudier le comportement du bitume et en identifier les propriétés, ce qui permet de juger de la qualité et de la validité du bitume à utiliser de manière appropriée et conformément aux normes en vigueur.

Afin d'organiser cette recherche, nous l'avons divisée en deux parties :

Partie bibliographique est divisé en trois chapitres :

**Chapitre I** : Dans ce chapitre, nous avons discuté sur le bitume dans son ensemble et de sa définition, et avons mentionné ses composants et ses différents types, en plus de la classification et des tests.

**Chapitre II** : Nous avons consacré ce chapitre à la discussion sur le polymère, sur la définition du polymère, ses différents composants et types, ainsi que sur les domaines d'application et certains de ses tests.

**Chapitre III** : Nous avons abordé dans ce chapitre le discours sur le béton bitumineux modifié par chacun de PEHD, PEBD, SBS, Caoutchouc et PVC, en termes de résultats obtenus par autre chercheurs et leurs recommandations.

Partie expérimentale est divisée en deux chapitres :

**Chapitre IV** : Dans ce chapitre, nous avons fourni plus d'informations sur les matériaux utilisés dans cette recherche qui sont le bitume pur 40/50 de NAFTAL , le polymère de PVC et les granulats.

**Chapitre V** : Dans ce chapitre, nous avons adopté les résultats obtenus avec l'analyse, l'interprétation et la discussion sur l'effet du polymère utilisé à la fois dans le test de pénétration, point de ramollissement et force ductilité. L'effet du bitume modifié sur le béton bitumineux par d'essais de Marshall et masse volumique apparente par pesse hydrostatique, et la formulation de nos résultats dans cette recherche dans un résumé général.

*Partie I :*  
*Bibliographique*

***Chapitre I :***  
***Généralités sur les***  
***bitumes***

## 1. Introduction :

Nous avons étudié dans ce chapitre la chose la plus importante liée à matériau modifié qui est représenté de bitume afin d'améliorer ses propriétés limitées. Le chapitre incluait cinq éléments principaux de la définition du bitume et un bref aperçu de son origine. Nous avons ensuite perdu sa structure et ses propriétés chimiques, car nous avons discuté des différents types de bitume naturel et modifié et composé, le bitume ainsi que des essais laboratoire qui déterminent les caractéristiques les plus importantes et la qualité de ce matériau.

## 2. Définition :

Le bitume est un sous-produit d'hydrocarbures lourds, résidu noir de pétrole brut obtenu soit par distillation naturelle, soit par distillation en raffinerie. Les bitumes de distillation directe sont utilisés pour la confection d'enrobés à chaud. [1]

Le bitume est un matériau léger, ductile et souple doté de bonnes propriétés d'adhérence, de plasticité, d'élasticité. Il est très peu réactif, insoluble dans l'eau, inerte à de nombreux agents chimiques, comme il est soluble dans de nombreux solvants organiques. [1]

## 3. Provenance du bitume :

Selon l'origine du bitume routier, on distingue trois types de provenance, il s'agit de ;

- **Bitume pur** : Il est obtenu par raffinage de bruts pétroliers et ne comporte aucun ajout. D'après son mode de fabrication, on peut obtenir un bitume dont la consistance est variable. Les conditions climatiques et le type de projet déterminent le choix du type approprié. On distingue ainsi plusieurs types de bitume allant du plus dur au plus mou identifiés par les classes : 20/30, 40/50, 80/100, ... [1]
- **Bitume naturel** : Le bitume existe à l'état naturel sous forme de résidu d'anciens gisements de pétrole dont les éléments les plus légers ont été éliminés au cours du temps par une sorte de distillation naturelle. Les gisements de bitume naturel se présentent soit comme de véritables lacs ou sous forme de filons en sous-sol. Le plus connu des bitumes naturels est le bitume de Trinidad qui relève du premier type de gisement. [1]

Les bitumes naturels ne sont guère utilisés que comme ajouts pour certaines utilisations particulières, compte tenu de leurs caractéristiques spécifiques ; aptitude à être colorés, effet stabilisateur pour les asphaltes coulés... [1]

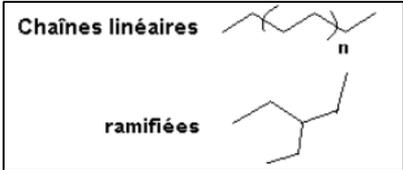
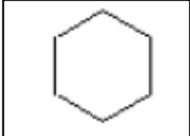
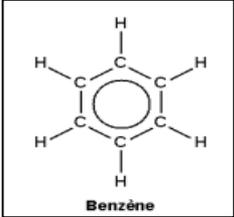
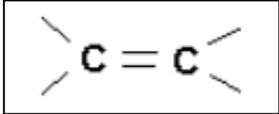
- **Asphalte naturel** : L'asphalte naturel est constitué par une roche calcaire imprégnée d'hydrocarbures lourds (jusqu'à 20%). L'asphalte naturel entre traditionnellement dans la composition de l'asphalte coulé. Il peut également être utilisé comme appoint dans les enrobés auxquels il apporte du liant et des fines. [1]

#### 4. Composition et caractérisation chimique :

##### 4.1.Composition :

L'analyse élémentaire d'un bitume met en évidence des atomes de carbone (80 à 87% en masse) et d'hydrogène (8 à 12%). En outre, des hétéroatomes tels que le soufre (1-9%), l'azote (0 à 1,5%) et l'oxygène (0,5 à 1,5%) sont présents. On trouve également dans les bitumes des métaux (essentiellement vanadium (10-2000ppm) ou nickel (20-200ppm) mais aussi aluminium, silicium, chrome, cuivre, zinc, plomb, ...) à l'état de traces. La composition élémentaire d'un bitume dépend essentiellement de l'origine de son brut et d'une manière moindre, des techniques de raffinage. Le bitume est un mélange de composés hydrocarbonés de masses molaires et de structures chimiques variées, appartenant en majorité aux groupes aliphatiques et naphténiques. Les molécules des composés des bitumes sont constituées de motifs hydrocarbonés de quatre types : [2]

**Tableau (I.1) :** Motifs hydrocarbonés composant la molécule de bitume. [1]

Paraffiniques saturés linéaires ou ramifiés (chaines linéaires sans cycle)	
Naphténiques saturés cycliques (cycles à liaisons simples)	
Aromatiques : présence d'au moins un cycle avec doubles liaisons de type benzène	
Oléfines : chaîne contenant une ou plusieurs doubles liaisons	

Toutefois, rares sont les molécules constituées d'un seul de ces motifs. Ainsi il est possible de trouver des molécules constituées de cycles aromatiques et/ou naphténiques sur lesquels sont greffées des chaînes saturées plus ou moins longues et ramifiées. [2]

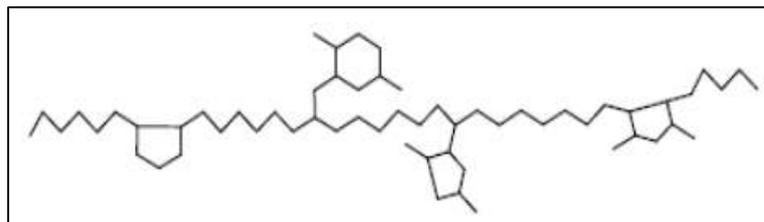
#### 4.2. Caractérisation chimique des quatre grandes familles de constituants du bitume :

La diversité et le grand nombre de molécules présentes dans les bitumes rendent la détermination exacte de leur composition délicate à déterminer. Aussi, pour décrire globalement les divers constituants des bitumes, une approche « réductionniste » fondée sur la caractérisation chimique des « fractions » de bitumes a été développée. La stratégie consiste à séparer (extraction par des solvants, séparations chromatographiques, ...) les constituants du bitume en « fractions » plus ou moins irréductibles, puis à les étudier séparément pour ensuite remonter aux propriétés observées. Cette approche comporte néanmoins des limites car la réactivité d'un système est toujours différente de la somme des réactivités des éléments qui le composent. [2]

En suivant ce concept de fractionnement, l'identification chimique d'un bitume passe donc par la détermination qualitative et quantitative de ses constituants principaux que l'on peut regrouper en deux groupes génériques séparables : [2]

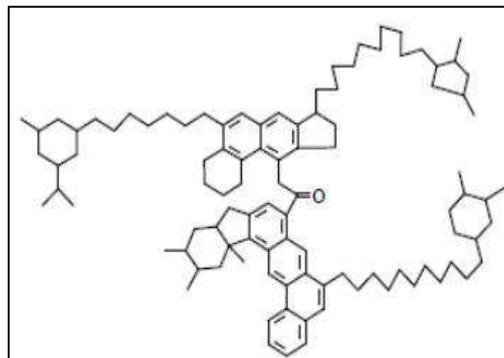
Le premier groupe constitue les Maltènes et rassemble trois familles citées ci-dessous (saturés, aromatiques et résines) : [2]

- ✓ **Les saturés** : ce sont des huiles incolores ou légèrement jaunâtres composées principalement de molécules paraffiniques et de cycles naphthéniques. Elles représentent généralement moins de 10% d'un bitume. Leur masse moléculaire est de 300 à 2000 g/mole. [2]



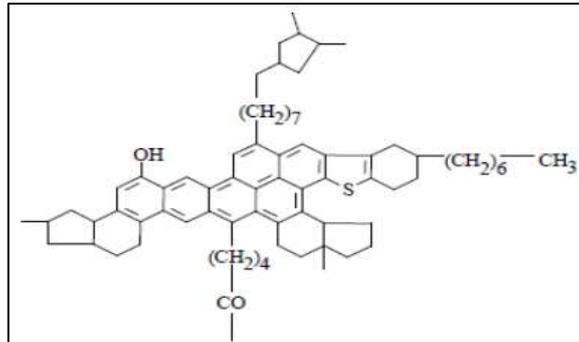
**Figure (I.1)** : Exemple de structures pour la fraction saturée des bitumes [2]

- ✓ **Les aromatiques** : ce sont des huiles visqueuses de couleur rouge-brun sombre, avec 30% de leurs atomes de carbone inclus dans des cycles aromatiques. Elles représentent 50 à 70% de la composition d'un bitume. Leur masse moléculaire est du même ordre que celle des saturés. [2]



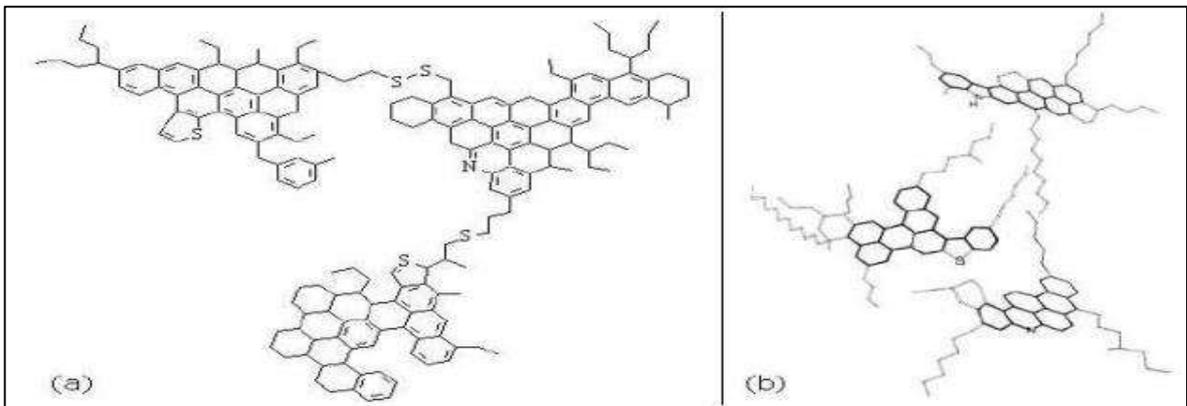
**Figure (I.2)** : Exemple de structures pour la fraction aromatique des bitumes [2]

- ✓ **Les résines** : Ce sont des solides noirs qui fondent par chauffage et représentent environ 10% d'un bitume routier. Elles sont caractérisées par de nombreuses ramifications, ce sont des systèmes condensés de cycles aromatiques, naphténiques 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 50000 g.mol<sup>-1</sup>. Leur taille est comprise entre 1 et 5 nm. [2]



**Figure (I.3)** : Exemple de structures pour la fraction des résines des bitumes [2]

- ✓ **Les asphaltènes** : constituent le deuxième groupe ils sont définis comme les solides qui précipitent dans un pétrole brut ou un bitume après addition d'un solvant tel que l'heptane ou le pentane. Ils représentent généralement entre 5 et 30 % du bitume. Ce sont des composés à structure condensée, cyclique et aromatique. [2]

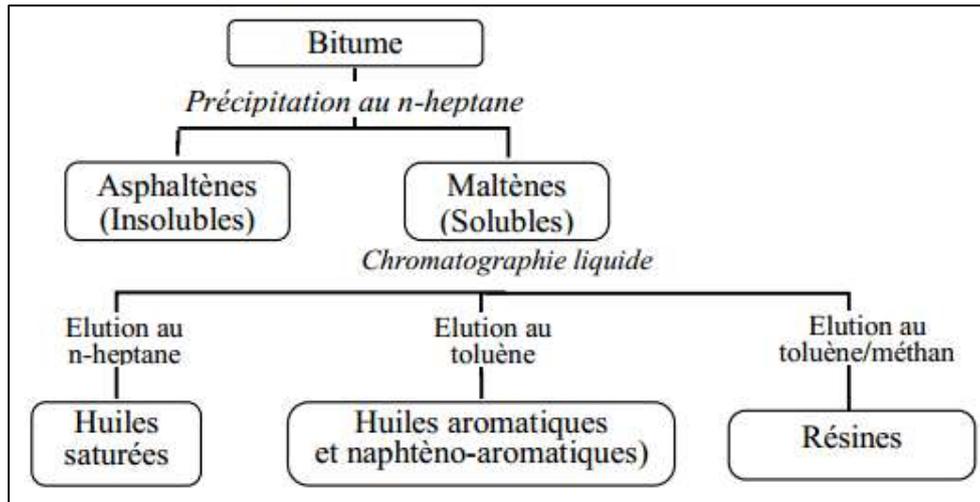


**Figure (I.4)** : Structure hypothétique des asphaltènes des bitumes [2]

Le rapport carbone/ hydrogène (C/H) est souvent supérieur à 0,8 et la proportion des hétéroatomes est importante (jusqu'à 10%). Ils se présentent sous forme de solides noirs, cassants et brillants, et représentent la fraction de plus haut poids moléculaire (1000 à 100 000 g.mol<sup>-1</sup> dans la majorité des cas) et la plus aromatique du bitume. Leur taille varie de 5 à 30nm. [2]

Ces deux groupes rassemblent les quatre grandes familles de constituants du bitume qui sont séparées par leur différence de solubilité dans les solvants organiques : les asphaltènes précipitent dans le n-heptane, alors que les maltènes y sont solubles. Ces derniers sont ensuite séparés par Chromatographie Liquide à Haute Performance sur gel d'alumine. Trois fractions génériques sont ainsi obtenues (saturés, aromatiques et résines), en fonction

de leur solubilité dans des solvants de polarité et aromaticité croissante : n-heptane, toluène, et un mélange toluène/méthanol 50/50. [2]



**Figure (I.5) :** Définition des fractions SARA d'un bitume. [1]

Toutefois, en fonction des conditions expérimentales choisies (température à laquelle est effectuée la séparation, choix de la phase stationnaire), le taux et la nature des différentes familles ne sont pas les mêmes. [2]

Aussi, les séparations entre les fractions génériques SARA (Saturés, Aromatiques, Résines, Asphaltènes) du bitume dépendent des limites opérationnelles, c'est-à-dire de la solubilité dans des solvants différents, et il n'y a donc pas de distinction claire entre les composés de ces fractions. Les quatre fractions génériques du bitume sont donc considérées comme ne présentant pas de discontinuité entre elles (théorie du continuum). Le bitume doit être considéré comme un continuum chimique avec une augmentation progressive de la masse molaire, du degré d'aromaticité et de polarité, des saturés aux asphaltènes. Il est à noter que les proportions des différentes familles dépendent également de l'origine, du mode de fabrication et du grade du bitume étudié. [2]

Une fois la composition chimique du bitume connue, il est tout aussi impératif de savoir apprécier la façon dont ces molécules vont s'associer pour former un édifice spatial tridimensionnel qui donne au bitume ses propriétés physiques et rhéologiques. [2]

## 5. Les différents types :

Le bitume utilisé dans les enrobés confère des propriétés viscoélastiques aux revêtements de chaussées. Un bitume ayant les caractéristiques appropriées assure des performances élevées sur le plan de la résistance à l'orniérage, à la fissuration thermique, à la fissuration de fatigue et à l'arrachement ; ces caractéristiques contribuent à la réalisation de revêtements sécuritaires, durables et économiques. [3]

Les types suivants de liants à base de bitume sont : [3]

- **Les bitumes naturels :** qui existent à l'état naturel sous forme d'anciens gisements de pétrole.

- **Les bitumes purs** : qui sont directement issus du raffinage du pétrole.
- **Les cut-backs** : qui sont des bitumes mélangés avec un solvant plus ou moins volatil d'origine pétrolière, généralement une coupe kérosène de qualité non commerciale. La viscosité de ces produits se trouve ainsi abaissée, permettant une mise en œuvre à de faible température.
- **Les bitumes fluxés** : qui sont des bitumes mélangés avec une huile de faible viscosité. Ces liants sont souvent plus visqueux que les bitumes fluidifiés.
- **Les bitumes composés** : qui sont des mélanges bitume-goudron ou bitume-brai de houille dans lesquels le bitume est majoritaire.
- **Les bitumes modifiés** : qui sont des bitumes additionnés de substances d'origines diverses, généralement des polymères qui modifient certaines de leurs propriétés.
- **Les émulsions de bitume** : où l'huile de fluxage est un mélange de produits d'origine pétrolière et de produits de la houille.

**6. Les classes de bitume : [4]**

Afin de classer les différents bitumes, deux essais de caractérisation sont couramment pratiqués :

- La mesure de la pénétrabilité d'une aiguille dans un échantillon de bitume à +25°C (EN-1426).
- La détermination de la température de ramollissement bille anneau (TBA) à laquelle une bille acier s'enfonce à travers un échantillon de bitume (EN-1427).

Pour un bitume pur, les résultats de ces essais permettent de définir le grade du bitume. Ainsi, pour un bitume 10/20, la pénétrabilité de l'aiguille est comprise entre 10 et 20 dixièmes de mm alors qu'elle est comprise entre 50 et 70 dixièmes de mm pour un bitume 50/70.

**Tableau (I.2) : Classification des bitumes selon la pénétrabilité et TBA. [4]**

	Classes								
	20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220	250/330
Pénétrabilité (0.1mm)	20-30	30-45	35-50	40-50	50-70	70-100	100-150	160-220	250-330
TBA (C°)	55-63	52-60	50-58	46-56	46-54	43-51	39-47	35-43	30-38

**7. Les essais du bitume :**

**7.1. Essai de densité (EN 15326) :**

➤ **Principe d'essai :**

Des masses égales de volume d'échantillon bitumineux et de liquide à tester sont comparées. Le pycnomètre étant rempli de manière à déborder lorsqu'il est placé dans un bain à la température de test jusqu'à ce que l'équilibre thermique soit atteint (environ 30 min), des volumes égaux sont garantis. [5]

Le pycnomètre étalonné est rempli aux trois quarts environ de sa capacité avec le liant bitumineux à tester et pesé avec le bouchon. Le pycnomètre est rempli d'un liquide de test et pesé à nouveau. À partir des différentes masses, la densité et la densité doivent être calculées. [5]

➤ **But d'essai :**

Mesure à une température donnée la densité du bitume en mesurant la masse et du volume soumis à l'essai avant et après introduit dans un pycnomètre. [5]

➤ **Matériels utilisé :**

- Pycnomètre.
- Bain-marie à température constante.
- Thermomètre.
- Balance haute précision. [5]



**Figure (I.6) :** Pycnomètre + bitume

➤ **Mode opératoire :**

- Pesée du pycnomètre vide avec thermomètre et bouchon.
- Remplissage du fluide à mesurer.
- Pose du thermomètre sur le pycnomètre.
- Essuyage du surplus au-dessus du capillaire.
- Pesée de l'ensemble : pycnomètre, thermomètre, fluide et bouchon.
- Relevé de la température.
- Détermination de la masse volumique. [5]

**7.2. Essai de viscosité (EN 12846) :**

➤ **Principe d'essai :**

Le temps d'écoulement d'une émulsion de bitume est déterminé, à l'aide d'un viscosimètre à écoulement, comme le temps mis par une quantité donnée d'émulsion pour passer au travers d'un orifice de taille donnée, à une température donnée. [6]

Quels que soient les températures ou les diamètres de l'orifice utilisés, le temps d'écoulement ne doit pas dépasser 600 s. Pour les émulsions très visqueuses. [6]

➤ **But d'essai :**

Déterminer la viscosité d'un liant, exprimée en unités conventionnelles, au moyen d'un appareil normalisé. [6]

➤ **Matériels utilisé :**

- Viscosimètre à écoulement.
- Bain d'eau à température constante.
- Thermomètres.
- Fiole jaugée.

- Chronomètre. [6]

➤ **Mode opératoire :**

- Après avoir vérifié l'horizontalité du viscosimètre, mettre en place l'agitateur portant le thermomètre de contrôle de la température du bain, puis le godet de mesure approprié.
- L'eau du bain est alors portée à la température de l'essai. Cette température réglée à 0,1°C près, est maintenue pendant toute la durée de la détermination en agitant l'eau du bain à de fréquents intervalles et même, si possible, de façon continue.
- L'échantillon, chauffé à une température d'environ 20°C supérieure à celle de l'essai, est alors versé doucement dans le godet de mesure dont l'orifice est fermé par l'obturateur. La quantité de liant introduite est telle que l'ergot fixé à la tige de l'obturateur est juste immergé.
- Le second thermomètre est alors introduit dans le liant.
- Lorsque l'équilibre de température entre le liant et le bain d'eau est réalisé, on retire le thermomètre et on enlève toute quantité de liant en excès de telle sorte que le niveau final soit sur la ligne médiane de l'ergot indicateur, quand la tige de l'obturateur est verticale.
- L'éprouvette de 100 ml, contenant 20ml d'huile minérale, est alors placée sous l'orifice du godet. On suspend l'obturateur à son support et on déclenche le chronomètre lorsque, dans l'éprouvette, le niveau d'huile minérale atteint 25 ml. On arrête ensuite le chronomètre lorsque la graduation de 75ml est également atteinte. Le temps d'écoulement est noté à la seconde la plus proche. [6]

**7.3. Essai de vieillissement (EN 12607-1) :**

➤ **Principe d'essai :**

Un film de liant bitumineux en renouvellement permanent est chauffé dans une étuve à une température prescrite pendant une période donnée, et sous un balayage constant d'air. [7]

➤ **But d'essai :**

Cet essai vise à mesurer les effets combinés de la chaleur et de l'air sur une couche mince de bitume ou de liant bitumineux. [7]

Simule le durcissement du liant bitumineux lors du mélange dans l'usine de peinture. [7]

➤ **Matériels utilisés :**

- Étuve.
- Indicateur de débit.
- Thermomètre.
- Fiole.
- Balance. [7]



**Photo (I.1) :** Appareil de l'essai RTFOT (LTPS Ghardaia)

➤ **Mode opératoire :**

Après les tests d'intrusion et la TBA, nous procédons comme suit :

- Remplir les bouteilles avec du bitume pur (35 g dans chaque fiole).
- Placez les flacons dans le RTFOT puis allumez-les et laissez-les pendant 75 minutes.
- Échantillonnage et tests de perméabilité et TBA. [7]

**7.4. Essai de point d'éclair et de feu (EN 22592) :**

➤ **Principe d'essai :**

Le test du point d'éclair consiste à chauffer doucement un échantillon à un rythme constant d'élévation de température et avec une agitation continue. À chaque degré d'augmentation de température, une flamme est introduite dans la vapeur produite au-dessus de l'échantillon. La plus basse température à laquelle les vapeurs s'enflamment est le point d'éclair. [8]

➤ **But d'essai :**

La détermination des points d'éclair et de feu en vase ouvert au moyen de l'appareil Cleveland sert à mesurer et décrire les propriétés d'un échantillon par rapport à la chaleur et une flamme de test dans des conditions contrôlées. [8]

➤ **Matériels utilisé :**

- Appareil Cleveland.
- Thermomètre.
- Flamme. [8]



**Figure (I.7) :** Appareil de l'essai point d'éclair et de feu

➤ **Mode opératoire :**

L'échantillon bitumineux est rempli avec un bol et chauffé à 5 ° C/min. Lorsque la température de l'échantillon approche du point d'éclair, une source de flamme est attirée à la surface. Lorsque les vapeurs commencent à dégager de la température et du point d'éclair, la température continue de monter jusqu'à ce que l'échantillon s'enflamme et pendant cinq secondes, nous enregistrons la température et le point d'allumage. [8]

La température du malaxeur doit être d'au moins 25 ° C lors du mélange du bitume avec les solides pour respecter les limites de sécurité. [8]

**7.5. Essai de la perte de masse au chauffage TFOT (EN 12607-2) :**

➤ **Principe d'essai :**

Un échantillon pesé est chauffé pendant un temps prescrit à une température prescrite, et est à nouveau pesé à la fin de la période de chauffage. [9]

➤ **But d'essai :**

La méthode est utilisée pour détecter les substances volatiles. Les effets de la chaleur et de l'air sont déterminés à partir de la variation de poids de l'échantillon (exprimée en pourcentage). [9]

➤ **Matériels utilisé :**

- Etuve.
- Plateau tournante.
- Thermomètre.
- Récipient pour les échantillons.
- Balance. [9]



**Figure (I.8) :** Appareil de l'essai TFOT

➤ **Mode opératoire :**

- Peser le récipient et enregistrer la masse  $m_c$  avec une précision lors de la lecture de 0,01 g.
- Placer ( $50,0 \pm 0,5$  g) d'échantillon de matériau à soumettre à l'essai dans le récipient. Peser le récipient et l'échantillon et enregistrer la masse  $m_1$ . Reproduire l'essai avec deux échantillons identiques.
- Refroidir l'échantillon à température ambiante avant de procéder à la première pesée.
- Amener l'étuve à la température d'essai.
- Placer le récipient avec l'échantillon pesé sur le plateau circulaire dans l'une des cavités.
- Fermer l'étuve et faire tourner le plateau pendant toute la durée de l'essai à une vitesse de 5 tr/min à 6 tr/min.
- Maintenir la température de l'étuve à la température d'essai  $\pm 1$  °C pendant 5 h après l'introduction des échantillons. La période de 5 h commence lorsque la température de l'étuve atteint la température d'essai moins 1 °C. S'assurer que la durée totale de maintien de l'échantillon dans l'étuve ne dépasse en aucun cas 5 h et 15 min.
- Déterminer la température de l'étuve à thermomètre.
- À la fin de la période de chauffage, retirer l'échantillon de l'étuve.
- Refroidir l'échantillon à température ambiante sous un couvercle le protégeant de la poussière.
- Peser le récipient et l'échantillon. Enregistrer la masse  $m_2$ .

Il est possible de procéder à plusieurs essais simultanément. [9]

**8. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons appris la majeure partie du bitume et sa composition, composée de plus de 80% de carbone et de certains minéraux, tels que l'hydrogène et le soufre, et ses propriétés chimiques constituées de Les saturés, les aromatiques, les résines en tant que groupe de Maltènes et d'autres en tant que les asphaltes, ainsi que sur les classes de bitume classées selon leur degré de dureté (20/30, 30/45, ...) et dans ce dernier cas, nous avons mentionné un certain nombre de tests, notamment le test de pénétration et le degré de ramollissement. ...

***Chapitre II :***  
***Généralités sur les***  
***polymères***

## 1. Introduction :

Les polymères sont désormais présents dans tous les secteurs industriels et de la conception de systèmes et dispositifs, comme le domaine du transport, de l'environnement, de l'énergie, de l'ingénierie médicale, etc. on rencontre les polymères dans les petits objets usuels de la maison, les appareils électroménagers, et aussi en tant que matériaux de construction, en revêtements et peintures, dans les emballages, les pneus, les fibres textiles, les produits médicaux, chirurgicaux, prothèses, produits d'hygiène, articles de loisirs, pièces de structures dans les véhicules de transport, les équipements électriques, les circuits électroniques, les matelas-mousses, les colles. Ils s'infiltrent aussi dans l'alimentation, les produits cosmétiques, le ciment, etc.

Les polymères, appelés communément "matières plastiques", sont indissociables de notre environnement et de notre vie pratique. Ils se sont imposés dans tous les domaines de nos activités, des plus visibles aux plus cachés, des objets les plus banals jusqu'à des applications techniques sophistiquées.

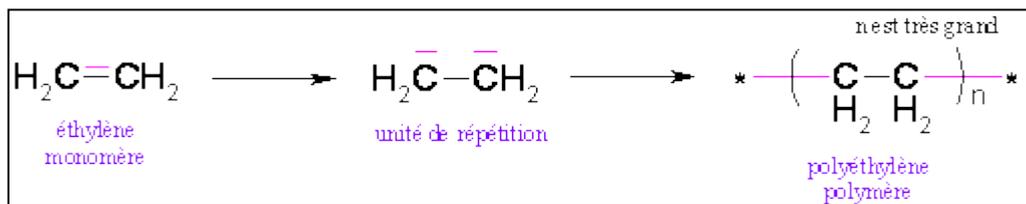
## 2. Les polymères :

### 2.1. Définitions :

Un polymère est une macromolécule formée de l'enchaînement covalent d'un très grand nombre d'unités de répétition qui dérivent d'un ou de plusieurs monomères (qui sont également appelés motifs) et préparée à partir de molécules appelées monomère. [10]

En chimie et biologie, un polymère est une molécule constituée d'une chaîne de molécules semblables, appelées monomères ; un polymère est une macromolécule résultant de l'assemblage de nombreux motifs identiques (monomères), un composé chimique avec des unités structurelles répétitives. [10]

**Exemple :** polymère du polyéthylène



**Figure (II.1) :** schéma de composant de polymère du polyéthylène [11]

**Note :** -CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>- est l'unité du polymère. [11]

Un polymère est une grande molécule constituée d'unités qui se répètent et qui dérivent de monomères. [12]

**Exemple :** Le polyéthylène (PE) : .....-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>- [12]

Il dérive de la polymérisation de l'éthène : CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub>, monomère du polyéthylène. On écrit plus simplement le PE : -(CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>- avec n un entier. L'unité de répétition est (CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>). Il existe :

- Des polymères naturels : cellulose, caoutchouc, protéine, laine.
- Des polymères synthétiques : polyéthylène (PE), polychlorure de vinyle (PVC), polystyrène (PS), polyéthylène téréphtalate (PET). [13]

## 2.2. Les monomères :

Les monomères sont de petites molécules qui forment les polymères en se regroupant. Un monomère est une molécule de petite taille et faible masse moléculaire, qui, en tant qu'unité, se lie chimiquement à d'autres molécules organiques pour former un polymère supramoléculaire. [13]

Le monomère naturel le plus commun est le glucose, qui est lié par des liens glycosidiques formant des polymères tels que la cellulose et l'amidon, faisant partie de plus de 77% de la masse sèche de tout le matériel d'une plante. [13]



Figure (II.2) : Structure de glucose  $C_6H_{12}O_6$

Très souvent, le terme monomère désigne des molécules organiques formant des polymères synthétiques, comme par exemple le chlorure de vinyle, utilisé pour produire du PVC. Les polymères synthétiques sont généralement constitués de monomères identiques. [13]

Le terme polymère (du grec polys qui signifie « nombreux, plusieurs » et mêros qui signifie « unité, partie ») ; qui sont typiquement regroupés toute matière formées par la répétition d'un très grand nombre ( $n$ ) de petites molécules de faible masse moléculaire appelées monomères qui liés entre eux par des liaisons primaires (liaisons covalentes). [13]

## 3. Polymérisation :

La polymérisation désigne la réaction chimique ou le procédé par lesquels des petites molécules réagissent entre elles pour former des molécules de masses molaires plus élevées. Les molécules initiales peuvent être des monomères ou des pré-polymères ; la synthèse conduit à des polymères. En général, en présence de réactifs et de catalyseurs, et sous l'action de la chaleur et de la pression, il se forme des chaînes macromoléculaires constituées de motifs de répétition identiques ou différents, liés de façon covalente. On obtient des polymères, de masses molaires éventuellement élevées : ▪ monodimensionnels car issus de monomères bivalents ; ▪ ou tridimensionnels, issus de la polymérisation de monomères dont la valence moyenne est supérieure à deux, ou de la réticulation de polymères monodimensionnels. On distingue les polymères synthétiques comme le polyéthylène, par opposition aux polymères d'origine naturelle tels la cellulose et les artificiels qui sont préparés par modification chimique de polymères d'origine naturelle. [14]

### 3.1. Méthodes de polymérisations :

Les principales méthodes de polymérisation sont : la polymérisation par étapes (Polycondensation), et la polymérisation en chaîne : [12]

#### a) Polycondensation :

Cette polymérisation se fait par étapes, car les chaînes de polymères croissent par des réactions de condensation se produisant entre des molécules ayant des degrés de polymérisation différents. [12]

L'exemple le plus souvent utilisé pour ce type de polymérisation est la polyestérification :  $\text{HOOC-R-COOH} + \text{HO-R}'\text{-OH} \rightarrow \text{HOOC-R-CO-R}' + \text{H}_2\text{O}$  [12]

#### b) Polymérisation en chaîne :

La polymérisation radicalaire suit un mécanisme de réaction en chaîne, l'espèce active est un radical libre : elle s'applique à un grand nombre de monomères. Cette polymérisation comporte trois étapes essentielles : l'amorçage, la propagation, et la terminaison des chaînes. [12]

- ✓ Amorçage : il correspond à l'activation d'un monomère grâce à un amorceur A ; le début de la réaction de polymérisation en chaîne est de la forme :



- ✓ Propagation : la propagation est la séquence de réaction d'addition du monomère M sur un centre actif  $\text{AM}^*$ , conduisant ainsi à la croissance de la chaîne macromoléculaire.



- ✓ Terminaison : Les réactions de terminaisons sont celles qui conduisent à la destruction des centres actifs et à la fin des réactions de la croissance des chaînes.



### 4. Différents types de polymères :

Les polymères ont plusieurs types différents, certaines de ces espèces étant classées dans d'autres classes, et la classification des polymères étant basée sur les critères suivants : [15]

#### 4.1. Classification selon l'origine :

Les polymères classés selon l'origine peuvent être : [17]

### ✓ Des polymères naturels :

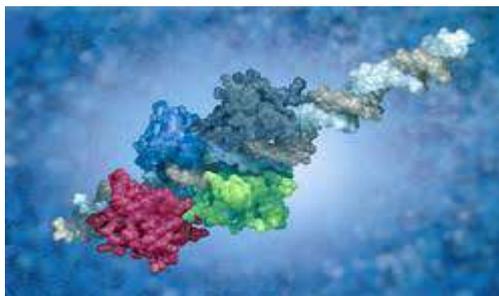
Sont la base de certains des premiers matériaux utilisés par l'homme comme fibres de bois et de végétaux, cuir, tendons d'animaux, laine, soie et cellulose, etc. Ils ont été utilisés abondamment et ont été très importants à travers l'histoire, bien qu'il ait fallu beaucoup de temps pour connaître leur composition et la façon de les synthétiser artificiellement. La notion de macromolécule est apparue tard dans l'histoire de la chimie. Bien que préfigurées par Wilhelm Eduard Weber et même par Henri Braconnot au début du XIXe siècle, de nombreux chercheurs les ont considérées comme des agrégats ou des micelles. [17]



**Figure (II.3) :** Polymère naturel

### ✓ Des polymères synthétiques :

Les premiers polymères synthétiques obtenus à partir de la modification des polymères naturels ont commencé à apparaître au milieu du 19e siècle afin d'améliorer leurs propriétés physiques afin de pouvoir les utiliser. En 1839, Charles Goodyear a modifié le caoutchouc en le chauffant avec du soufre, car il était cassant à basse température et collant à haute température. Le caoutchouc est devenu un caoutchouc vulcanisé, une substance résistante à une large gamme de températures. [18]



**Figure (II.4) :** Polymère synthétique

**Note :** Les polymères semi-synthétiques sont obtenus par modification chimique d'un polymère naturel, exemple : méthylcellulose, la nitrocellulose, le caoutchouc vulcanisé, etc. [17]

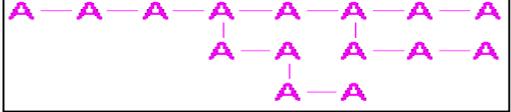
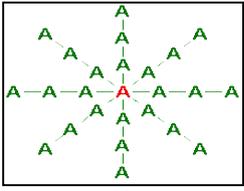
#### 4.2. Classification Selon la structure chimique :

Selon la structure Il existe deux types de polymères : [11]

**a) Les homopolymères :** Les homopolymères sont des polymères qui ne possèdent qu'une seule unité. Parmi les homopolymères, on peut citer le polyéthylène. [11]

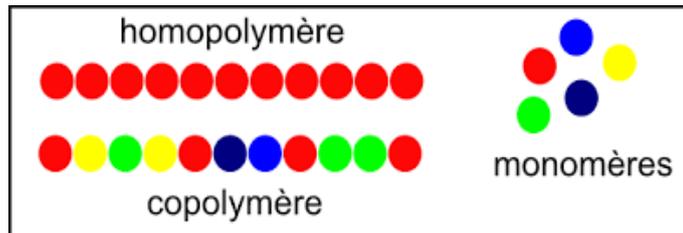
Il existe, au sein des homopolymères, différentes familles. A sera l'unité de l'homopolymère. Parmi les différents types d'homopolymères, nous trouvons : [11]

**Tableau (II.1) :** Modélisation des 03 types d'homopolymères [11]

les homopolymères linéaires	
les homopolymères branchés	
Les homopolymères étoilés	

**b) Les copolymères :** Les copolymères sont des polymères qui possèdent plusieurs unités. Comme pour les homopolymères, les copolymères peuvent se classer dans différentes familles. On parle alors de modes de copolymères, B sera l'unité du copolymère. [11]

Les polymères, qu'ils soient homos ou copolymères, peuvent être réticulés. Un polymère réticulé est un polymère dont certaines de ses chaînes sont reliées entre elles par des ponts chimiques covalents. [11]



**Figure (II.5) :** L'homopolymère et le copolymère

**4.3. Classification selon le comportement thermique :**

Les différences de propriétés résultent de la différence de structure des polymères et des interactions ou véritables liaisons entre les chaînes. [12]

**a) Polymère thermoplastique :**

Sous l'effet de la chaleur, il se ramollit et devient malléable, en se refroidissant, il se durcit en conservant la forme donnée à chaud. Ex : PE, PS, Polyamide. [12]  
Explication : Les polymères thermoplastiques sont linéaires ou ramifiés. [12]

**b) Polymère thermodurcissable :**

Sous l'effet de la chaleur, il devient dur et ne peut plus fondre. Une nouvelle hausse de température mènerait à une destruction du polymère. [12]

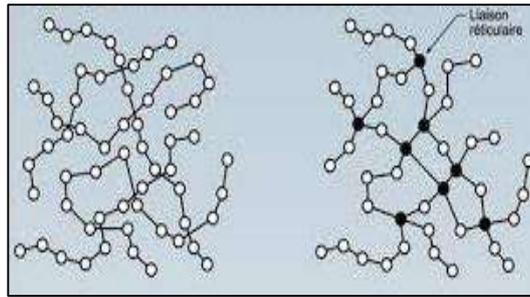


Figure (II.6) : Thermoplastique et thermodurcissable

c) **Les élastomères :**

Ils s'étirent sous l'effet d'une action mécanique et reviennent à leur forme initiale lorsque l'action mécanique cesse. Ex : caoutchouc, polyester. [12]

Explication : les élastomères sont des polymères réticulés. [12]

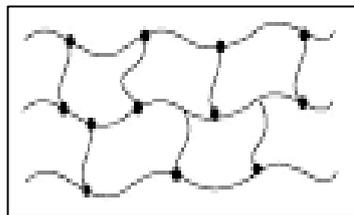


Figure (II.7) : Elastomère

**4.4. Classification selon le comportement physique :**

En fonction de la structure physique des polymères, on peut les classer en quatre types d'état : [15]

a) **L'état amorphe :** dans lequel les arrangements moléculaires n'ont pas d'ordre prédéfini. Les macromolécules ont enchevêtré en pelotes. Cette absence d'ordre engendre une absence de point de fusion, l'existence d'une température de transition vitreuse qui marque le passage d'un état vitreux (où le matériau se comporte comme un verre, c'est-à-dire dur et cassant) à un état caoutchoutique (où les chaînes peuvent glisser plus facilement), ainsi qu'une transparence dans le visible comme cela est le cas du polystyrène « cristal » ou du poly (chlorure de vinyle) « cristal » qui sont tous deux amorphes. [15]

b) **L'état cristallin :** caractérisé par un arrangement organisé des molécules. Les chaînes organisent de façon ordonnée et compacte. Le cristal polymère est décrit par son réseau et son motif. Le réseau caractérise la périodicité dans les trois directions de l'espace. Les principales caractéristiques de l'état cristallin sont une compacité supérieure à celle de la phase amorphe, l'existence d'un point de fusion et l'absence de transition vitreuse, une rigidité supérieure à celle de la phase amorphe. [15]

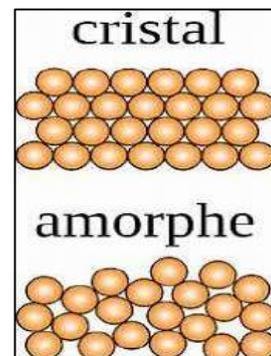


Figure (II.8) : L'état amorphe et l'état cristallin

- c) **L'état amorphe orienté** : où les arrangements moléculaires sont tous orientés dans la même direction. [15]
- d) **L'état semi cristallin** : qui associe à la fois un arrangement organisé et des zones amorphes. [15]



**Figure (II.9) : L'état semi cristallin**

## 5. Propriétés générales des polymères :

Le principe de formation sous-jacent est très souple et il permet de produire des polymères caractérisés par un large éventail de propriétés et de combinaisons de propriété. Les polymères sous forme d'objets, fibres ou pellicules peuvent être :

- rigides ou souples.
- transparents, translucides ou opaques.
- durs ou mous.
- résistants aux conditions climatiques ou dégradables.
- résistant aux températures élevées ou basses. [16]

De plus, il est possible de les combiner avec des matières de remplissage, de les mélanger avec d'autres produits (par exemple des fibres de verre) pour former des composites ou avec d'autres polymères pour obtenir des mélanges de polymères. [16]

### 5.1. Propriétés thermiques :

Les substances peuvent habituellement exister dans trois états physiques possibles : solide, liquide et gazeux. En ce qui concerne les matériaux polymères, les choses ne sont pas aussi simples. La plupart des polymères par exemple se décomposeront avant d'être portés à ébullition, et les polymères réticulés se décomposent avant de fondre, En fonction de leurs propriétés thermiques de base. [16]

## 6. Applications des polymères :

Les polymères sont devenus l'élément essentiel d'un nombre très important d'objets usuels et courants, dans lesquels, ils ont souvent remplacé les substances naturelles. Les cinq familles les plus utilisées sont :

- Les polychlorures de vinyles (PVC) utilisés comme pièces rigides, tuyauterie, films d'étanchéité ;
- Les polyéthylènes (PE) utilisé comme emballages transparents, pièces rigides ;

- Les polypropylènes (PP) et les polystyrènes (PS) : pièces rigides, fibres ;
- Les polyesters saturés : cosmétiques, revêtements de surface, peintures, vernis, plastifiants pour autres polymères ; et les polyesters insaturés : films, fibres textiles, matériaux composites ;
- Les polyuréthanes (PU) utilisé pour fabriquer des mousses. Ce matériau trouve donc de nombreuses applications dans le secteur du bâtiment et de l'ameublement, ainsi que dans l'industrie automobile et nautique. [19]

Citons également les élastomères, qui proviennent pour certains de ces différentes familles et ou du caoutchouc naturel, et dont la principale utilisation se trouve dans le domaine des pneumatiques. [19]

Il existe également des polymères spécialement « dessinés » pour des applications plus particulières. Parmi ceux-ci, on retrouve les grandes familles déjà citées, mais aussi les polymères fluorés comme le Téflon ou les polymères minéraux comme les silicones. [19]

## 7. Les essais du polymère :

### 7.1. Essai Mécanique :

Les essais mécaniques constituent la plus ancienne discipline des essais de matériaux et leur importance n'a cessé de croître. D'ailleurs certaines caractéristiques peuvent être déterminées par ces essais et notre présent travail sera consacré aux essais de traction. [20]

#### 7.1.1. Essais de traction :

La traction offre l'avantage de proposer un système de contrainte simple. Cependant, dans la plupart des conditions, l'éprouvette testée présente une instabilité géométrique qui conduit à une striction après la limite élastique  $\sigma_e$ . Néanmoins, nous avons utilisé cette technique pour étudier le comportement de notre matériau aux différentes températures et aux différentes vitesses de déformation. [20]

#### ➤ Principe d'essai :

L'essai de traction est réalisé sur une machine de traction (Figure II.10) consiste à exercer sur l'éprouvette étudiée une force de traction et mesurer son allongement. [20]



**Figure (II.10) :** Machine de traction.

## 7.2. Essai thermique :

### 7.2.1. Essai (ATG) :

L'analyse thermogravimétrique (ATG) consiste à mesurer la variation de masse d'un échantillon liée à la transition et à la dégradation thermique lors d'un cycle thermique de chauffage jusqu'à 1000°C ou plus. Couplée à la spectroscopie infrarouge, FTIR, l'ATG permet de compléter l'analyse et l'identification des produits ou gaz dégagés lors du cycle thermique. [21]

#### ➤ Objectif :

- Mettre en évidence des réactions en fonctions des variations de masse (évaporation, oxydation ...)
- Déterminer différentes caractéristiques du polymère, telles que la température de dégradation, l'humidité absorbée, taux de cendre.
- Cette technique permet également de mesurer les quantités de corps organiques, inorganiques ainsi que les solvants présents dans le polymère. [22]

#### ➤ Principe d'essai :

L'ATG consiste à observer l'évolution des variations de masse d'un échantillon en fonction de la température ou du temps (température fixe) sous atmosphère contrôlée. La température varie entre 100 et 950°C. [22]

La masse de l'échantillon analysé est comprise entre 10mg et 1g, selon la matière et l'appareil que l'on utilise. [22]

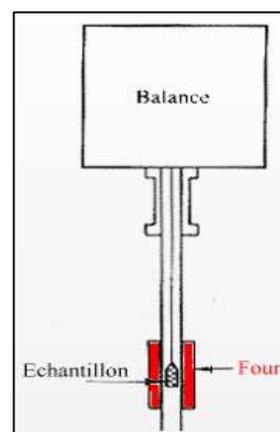


Figure (II.11) : Balance et four d'essai ATG [22]

#### ➤ Appareillage :

- Module de pesée
- Enceinte étanche
- Four
- Thermocouple
- Echantillon [22]



Figure (II.12) : Appareillage de TGA [23]

➤ **Quelques applications de la méthode ATG :**

- ✓ Déshydratation et déhydroxylation de matières premières et de produits inorganiques et organiques
- ✓ Décomposition de polymères, matériaux inorganiques et organiques
- ✓ Réaction dans différentes atmosphères (hydrogène, CO, ...)
- ✓ Oxydation, combustion
- ✓ Etude en atmosphère corrosive
- ✓ Etude sous atmosphère humide (vapeur d'eau)
- ✓ Couplage avec spectrométrie de masse ou spectrométrie infrarouge. [24]

**7.2.2. Essai (ATD) :**

L'analyse thermique différentielle (ATD) est basée sur l'étude de l'énergie dégagée ou absorbée par le matériau quand il subit des transformations physiques ou chimiques lors d'un cycle thermique. Ces analyses sont relatives. Les valeurs obtenues sont issues de l'évolution des paramètres de l'échantillon comparativement à celle d'une référence étalon inerte. [21]

L'Analyse Thermique Différentielle (ATD) est basée sur l'étude de la chaleur dégagée ou absorbée par la matière pendant les transformations physiques ou chimiques. [25]

➤ **Objectif :**

L'analyse thermique différentielle (ATD) convient pour la détermination des températures caractéristiques. [26]

➤ **Principe :**

L'ATD est une technique mesurant la différence de Température entre un échantillon et une référence 'matériau inerte thermiquement en fonction du temps ou de température lorsqu'ils sont soumis à une programmation de température, sous atmosphère contrôlée. [27]

➤ **Appareillage :**

Il existe différents types d'appareils d'ATD. La distinction entre ces appareils se fait sur la quantité d'échantillon pouvant être mise en jeu lors de l'analyse ainsi que la nature du matériau constituant les cellules (verre, inox, titane, tantale etc...). La multiplicité des matériaux employés permet de mettre en évidence les interactions produit/parois qui sont particulièrement importantes en ATD du fait de la faible masse de l'échantillon. Parmi les interactions connues on peut citer :

- La réaction entre l'acide chlorhydrique, HCl, et l'acier inox,
- La décomposition des organiques chlorés en acide chlorhydrique, HCl, qui attaque l'acier inox. L'acide chlorhydrique, HCl, et le chlorure ferrique, FeCl<sub>3</sub>, formés sont des catalyseurs de la décomposition thermique de nombreuses substances organiques,
- L'acide fluorhydrique attaque le verre. [28]

➤ **Quelques applications de la méthode ATD :**

- ✓ Fusion et cristallisation
- ✓ Transitions de phase (transition vitreuse, ordre-désordre, ...)
- ✓ Diagramme de phase
- ✓ Déshydratation et déhydroxylation
- ✓ Décomposition
- ✓ Oxydation, réduction, [24]

**7.2.3. Essai (DSC) :**

La calorimétrie DSC est une technique d'analyse thermique qui permet de mesurer les différences des échanges de chaleur entre un échantillon à analyser et une référence (un matériau de référence, mais aussi de l'air). [29]

La mesure par DSC (Differential Scanning Calorimetry) est une technique que nous employons pour étudier le comportement thermique des polymères lorsqu'ils sont chauffés. Nous l'utiliserons pour étudier ce que nous appelons les transitions thermiques d'un polymère. [29]

➤ **Objectif :**

Elle permet de déterminer des transitions de phase comme :

- La température de transition vitreuse (T<sub>g</sub> en anglais pour Glass transition).
- La température de fusion et de cristallisation.
- L'enthalpie de réaction. [31]

➤ **Principe :**

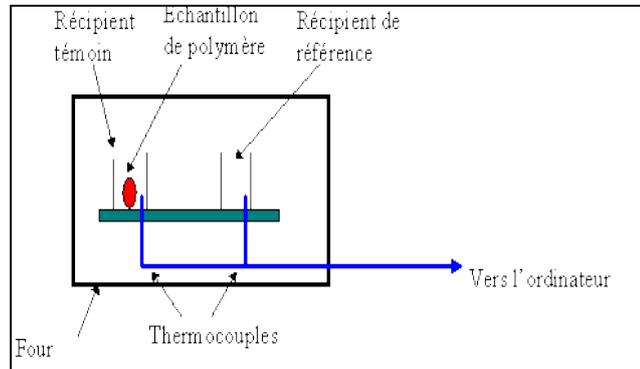
Le principe de fonctionnement de la DSC est assez simple : il consiste à mesurer la quantité d'énergie requise pour chauffer un échantillon en fonction de la température, par rapport à une référence. On parle également de mesure d'enthalpie (ou flux de chaleur) en fonction de la température. L'appareil ajuste donc la quantité d'énergie transmise à l'échantillon afin que sa température demeure semblable à celle de la référence. Une analyse DSC se fait normalement en présence d'un gaz inerte (azote ou argon) pour éviter une réaction de l'échantillon avec l'air de la chambre. [32]

➤ **Appareille :**

Le polymère est chauffé dans un dispositif qui ressemble à cela :

C'est aussi simple que cela : Il y a deux casseroles. Dans une casserole, " la casserole échantillon ", vous mettez votre échantillon de polymère. L'autre est " la casserole référence ", vous la laissez vide. Chaque casserole est positionnée au-dessus d'un dispositif de chauffage. Alors vous dites à votre " super » ordinateur d'allumer les appareils de chauffage. Donc, l'ordinateur allume les appareils de chauffage et leur ordonne de chauffer les deux casseroles selon une vitesse de chauffe constante, d'habitude, quelque chose, comme 10°C par minute. Votre " super " ordinateur s'assure que la vitesse de montée en

température reste exactement là même tout au long de l'expérience. Mais ce qui est le plus important, c'est qu'il s'assure que pour les deux casseroles séparées, avec leurs deux appareils de chauffage séparés, la vitesse de montée en température soit strictement identique. La raison est que les deux casseroles sont différentes. [30]



**Figure (II.13) :** Appareille de DSC [30]

➤ **Quelques applications de la méthode DSC :**

- ✓ Changements de phase : fusion, cristallisation, sublimation, évaporation
- ✓ Transitions de phase : ordre-désordre, polymorphisme, point de curie
- ✓ Transition vitreuse
- ✓ Dénaturation
- ✓ Gélification, gélatinisation
- ✓ Déshydratation, déhydroxylation
- ✓ Dégradation, pyrolyse, décomposition
- ✓ Oxydation, combustion, réduction
- ✓ Réaction, polymérisation, réticulation, vulcanisation
- ✓ Chaleur spécifique, cinétique, pureté, ... [24]

**8. Conclusion :**

Grâce à ce chapitre, il est possible de savoir que les polymères se trouvent sous plus d'une forme dans la nature et sont composés de petites molécules appelées monomères et polymères selon leur origine, leur structure chimique, leur comportement thermique, etc.

On le trouve également dans de nombreux domaines de la construction, des transports, de l'industrie, de l'énergie et de certains tests mécaniques et thermiques des polymères.

***Chapitre III :***  
***Généralités sur***  
***bétons bitumineux***  
***modifiées***

**1. Introduction :**

L'enrobé bitumineux dans sa configuration traditionnelle ne permet plus une résistance satisfaisante sous le trafic lourd et les températures élevées qui sont l'origine des déformations des couches supérieures de la chaussée, donc leur amélioration devient nécessaire. Cette amélioration pourrait s'obtenir en modifiant l'enrobée par ajout des polymères.

Dans cette partie de l'étude sur le béton bitumineux modifié, nous identifierons certains poudrettes, résultats et recommandations pour diverses recherches sur le béton bitumineux modifié, chaque recherche a une poudrette modifiée : (PEHD, caoutchouc, PEBD, SBS, polyéthylène et PVC). Nous allons donc citer quelque résultats obtenus précédemment.

**2. Béton bitumineux modifié par les déchets plastiques (PEHD) :**

Polyéthylène haute densité il est utilisé notamment pour la fabrication de bouteilles, flacons, fûts, conteneurs, tuyaux, tubes, poubelles, ... [33]

Selon la recherche de Boukhari Adnane on peut dire ça l'utilisation de polyéthylène à haute densité PEHD va améliorer certaines propriétés de l'enrobé et également résoudre les problèmes environnementaux.

**2.1. Résultats :**

**Tableau (III.1) :** Formulation de béton bitumineux témoins par la méthode Marshall [33]

Module de richesse	3,4	3,5	3,6	3,7
Teneur en liant	5,43	5,58	5,73	5,88
Stabilité Marshall	12,68	13,50	13,97	12,8
Fluage	3,77	3,79	3,03	3,24

Il a créé un ajustement de 2% et 8% du PEHD et les valeurs suivantes ont été trouvées :

**Tableau (III.2) :** Valeurs de stabilité et fluage en termes de pourcentage de PEHD [33]

Eprouvette	Témoin	2% PEHD	8% PEHD
Stabilité Marshall	13,97	11,135	13,90
fluage	3,03	2,99	2,53



**Figure (III.1) :** Déchets plastiques (PEHD) [33]

## 2.2. Recommandations :

- D'étudier de façon suffisante d'autres types de polymères de nature plastiques.
- D'exploiter le volume immense des déchets plastiques pour améliorer les performances de notre réseau routier en Algérie.
- Faire des études approfondies sur les enrobés bitumineux par plus des essais, plus des informations pour bien comprendre l'influence de ces plastiques broyés sur ce dernier. [33]

## 3. Béton bitumineux modifié par Caoutchouc :

Le caoutchouc est un matériau qui peut être obtenu soit par la transformation du latex sécrété par certains végétaux, soit de façon synthétique à partir de monomères issus d'hydrocarbures fossiles. Il fait partie de la famille des élastomères. Le caoutchouc naturel est un polyisoprénoïde. [1]

Les résultats suivants sont tirés de l'étude du Dr. Kebaili Nabil où :

- Deux types de bitume de même classe mais d'origines différentes ont été testés, il s'agit du bitume Total (TOT) et du bitume Naftal (NAF).
- Les poudrettes servant comme additifs sont de même nature et origine mais de granularités distinctes, il s'agit d'une poudrette de granularité fine (F) et l'autre grossière (G).

### 3.1. Résultats :

**Tableau (III.3) :** Caractéristiques physico-mécaniques de bitume et l'enrobé modifié. [1]

Essai		Teneur en poudrette (%)	Poudrette (F)		Poudrette (G)	
			Bitume TOT	Bitume NAF	Bitume TOT	Bitume NAF
Bitume	Pénétrabilité (1/10 mm)	0	44,00	46,33	44,00	46,33
		5	35,67	35,57	39,33	40,67
		10	33,67	34,67	37,33	40,00
		15	30,33	30,00	32,67	34,00
	Température de ramollissement (°C)	0	44,80	43,85	44,80	43,85
		5	48,25	46,50	47,20	45,75
		10	48,70	47,00	48,45	46,00
		15	50,90	52,00	49,95	48,40
Enrobé	Stabilité (kg)	0	1125,49	1100,30	1125,49	1100,30
		5	1303,88	1287,38	1257,25	1298,36
		10	1580,88	1593,48	1469,58	1520,39
		15	1669,75	1708,06	1621,59	1657,59
	Fluage (1/10mm)	0	22,41	21,00	22,41	21,00
		5	20,32	19,56	22,22	19,90
		10	21,17	21,03	22,05	20,80
		15	22,61	21,00	22,41	20,77
	Compacité (%)	0	97,18	97,22	97,18	97,22
		5	95,79	93,80	96,32	95,31
		10	95,63	93,60	95,78	94,22
		15	92,57	92,02	93,89	92,41



**Figure (III.2) :** Poudrette de caoutchouc [1]

### **3.2. Perspectives :**

A l'issue de l'étude de M. Kebaili. N, il a souligné que les résultats obtenus montrent l'intérêt que peut revêtir l'incorporation de caoutchouc dans le mélange hydrocarboné en vertu des avantages et améliorations apportés et son influence sur l'augmentation des performances mécaniques des enrobés notamment par l'augmentation des résistances de compression et la diminution des déformations. [1]

### **4. Béton bitumineux modifié en déchets plastiques (PEBD) :**

Polyéthylène basse densité il est utilisé notamment pour la fabrication de bouteilles, flacons, fûts, conteneurs, tuyaux, poubelles. [3]

Cette étude a été réalisée par : Kouidri Djamila et Telili Mebarka où elle vise à effectuer une étude comparative entre les caractéristiques mécaniques (Marshall) des produits bitumineux obtenus à partir de deux modes de modification qui sont :

Mode A : Compensation du sable de dunes à la place du sable 0/3 avec des pourcentages de teneur en liant déterminés.

Mode B : Compensation de la poudrette plastique à la place du sable de dunes suivant des pourcentages déterminés avec la teneur en liant optimale obtenu dans le Mode A.

4.1. Résultats :

Tableau (III.4) : Performances mécaniques des mélanges [3]

Caractéristique		Résultat				Spécification
Module de richesse K (%)	BB ordinaire	3.3	3.4	3.5	3.6	-
	BB de SD	3.7	3.8	3.9	4.0	
	BB avec 5% DPL	3.7	3.8	3.9	4.0	
Teneur en liant (%)	BB ordinaire	5.58	5.75	5.92	6.09	-
	BB de SD	5.08	5.22	5.36	6.49	
	BB avec 5% DPL	5.36	5.36	5.36	5.36	
Densité apparent (g/cm <sup>3</sup> )	BB ordinaire	2.30	2.35	2.35	2.33	-
	BB de SD	2.26	2.26	2.26	2.26	
	BB avec 5% DPL	2.081				
Densité absolue (g/cm <sup>3</sup> )	BB ordinaire	2.45	2.44	2.44	2.44	-
	BB de SD	2.78	2.78	2.78	2.79	
	BB avec 5% DPL	2.260				
Essai de stabilité Marshall						
Volume des vides (%)	BB ordinaire	6.12	3.68	3.68	4.50	< 8
	BB de SD	18.70	18.70	18.70	19.71	
	BB avec 5% DPL	7.920				
Compacité (%)	BB ordinaire	96	97	97	96	> 92
	BB de SD	81	81	81	80	
	BB avec 5% DPL	92.08				
Stabilité Marshall(kg)	BB ordinaire	1216	1293	1326	1259	> 10,50
	BB de SD	849.96	841	933.5	745.23	
	BB avec 5% DPL	1734.33				
Fluage Marshall(mm)	BB ordinaire	33	36	34	32	< 4
	BB de SD	33	36	34	32	
	BB avec 5% DPL	36.61				
Essai de Duriez						
Pourcentage d'imbibition "W"	BB ordinaire	1.33		1.66		-
	BB de SD	2.37		2.65		
	BB avec 5% DPL	2.076		1.43		
Rapport immersion Compression r/R	BB ordinaire	0.878				> 0,75
	BB de SD	0.98				
	BB avec 5% DPL	0.80				



**Figure (III.3) : Poudrette de PEBD [3]**

#### **4.2. Recommandations :**

- D'étudier de façon suffisante plusieurs types de polymères de la nature plastiques,
- D'exploités le volume immense des déchets plastiques pour améliorer les performances de notre réseau routier en Algérie,
- Faire des études profondes sur les enrobés bitumineux par plus des essais, plus des informations pour bien comprendre l'influence de ces plastiques broyés sur ce dernier.
- Le polymère est un domaine vraiment très vaste ; A travers ce travail, il faut essayer de cerner les grands ensembles traitant les polymères tels que leur types et composition chimique. [3]

#### **5. Béton bitumineux modifié par SBS et polyéthylène :**

Caoutchouc synthétique composé de polymères : Styrène, Butadiène, Styrène. Confère notamment au bitume ses propriétés d'élasticité, de souplesse à froid, de résistance au fluage, et de durabilité. [34]

Polyéthylène est une des résines thermoplastiques les plus répandues dans le monde. Il possède une excellente résistance aux agents chimiques et aux chocs.

Dans cette étude publiée par JETT, on a deux polymères, à savoir le polyéthylène et le styrène-butadiène-styrène.

**5.1. Résultats :**

**Tableau (III.5) :** Caractéristiques physico-mécaniques d'enrobé modifié par PE et SBS [34]

N	% de BC	Influence de PE				Influence de SBS			
		% de PE	Stabilité en kN	Fluage en mm	Unité de poids en kN / m <sup>3</sup>	% de SBS	Stabilité en kN	Fluage en mm	Unité de poids en kN / m <sup>3</sup>
1	4	0	11.70	2.81	25.27	0	21.52	2.52	28.68
		2	12.93	2.64	25.29	2	22.46	2.40	28.72
		4	14.13	2.42	25.31	4	23.15	2.38	28.82
		6	14.01	2.20	25.25	6	22.92	2.31	28.80
2	4.5	0	12.76	3.04	25.28	0	22.97	2.91	28.70
		2	13.78	2.97	25.30	2	23.45	2.88	28.74
		4	14.70	2.65	25.33	4	24.24	2.76	28.76
		6	14.59	2.54	25.31	6	24.15	2.64	28.73
3	5	0	13.50	3.64	25.30	0	23.42	3.04	28.76
		2	14.36	3.40	25.31	2	24.28	2.98	28.78
		4	15.18	2.97	25.35	4	25.15	2.87	28.79
		6	15.84	2.75	25.33	6	24.98	2.78	28.73
4	5.5	0	13.22	4.12	25.31	0	23.20	3.54	28.80
		2	13.57	3.84	25.33	2	23.98	3.35	28.82
		4	13.90	3.57	25.36	4	24.34	3.25	28.83
		6	15.32	3.40	25.37	6	24.10	3.20	28.79
5	6	0	12.11	4.70	25.25	0	22.95	4.10	28.96
		2	12.91	4.42	25.28	2	23.16	3.95	28.98
		4	13.42	4.21	25.32	4	23.36	3.85	28.99
		6	14.81	3.97	25.33	6	23.25	3.70	28.92



**Figure (III.4) :** Poudrette de SBS [34]



**Figure (III.5) :** Poudrette de PE [34]

**5.2. Recommandations :**

- D'étudier de façon suffisante d'autres types de polymères de nature plastique.
- Des études approfondies sur les biomatériaux et les plastiques par des tests supplémentaires.

- Recommandé que la proportion de modificateur soit de 6% en poids de bitume puisse être utilisée dans les constructions routières de chaque Polyéthylène et SBS.
- Le modificateur de SBS donne des résultats meilleurs et satisfaisants que le polyéthylène. [34]

## 6. Béton bitumineux modifié par PVC et polyéthylène :

Le polychlorure de vinyle un matériau thermoplastique, est peu cher et adapté à de nombreux usages. Plastique de grande diffusion, difficilement inflammable, il sert autant à la fabrication de cloisons, tuyaux ... [35]

Dans cette partie, nous nous sommes basés sur l'étude publiée dans la revue américaine de génie civil et d'architecture où :

Les chercheurs ont découvert que les mélanges d'asphalte contenant jusqu'à 10% de modificateur de polyéthylène usé et jusqu'à 7,5% de modificateur de PVC, sur la base des résultats expérimentaux suivants :

### 6.1. Résultats :

**Tableau (III.6) :** Caractéristiques marshall des mélanges à la teneur optimale [35]

Caractéristiques Marshall	Type de modificateur	
	Polyéthylène	PVC
Teneur optimale en modificateur (%)	10	7.5
Poids unitaire maximum (kg / m <sup>3</sup> )	2453	2442
Stabilité Marshall (kN)	14	13.6
Fluage (1/10 mm)	24	25
Va %	3.2	3.05
MVA %	17.7	16.9
Marshall Quotient (kN/mm)	2.33	2.18



**Figure (III.6) :** Poudrette de PVC [35]

### 6.2. Recommandations :

- Décrit les performances du bitume avec l'inclusion de plastique / polymère qui représentent 8% et 15% en poids de bitume. Leurs résultats expérimentaux indiquent qu'à 8% de plastique / polymère en poids de bitume, le résultat obtenu est supérieur à 15% de plastique / polymère.

- Recommandé que la proportion de modificateur (polyéthylène haute densité) soit de 12% en poids de bitume puisse être utilisée dans les constructions routières. Dans cette enquête,
- Le modificateur de polyéthylène donne des résultats meilleurs et satisfaisants que le PVC.
- 10% de polyéthylène et 7,5% de PVC en poids de teneur en asphalte peuvent être recommandés pour la construction de chaussées souples. [35]

## 7. Conclusion :

Il ressort de ce chapitre que le béton bitumineux modifié avec PEHD a donné des résultats satisfaisants en termes de stabilité et de fluage, en particulier à 8%. Quant aux mélanges d'asphalte modifié de Caoutchouc, leurs résultats ont également été améliorés, en particulier dans le bitume Naftal à 15% de stabilité et à 5% en fluage. Il est également possible de dire que l'ajustement du béton bitumineux avec PEBD a donné de très bons résultats, notamment en ce qui concerne la stabilité du pourcentage utilisé (5%). Nous avons également discuté de la modification des mélanges bitumineux dans le SBS et le polyéthylène où nous trouvons que chacun des poudrettes a donné des résultats acceptables en stabilité une fois modifié de 4% et 6% pour le fluage. Dans la modification BB par PVC, il a été constaté que des mélanges d'asphalte contenant jusqu'à 7,5% du taux de PVC pouvaient être utilisés pour créer des plates-formes flexibles du point de vue de la stabilité et du fluage.

***Partie II :***  
***Expérimentale***

***Chapitre IV :***  
***Matériaux utilisés***

## 1. Introduction :

Le bitume et les agrégats comptent parmi les matériaux les plus importants de la route, dont l'achèvement dépend de nombreux constituants des couches, dont les plus importants sont ceux mentionnés, mais le bitume en a plusieurs types choisis en fonction du type de projet et de critères spécifiques. Ces derniers types sont classés par dimensions granulaires.

En plus du chlorure de polyvinyle utilisé dans la modification du bitume dans cette étude, nous fournirons toutes les informations dont nous disposons sur ce polymère afin de donner au lecteur un aperçu plus détaillé du bitume et du chlorure de polyvinyle, prélude à la phase du bitume modifié. Toutes les informations disponibles.

## 2. Le Liant utilisé :

Le liant utilisé c'est le bitume 40/50 de Naftal.

### 2.1. Définition :

Le bitume utilisé est le bitume pur 40/50 provenant de Naftal, le domaine d'emploi de ce bitume est réservé aux routes a forts trafics nécessitant la mise en place couches d'enrobé. Ils ont constitué durant ces dix dernière années 50 à 55% des consommations des bitumes routiers cependant l'introduction de cette technique vers les années 70 a conduit à une utilisation abusive de ces liants notamment pour le renforcement de plusieurs routes a faible trafic et voirie urbaines par des couches de béton bitumineux. [36]



**Figure (IV.1) :** Bitume de classe 40/50

### 2.2. Présentation de l'entreprise NAFTAL :

L'entreprise NAFTAL constitue un facteur très important dans la mise en œuvre de la politique énergétique nationale, elle met en place une nouvelle stratégie et un nouveau mode de fonctionnement qui lui permet l'évolution dans le marché concurrentiel de plus en plus ouvert.



**Figure (IV.2) :** Logo de l'entreprise Naftal

NAFTAL (l'entreprise Nationale de Commercialisation et de distribution de produits pétroliers) : Est chargée de la distribution et de la commercialisation des produits pétroliers sur le Marche national dans les domaines suivants : Distribution, Stockage et commercialisation des carburants terre et aviation marine, GPL, Lubrifiants, bitumes, Pneumatique, produits spéciaux. [36]

Les nouvelles données économique, NAFTAL opte pour une nouvelle organisation de direction mixte c'est-à-dire une structure par produits et par fonction. [36]

**2.3. Caractéristiques de bitume 40/50 :**

Le bitume pur se caractérise par ses propriétés spécifiques en fonction de ses composants, lesquels sont déterminés en effectuant des tests taxonomiques. La connaissance de ces propriétés permet de déterminer le type de ce matériau, ce qui aide à identifier les domaines d'application et leur utilisation correcte, ainsi qu'à connaître leur comportement avec d'autres matériaux C'est la base de l'amendement. [36]

Ce bitume pur 40/50 a donné les caractéristiques suivantes :

**Tableau (IV.1) : Les caractéristiques de bitume pur classe 40/50**

Caractéristiques	valeurs	Vérifications	Normes
<b>Pénétrabilité [1/10 mm]</b>	43,62	40 à 50	NF T 66-004
<b>TBA [°C]</b>	53,4	47 à 60	NF T 66-008
<b>Ductilité [cm]</b>	69	> 60	NF T 66-006

**3. Le polymère utilisé :**

Le polymère utilisé dans notre travaille c'est le polychlorure de vinyle

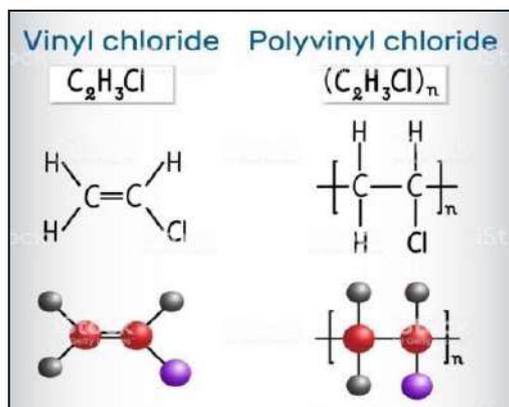
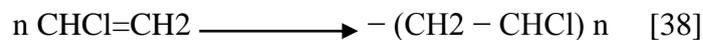
**3.1. Définition :**

Le polychlorure de vinyle ou chlorure de polyvinyle est un polymère thermoplastique de grande consommation. Il est amorphe ou faiblement cristallin, connu généralement sous le sigle PVC. [37]

Le chlorure de polyvinyle a été obtenu à partir de L'entreprise El-Mordjen Touggourt Pour les tuyaux en plastique situés dans la région de la route Touggourt – Biskra à côté de l'usine Reghwet El-djanoub. [38]

Le polychlorure de vinyle ou chlorure de polyvinyle est un polymère thermoplastique, connu généralement sous le sigle PVC de formule – (CH<sub>2</sub> – CHCl) n. [38]

Le PVC est obtenu par polymérisation du chlorure de vinyle (CVM) :



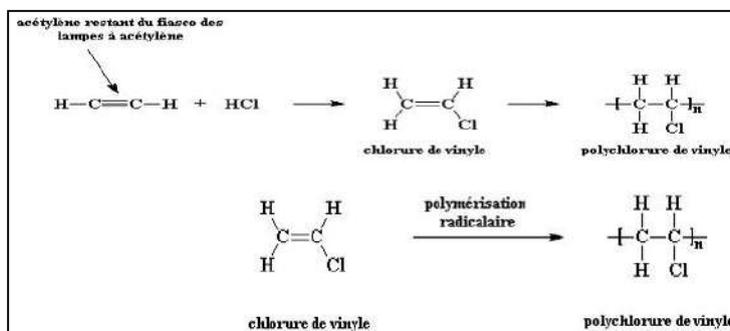
**Figure (IV.3) : Corrélation des composants du PVC**



**Figure (IV.4) : Poudrette de PVC**

Structurellement, le PVC est un polymère vinylique (non, pas possible ?). Il est similaire au polyéthylène, mais sur certains atomes de carbone de la chaîne principale, l'un des hydrogènes est remplacé par un atome de chlore. Le PVC est fabriqué par polymérisation radicalaire du chlorure de vinyle. [39]

Et là, voici le monomère, le chlorure de vinyle :



**Figure (IV.5) :** Modélisation de la phase de formation du PVC à partir de monomère

### 3.2. Composition de PVC :

Ainsi, sa composition se répartit de la manière suivante :

57 % de sel ; 43 % de dérivés du pétrole, des résidus issus de la transformation du pétrole brut en carburant.

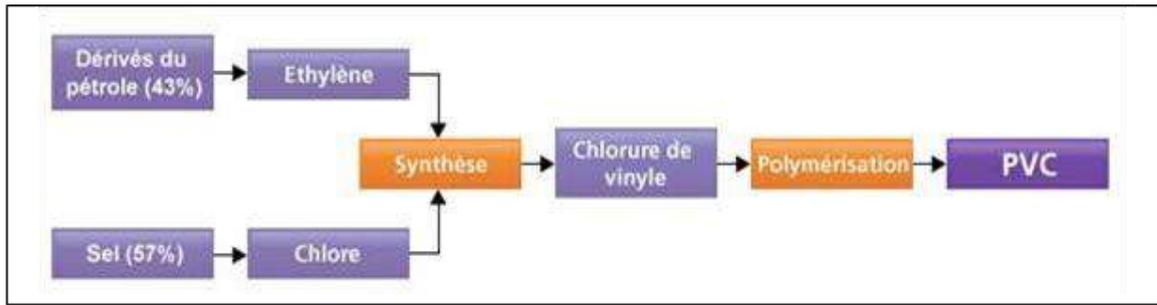
Le polychlorure de vinyle fut découvert en 1835 par un physicien français, Henri Victor Regnault. Mais ce n'est qu'en 1935 que BASF en lança la production industrielle.

Aujourd'hui, le PVC est l'une des trois matières plastiques les plus employées dans le monde. [40]

### 3.3. Fabrication de la matière PVC :

Le PVC est produit par la polymérisation du monomère de chlorure de vinyle (MCV). Les principaux procédés de polymérisation comprennent la polymérisation en suspension, en émulsion, et en masse. Environ 80% de la production utilise la polymérisation en suspension. Tout d'abord, le MCV est mis sous pression et liquéfié, puis introduit dans le réacteur de polymérisation, qui contient à l'avance de l'eau et des agents de suspension.

Ensuite, l'amorceur est introduit dans le réacteur, et le PVC est produit sous quelques bars et à 40 – 60°C. Le rôle de l'eau est d'enlever et de contrôler la chaleur dégagée dans le processus de polymérisation. Le PVC forme de minuscules particules qui croissent et, lorsqu'elles atteignent la taille souhaitée, la réaction est arrêtée et tout le chlorure de vinyle qui n'a pas réagi est éliminé par distillation et réutilisé. Le PVC est séparé et séché pour former une poudre blanche également connue sous le nom de résine de PVC (voir schéma). La polymérisation en émulsion produit des particules de tailles plus fines, qui sont requises pour certaines applications. [41]



**Figure (IV.6) :** Schéma illustratif du processus de fabrication du PVC

#### 4. Les granulats :

##### 4.1. Définition :

On appelle granulats des matériaux pierreux de petites dimensions, produits par l'érosion ou le broyage mécanique (concassage) des roches. Ce sont des matériaux inertes entrant dans la composition des bétons et mortiers. Ils constituent le squelette du béton et ils représentent, environ 80 % du poids total du béton. Ils sont constitués de sables (Grosset Fin) et de gravier. Cependant, les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton. Il y a deux Intérêts d'utiliser des granulats dans le béton : le 1er économique : Diminution de la quantité de liant (ciment et addition) ; et le 2eme technique : Limitent les variations dimensionnelles dans le béton (les granulats sont plus rigides que la pâte de ciment). [41]



**Photo (IV.1) :** Echantillon d'un granulats (LTPS Ouargla)

Dans l'enrobés bitumineux dans cette recherche, nous avons utilisé trois classes de granulats de dimensions (8/15, 0/3, 3/8) en masse (3960 g, 4920 g, 2880 g) respectivement.

Pour les classes 3/8 et 8/15 : de carrière entreprise national de granulats (ENG) à Ain Touta.

Pour la classe 0/3 : de carrière Ben Brahim du PK50.

##### 4.2. Processus de préparation dès nos granulats :

Après avoir obtenu la formulation d'enrobé bitumineux à chaud à partir de LTPS Ouargla, nous avons préparé les granulats selon les formulations obtenues, et les outils ont été préparés. Au départ, 3960 g des granules de 8/15 ont été pesés, 4920 g de 0/3 et 240 g de filler, et dans dernier ont été pesés 2880 g de 3/8, de sorte que les composants (granulats) sont placés dans cet ordre. [42]

Dont les pourcentages sont les suivants : 33% .....de 8/15

41% ..... de 0/3

02% ..... de Filler

24% ..... de 3/8

Cette formulation appartient au laboratoire des travaux publics du sud Ouargla.

## 5. Filler :

### 5.1. Définition :

Un filler proprement dit se caractérise par le degré de sa finesse de mouture avec une granulométrie variant de 1 à 80 microns. Il intervient dans le mélange par sa nature minéralogique, sa finesse de mouture et son dosage. Le rôle du filler dans le mélange est de combler les vides, de contribuer à une répartition uniforme du liant dans le mélange, d'absorber une grande partie des huiles volatiles du liant ralentissant ainsi son vieillissement. [42]

Le filler utilisé sera soit du ciment, soit de la chaux (qui améliorent tous les deux l'adhésivité et la résistance des mélanges) soit éventuellement du sable broyé. En ce qui concerne le mélange que nous avons préparé, nous avons utilisé le filler de la chaux. [42]



Photo (IV.2) : Echantillon de filler (LTPS Ouargla)

## 6. Les essais de granulats :

Tous les résultats de granulats appartiennent à l'inspecteur de laboratoire des travaux publics du sud unité d'Ouargla.

### 6.1. Analyses granulométrique :

#### ➤ Résultats :

Tableau (IV.2) : Résultats obtenus d'analyse granulométrique

	0/3	3/8	8/15
Inf. à 16 mm	-	-	100
Inf. à 12,5 mm	-	-	71
Inf. à 10 mm	-	-	47
Inf. à 8 mm	-	98	24
Inf. à 6,3 mm	-	84	3
Inf. à 5 mm	-	55	1
Inf. à 4 mm	100	37	0
Inf. à 3,15 mm	92	20	-
Inf. à 2,5 mm	80	7	-
Inf. à 2 mm	72	2	-
Inf. à 0,63 mm	42	-	-
Inf. à 0,315 mm	32	-	-
Inf. à 0,160 mm	23	-	-
Inf. à 0,080 mm	14	-	-

La pente 8/15 est réduite, contrairement à 0/3 et 3/8.

**6.2. Essai propriété (P) :**

➤ **Résultats :**

$$P(\%) = \frac{M_0 - M_1}{M_0} * 100 \quad [43]$$

**Tableau (IV.3) :** Résultats obtenus de propriété

Classes	3/8	8/15
Propreté (%)	2	0,27

La proportion de propreté à 8/15 est meilleure à 3/8.

**6.3. Essai d'aplatissement :**

➤ **Résultats :**

Le coefficient d'aplatissement global A est donné par :

$$A = \frac{\sum Me}{\sum MG} * 100 \quad [44]$$

**Tableau (IV.4) :** Résultats obtenus d'aplatissement

Classes	3/8	8/15
Aplatissement (%)	31,46	19,59

À la classe 8/15, on remarque que la valeur d'aplatissement de la classe de gravier 3/8 est élevé à la tolérance ( $A > 20\%$ ), par contre, la classe de gravier 8/15 a une valeur acceptable.

**6.4. Essai los angeles:**

➤ **Résultats :**

Le coefficient Los Angeles (LA) est donné par le rapport :

$$LA = 100 \times (5000 - m_1) / 5000 \quad [45]$$

**Tableau (IV.5) :** Résultats obtenus de Los Angeles

Classe	10/14
LA (%)	21,58

la résistance à l'usure du mélange est conforme à les exigences.

**6.5. Essai micro deval :**

➤ **Résultats :**

Calculer le coefficient Micro-Deval par :

$$MDE = 100 (m / M)$$

Où :

$$m = M - m'$$

$M = 500 \text{ g}$  ou  $10\,000 \text{ g}$  [45]

**Tableau (IV.6) : Résultats obtenus de Micro-Deval**

Classe	10/14
MDE (%)	15,58

Comme la condition  $MDE < 20\%$ , la résistance à la corrosion du mélange est donc acceptable.

#### 6.6. Essai friabilité des sable :

##### ➤ Résultats :

Calculer le coefficient de friabilité des sable par :

$$FS = (500 - \text{refus}) / 500 * 100 \text{ [46]}$$

**Tableau (IV.7) : Résultats obtenus de friabilité de sable**

Classe	0/3
FS (%)	5,67

Notez que la valeur FS est faible ( $FS < 40\%$ ).

#### 6.7. Essai équivalent des sable :

##### ➤ Résultats :

On en déduit l'équivalent de sable par la relation ci-dessous. L'essai dit d'équivalent de sable - permet de déterminer le degré de propreté du sable :

$$ES = \frac{h_1}{h_2} * 100 \text{ [47]}$$

**Tableau (IV.8) : Résultats obtenus d'équivalent de sable**

Classe	0/3
ES (%)	60.06

La valeur enregistrée vérifie la condition ( $ES > 45\%$ ).

#### 6.8. Essai au bleu de méthylène :

##### ➤ Résultats :

Calculer la valeur de bleu de la prise d'essai, Celle-ci est donnée par la formule suivante :

$$VB = \frac{V_1 - V'}{M_1} * 10$$

Avec : -  $V_1$  : est le volume total (en ml) de la solution de bleu ajoutée.

-  $V' = 30$ . MBK en  $\text{cm}^3$ .

-  $M_1$  : est la masse sèche de la prise sèche en g. [48]

**Tableau (IV.9) : Résultats obtenus au bleu de méthylène**

Classe	0/3
V <sub>B</sub>	0,25

Le résultat montre que la valeur satisfait à la condition (V<sub>B</sub><1).

### 6.9. Masse Volumique :

#### A) Masse volumique absolue :

##### ➤ Résultats :

La masse volumique est alors donnée par la relation :

$$\gamma = \frac{M}{V_2 - V_1} \quad [47]$$

**Tableau (IV.10) : Résultats obtenus de masse volumique absolue**

Classes	0/3	3/8	8/15
Masse volumique absolue (t/m <sup>3</sup> )	2,55	2,65	2,67

#### B) Masse volumique apparente :

##### ➤ Résultats :

La masse volumique est donnée par :

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V_0} \quad [47]$$

**Tableau (IV.11) : Résultats obtenus de masse volumique apparente**

Classes	0/3	3/8	8/15
Masse volumique apparente (t/m <sup>3</sup> )	1,43	1,45	1,45

## 7. Conclusion :

Dans cette section dédiée aux matériaux utilisés pour connaître certaines informations et données, pour le bitume, nous avons fourni une définition de la source de bitume, qui provenait de l'institution de Nftal, en plus des types commercialisés par cette institution, comme pour le PVC, nous avons parlé des composants et de la fabrication, Pour le concret et l'introduction de la définition de l'élément Filler alors que nous essayions de fournir des informations sur la production d'agrégats et de sable en Algérie, nous avons également arrondi le tableau en précisant les concepts et les caractéristiques de ces matériaux.

*Chapitre V :*  
*Résultats et*  
*discussions*

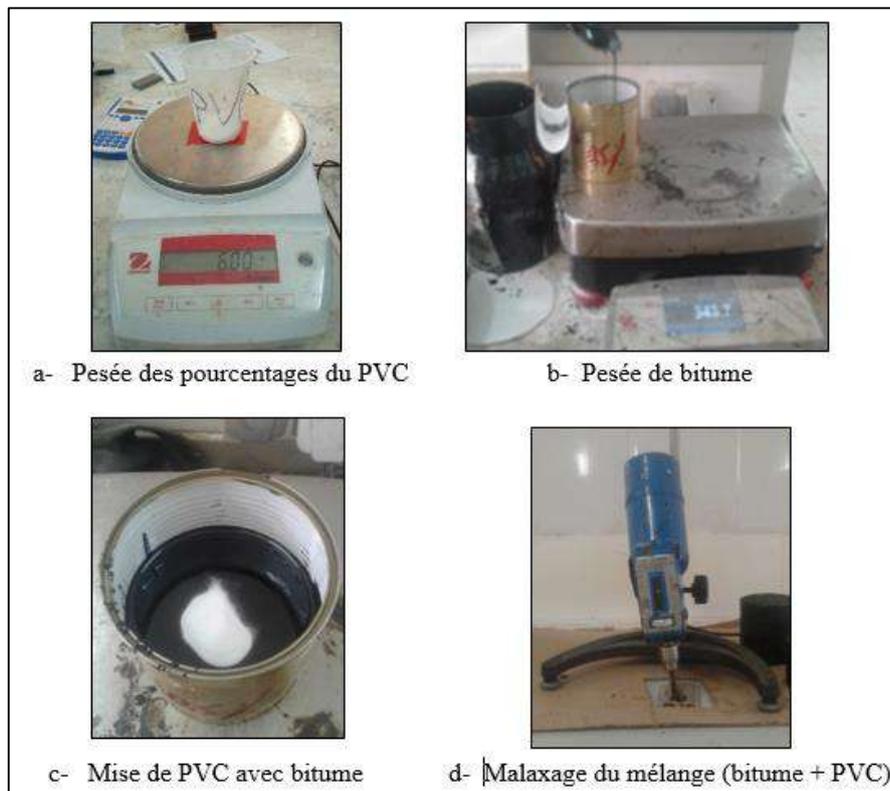
## 1. Introduction :

Pour identifier l'effet du chlorure de polyvinyle sur le bitume d'une part et l'effet du bitume modifié sur le béton bitumineux, il est nécessaire de procéder à des essais qui nous aident à étudier ceci et à travers les résultats obtenus. Nous avons consacré ce chapitre aux résultats et en avons analysé et interprété les résultats c'est en analysant et en interprétant les résultats que nous avons essayé de fournir autant des essais que possible, à savoir l'essai de pénétrabilité, point de ramollissement et force ductilité d'une part, ainsi que l'essai Marshall et masse volumétrique apparente d'autre part, qui donneraient une idée plus précise et plus complète de l'effet du polychlorure de vinyle sur les propriétés du bitume.

## 2. Bitume modifié :

### 2.1. Préparation des échantillons de bitume modifié :

- Chauffer le bitume à la température de fusion.
- Pesée d'une quantité de PVC est spécifié (0,5%, 1%, 1,5%, 2%).
- Pesée de 400 g de bitume par rapport aux rapports précédents (4 échantillons).
- Mettez chaque pourcentage de PVC avec bitume pondéré pour obtenir 4 échantillons (bitume + PVC).
- Nous introduisons chaque échantillon dans l'étuve avec un mélangeur à 180 ° C.
- Nous entrons chaque échantillon dans l'étuve avec une température qui a un mélangeur.
- Mélanger chaque échantillon avec un mélangeur pendant 2 heures.
- Après le mélange des échantillons, nous menons les essais directement.



**Photo (V.1) :** Les étapes de préparation des échantillons

## 2.2. Influence de PVC sur la pénétrabilité :

### 2.2.1. Essai de pénétrabilité (EN 1426) :

#### - Principe d'essai :

L'essai consiste à déterminer la consistance des bitumes et des liants bitumineux. Cette méthode consiste à définir 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. [49]

#### - But d'essai :

Cet essai a pour but de mesurer la résistance à la pénétrabilité d'un bitume afin de lui donner sa classe correspondante. [49]

#### - Matériels utilisé :

- Pénétrromètre.
- Aiguille de pénétration.
- Récipient d'échantillon d'essai.
- Bain- marie.
- Dispositif de chronométrage. [49]



**Photo (V.2) :** Exemple de l'appareil de pénétrabilité + l'échantillon (LTPS Ghardaïa)

#### - Mode opératoire :

- Prélever l'échantillon de bitume en s'assurant que l'échantillon de l'essai est bien représentatif que l'échantillon de laboratoire tout en vérifiant que ce dernier soit homogène et non contaminé.
- Chauffer le matériau pour le liquéfier à une température de 30°C maximum.
- Prendre au minimum 100grs de l'échantillon et procéder à son remplissage dans le récipient d'échantillon (la profondeur de bitume dans le récipient doit être supérieure d'au moins 10mm).
- Le chauffer pour qu'il devienne liquide à une température comprise entre 125° à 147°C.
- Laisser refroidir à la température ambiante, entre 15° et 30°C pendant 90 minutes.
- Placer l'échantillon dans un bain marie à une température constante pendant 10minutes.
- Mettre en place le récipient.
- Abaisser lentement l'aiguille jusqu'à ce que sa pointe coïncide avec son image réfléchi par la surface de l'échantillon puis libérer rapidement la porte aiguille pendant un laps de temps prescrit (5secondes).
- Mesurer avec l'indicateur le déplacement vertical de l'aiguille avec une précision de 0,01mm.
- Effectuer au moins deux opérations. [49]



Photo (V.3) : L'échantillon



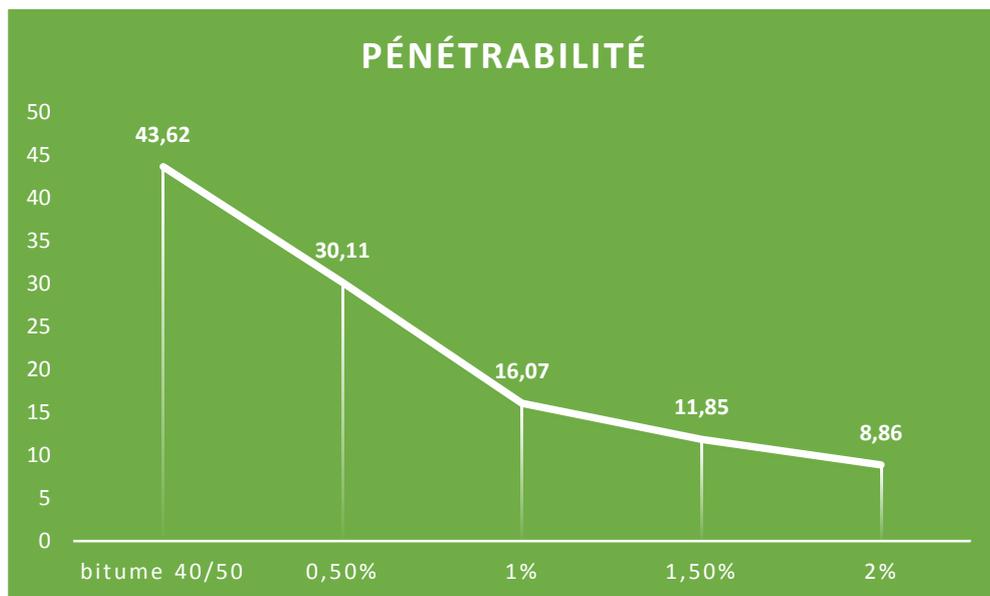
Photo (V.4) : Echantillon dans le bain- marie

### 2.2.2. Résultats obtenus :

Le tableau suivant explique les valeurs de pénétration en mm pour chaque échantillon avant et après modification :

**Tableau (V.1) :** Variation de la pénétration en fonction de la teneur en PVC

Pourcentage (%)	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00
Pénétrabilité (1/10mm)	43,62	30,11	16,07	11,85	8,86



**Figure (V.1) :** La courbe d'évolution des valeurs de pénétration en termes de quantité de PVC

### 2.2.3. Analyse :

La courbe indiquant l'évolution des valeurs de pénétration en termes de taux de polychlorure de vinyle indique une diminution de la courbe le long de l'intervalle [0%, 2%]. Les valeurs de pénétration diminuent avec l'augmentation du rapport de PVC. La valeur de 43,62 mm avant l'ajout de PVC a commencé à diminuer à partir de cette valeur. À 30,11 mm à 0,5% et au taux de 1% est estimé à 16,07mm et continue à diminuer jusqu'à la valeur de 11,85 mm à 1,5%, tandis que le rapport de 2% est 8,86 mm est la valeur la plus

basse et cette valeur pour la coloration est indésirable dans les travaux les valeurs continues de points de suture pour modifier le niveau de la structure du bitume et cela est le résultat de l'impact du PVC, qui a contribué à augmenter la dureté du bitume.

### 2.3. Influence de PVC sur la TBA :

#### 2.3.1. Essai de TBA (EN 1427) :

##### - Principe d'essai :

L'essai consiste à déterminer le point de ramollissement des bitumes et liants bitumineux dans une plage de températures de 28 °C à 150° C. Deux disques horizontaux de bitume, moulés dans des anneaux de laiton épaulés sont chauffés dans un bain liquide avec un taux d'élévation de la température contrôlé de 5°C par minute, alors que chacun soutient une bille d'acier de dimension et poids définis. [50]

##### - But d'essai :

L'essai bille-anneau permet de déterminer le point de ramollissement du bitume (en °C). Le point de ramollissement correspond à la transition entre dure/élastique et liquide/plastique. [50]

##### - Matériels utilisé :

Pour réaliser cet essai il faut :

- Un bécher.
- Un système bille-anneau (anneaux, billes, support).
- Un agitateur magnétique chauffant.
- Un chronomètre.
- Un thermomètre. [50]



**Photo (V.5) :** Exemple de l'appareil de TBA + l'échantillon (LTPS Ghardaïa)

##### - Mode opératoire :

- On remplit les anneaux en cuivre par du bitume.
- On place une bille en acier au-dessus de ces anneaux.
- L'eau est portée à une température inférieure à 5°C.
- On plonge le système bille-anneau dans l'eau lorsque l'eau atteint 5° et on démarre le chronomètre.
- On élève la température de 5 °C par minute.
- Lorsque la première bille enrobée de bitume touche le fond du support, on enregistre la température.
- On enregistre la température lorsque la seconde bille touche le fond du support.
- On fait la moyenne de deux températures pour déterminer le point de ramollissement. [50]



**Photo (V.6) :** Remplissage des anneaux avec du bitume



**Photo (V.7) :** Echantillon dans le bain- marie

### 2.3.2. Résultats obtenus :

Le tableau suivant indique les valeurs de température pour différents échantillons avant et après modification :

**Tableau (V.2) :** Influence de la teneur en PVC sur la TBA

Teneur (%)	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00
TBA (°C)	53,4	64,2	79,9	85,1	90,1



**Figure (V.2) :** Courbe de changement de température en termes de valeurs de PVC

### 2.3.3. Analyse :

La courbe montrant l'évolution de la température en termes de pourcentage de PVC montre une augmentation dans l'intervalle des pourcentages étudiés [0%, 2%] puisque nous enregistrons 53,4 °C avant modification et une augmentation à la valeur de 64,2 °C à 0,5% tout en atteignant 79,9 ° Dans la proportion de 1% ou 1,5% à 85,1 °C et à 90,1 °C à 2%, cette diminution est due à l'interaction du PVC avec le bitume, ce qui rend le bitume plus solide que dans son état primaire.

## 2.4. Influence de PVC sur la force ductilité :

### 2.4.1. Essai force ductilité (EN 13589) :

#### - But de l'essai :

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. [51]

#### - Principe :

Une éprouvette moulée est étirée dans un ductilimètre à la température d'essai et à vitesse constante jusqu'à la rupture ou jusqu'à obtenir un pourcentage d'allongement d'au moins 1333 % (400 mm). [51]

#### - Matériels utilisés :

Ductilimètre : Le ductilimètre comprend un dispositif de traction et un bain d'eau.

- dispositif de traction : Le dispositif de traction doit pouvoir maintenir une vitesse constante des parties mobiles de  $(50 \pm 2,5)$  mm/min.
- Bain d'eau : Bain d'eau thermostatisé, pouvant maintenir l'éprouvette et les dispositifs de fixation à la température spécifiée pendant toute la durée de l'essai, et doté d'un moyen de contrôle de la température d'essai.
  - Dispositif d'enregistrement, pour la force appliquée et l'allongement de l'éprouvette.
  - Equipement de moulage des éprouvettes. [51]

#### - Mode opératoire :

- Couvrir la plaque de base et la face interne des panneaux latéraux des moitiés du moule avec un liquide visqueux.
- Compilez les différentes parties des trois modèles et placez-les sur une plaque de base. Appuyez les deux moitiés du moule l'une contre l'autre à l'aide d'un clou effiloché.
- Placez la quantité d'échantillon nécessaire à la fabrication de trois éprouvettes dans un creuset et chauffez-les. Vous remplissez immédiatement les trois moules en les décalant dans le sens longitudinal afin d'obtenir une répartition uniforme de l'échantillon dans le moule et même du cartilage convexe.
- Laissez les échantillons moulés pendant environ 1 heure à la température ambiante, puis retirez les pièces en excès du moule avec un couteau chaud.
- Placez les échantillons dans le bain d'eau et maintenez-les à la température de test pendant une heure et demie avant de passer à l'essai. [51]



**Photo (V.8) :** Exemple de l'appareil de ductilité (LTPS Ghardaïa)

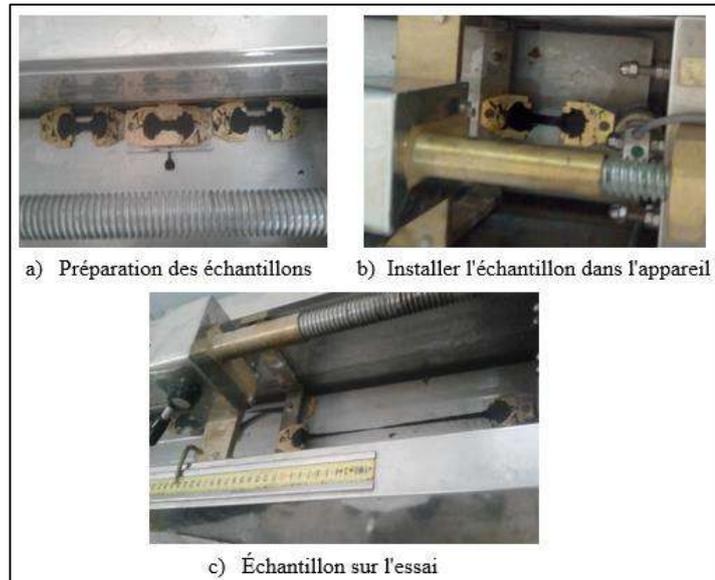


Photo (V.9) : Les étapes d'essai

**2.4.2. Résultats obtenus :**

- Dans le cas 0.5% :

Tableau indiquant les valeurs de la résistance de la cohésion du bitume pour chaque allongement de 1 cm de la résistance à la traction appliquée à l'échantillon de 0.5% :

**Tableau (V.3) :** Force de ductilité en fonction de l'allongement (0.5%)

Allongement (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Force ductilité (N)	22,6	26,8	26,5	22,4	18,6	14,3	11,4	9,1	7,2
Allongement (cm)	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Force ductilité (N)	5,8	4,7	3,7	2,9	2,2	1,5	0,7	0,4	0,1

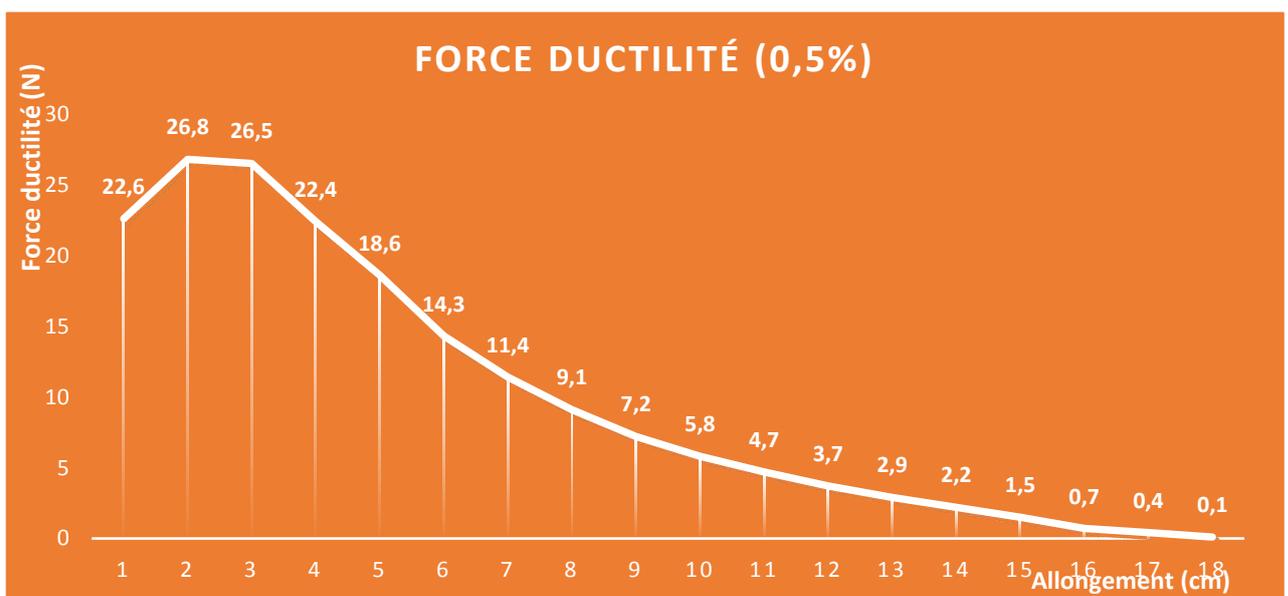


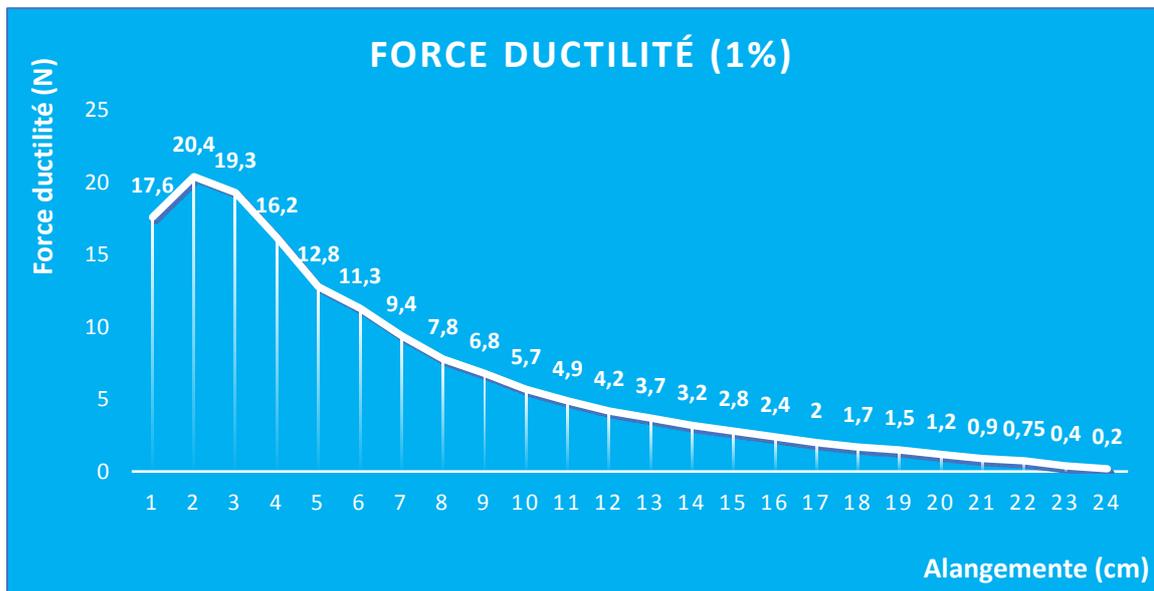
Figure (V.3) : Courbe de changement de force de cohérence en termes d'élongation (0.5%)

- **Dans le cas 1% :**

Tableau expliquant les valeurs de la résistance au bitume de l'échantillon 1% par allongement de 1 cm de la force à la traction appliquée :

**Tableau (V.4) :** Force de ductilité en fonction de l'allongement (1,0%)

Allongement (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8
Force ductilité (N)	17,6	20,4	19,3	16,2	12,8	11,3	9,4	7,8
Allongement (cm)	9	10	11	12	13	14	15	16
Force ductilité (N)	6,8	5,7	4,9	4,2	3,7	3,2	2,8	2,4
Allongement (cm)	17	18	19	20	21	22	23	24
Force ductilité (N)	2	1,7	1,5	1,2	0,9	0,75	0,4	0,2



**Figure (V.4) :** Courbe de changement de force de cohérence en termes d'élongation (1%)

- **Dans le cas 1.5% :**

Tableau indiquant les valeurs de la cohésion du bitume de l'échantillon 1.5% pour chaque allongement de 1 cm :

**Tableau (V.5) :** Force de ductilité en fonction de l'allongement (1.5%)

Allongement (cm)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
Force ductilité (N)	34,7	37,9	36	34,5	25,8	18,5	14,8	13,2	10,6	8,1	6,0	1,7

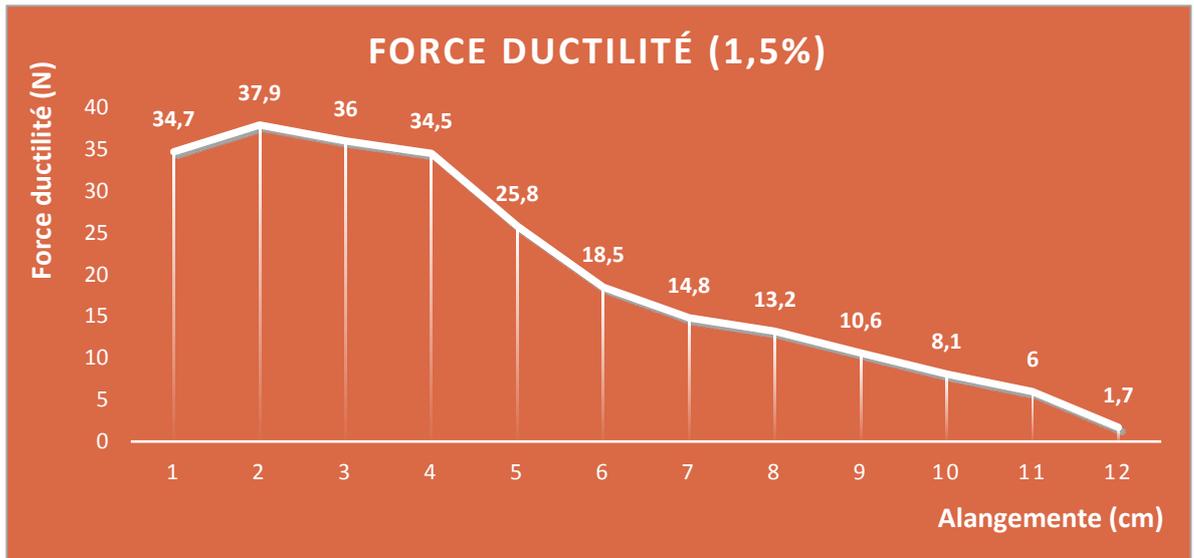


Figure (V.5) : Courbe de changement de force de cohérence en termes d'élongation (1.5%)

- Dans le cas 2% :

Le tableau suivant présente les valeurs de cohérence du bit modifié à chaque allongement de 1cm lié à 2% :

Tableau (V.6) : Force de ductilité en fonction de l'allongement (2%)

Allongement (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Force ductilité (N)	28,1	29,9	36,5	31,6	26,4	20,4	15,9	12,1	8,7

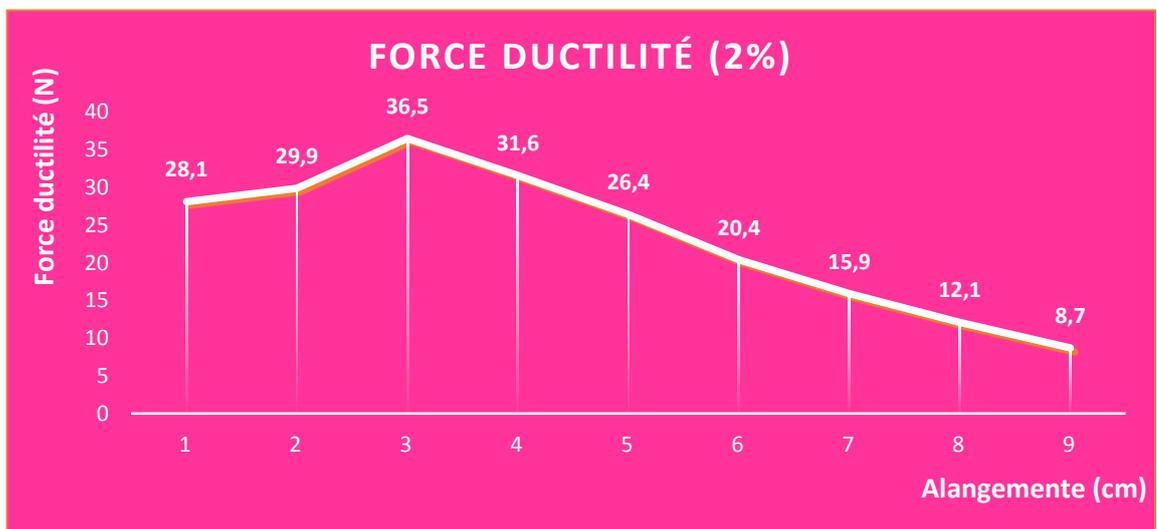


Figure (V.6) : Courbe de changement de force de cohérence en termes d'élongation (2%)

2.4.3. Analyse :

- Dans le cas 0.5% :

La courbe, qui montre l'évolution de la résistance du bitume en termes d'allongement dans le cas de 0,5%, montre une légère augmentation au début de l'essai (1 cm), puis commence un déclin progressif sur l'intervalle [2cm, 18cm], où la courbe peut être divisée

en deux parties, où la première [1cm, 2cm], ce qui a donné les valeurs 22,6N et 26,8N respectivement, en raison de la résistance du bitume à la force qui lui est appliquée (résistance à la traction) estimée à 50mm/min et à la seconde [2 cm, 18 cm] Diminuer de 26,8N à 2cm pour être à 3 cm est estimé à 26,5N et la courbe continue à diminuer jusqu'à un allongement de 18 cm, qui a une valeur de force égale à 0,1N. Ceci est dû à la faiblesse de La force de la cohésion du bitume par rapport à sa force dans le cas initial du bitume.

Une valeur de 20cm pour l'effondrement du bitume indique le manque de force de la cohésion.

- **Dans le cas 1% :**

La courbe peut être divisée en deux parties [1 - 2], ce qui donne les valeurs 17,6N et 20,4N. Cela est dû à la résistance du bitume contre la force qui lui est appliquée (la force de traction) et à la seconde [2-24], où la force de cohésion commence à diminuer de 20,4N à 2 cm au 0,2 N à 24cm Cette diminution est due à une faiblesse de la résistance du bitume et 26,6cm ont été enregistrés comme la valeur de l'effondrement du bitume.

- **Dans le cas 1.5% :**

La courbe de l'évolution de la résistance du bitume dans le cas de l'allongement dans le cas de 1,5%, nous notons une légère augmentation de la courbe au début de l'essai puis commençons la décroissance progressive sur l'intervalle [2-12] où la courbe peut être divisée en deux parties [1 - 2] 34,7N et 37,9N respectivement, en raison de la présence de résistance du bitume à la résistance à la traction qui lui est appliquée, et du second [2-12] qui commence à diminuer de 37,9 N à 2cm à 1,7N à un allongement de 12cm Et ceci est dû à la présence d'une faiblesse dans la force de la cohésion du bitume et à la valeur de l'effondrement de ce pourcentage de 13,2 cm.

- **Dans le cas 2% :**

La courbe peut être divisée en deux parties [1-3] avec les valeurs (28.1, 29,9, 36,5) N à (1, 2, 3cm), respectivement, en raison de la résistance du bitume à la résistance à la traction, tandis que le second intervalle [3-9] diminue la force de cohésion de 36,5N à 3cm à La valeur de 8,7N à 9cm Ceci est dû à une faiblesse de la résistance de la cohésion du bitume, la valeur estimée de l'effondrement de ce pourcentage de 9,8cm.

### 3. Béton bitumineux modifié :

Après les résultats positifs de la modification du bitume par PVC, nous voulions connaître l'effet de ce bitume modifié sur béton bitumineux, avec le meilleur pourcentage, qui est de 1,5%.

#### 3.1. Préparation des échantillons Marshall modifiés :

- Pesée des enrobés formant (lient, 8/15, 3/8, 0/3, filler).
- Placez les granulés à 160 ° C pendant environ 2 heures.

- Placez les deux moules, le modificateur de bitume et les outils d'expérimentation dans le four.
- Mélange des granulés avec modificateur de bitume à très bien mélangé (4min, 5min) par malaxeur.
- Placez le mélange dans l'étuve.
- Remplissez 4 les moule avec le mélange et mettez au l'étuve.
- Effectuez le processus d'estampage pour chaque échantillon.
- Retrait des échantillons des moules, mesure du poids et de la hauteur d'éprouvette.
- Placer les échantillons dans un bain-marie (60 ° C) pendant 40 minutes par échantillon.
- Effectuer un essai Marshall pour trois échantillons.
- Laissez-le reste de l'échantillon pour l'essai de densité.
- Envelopper l'échantillon avec de la paraffine après le chauffage.
- Le poids de l'échantillon dans deux cas (avant et après immersion dans l'eau).



Photo (V.10) : Pesage des granulats et bitume



Photo (V.11) : Malaxage du mélange (LTPS Ouargla)

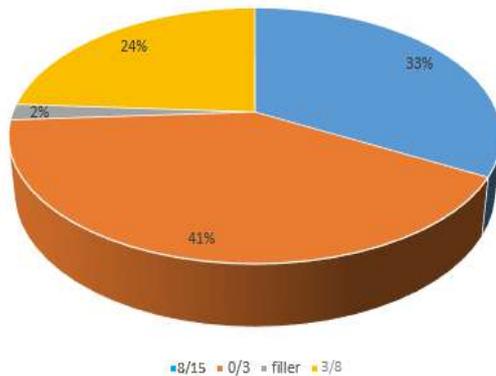


Figure (V. 7) : Cercle relatif montrant la distribution la formulation



Photo (V.12) : Pesage de l'échantillon

### 3.2. Influence de bitume modifié sur marchal :

#### 3.2.1. Essai de Marshall (EN 12697-34) :

##### - Principe d'essai :

Les échantillons Marshall sont compactés conformément à la norme EN 12697. La stabilité, le débit et le quotient Marshall sont ensuite déterminés sur ces échantillons en utilisant des procédures définies et consignés avec la densité apparente de l'échantillon. [52]

##### - But d'essai :

Détermination de la teneur en vides et des caractéristiques mécaniques d'un enrobé bitumineux. L'essai Marshall ne donne pas d'indications sur la résistance aux déformations d'un revêtement : il sert de valeur indicative et donne des indications sur la régularité. [52]

##### - Matériels utilisés :

- Machine d'essai de compression, Ayant une capacité minimale recommandée de 28KN.
- Un appareil de mesure du débit capable de déterminer les déformations avec une précision de  $\pm 0,1$  mm.
- Tête d'essai : têtes de rupture supérieure et inférieure aux dimensions spécifiques.
- Bain-marie d'une profondeur minimale de 150 mm et capable de maintenir l'eau à une température de  $60 \pm 1$  °C.
- Etuve capable de maintenir une température de 160 °C.
- Balance. [52]

##### - Mode opératoire :

- Placer les récipients couverts dans l'étuve jusqu'à ce que le mélange atteigne la T° de compactage (max 120 min).
- Placer un disque antiadhésif dans le fond du moule complet.
- Introduire le mélange dans le moule à l'aide d'un entonnoir
- Nivelier délicatement la surface de l'échantillon et recouvrir l'ensemble d'un disque antiadhésif
- Dans les plus brefs délais, compacter l'échantillon en appliquant 50 coups.
- Retourner le corps du moule et appliquer à nouveau 50 coups.
- La plaque de base et le papier antiadhésifs sont retirés et le moule contenant l'éprouvette est refroidi à l'air jusqu'à ce que l'éprouvette puisse être démoulée sans être endommagée.
- L'éprouvette est démoulée et placée avec une de ses faces planes sur une surface horizontale. Elle est conservée ainsi à température ambiante pendant 12 à 24 h.

- L'éprouvette est placée, avec une de ses faces planes, sur la plaque perforée du bain d'eau préalablement thermostaté à  $(60 \pm 1) ^\circ\text{C}$ . Elle y est conservée pendant 30 à 40 min.
- L'éprouvette est ensuite placée entre les mâchoires.
- L'éprouvette est écrasée à une vitesse de déformation constante de  $0,85 \pm 0,02$  mm/s. On enregistre le diagramme charge/déformation (diagramme Marshall) à l'aide de l'enregistreur. [52]



**Photo (V.13) :** Etuve de l'étude



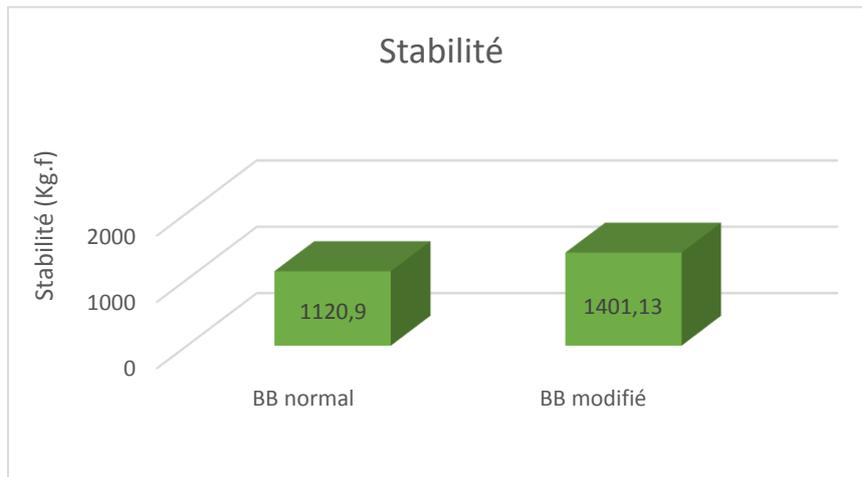
**Photo (V.14) :** Echantillons Marshall dans le bain

**3.2.2. Résultats obtenus :**

- **Stabilité :**

**Tableau (V.7) :** Stabilités Marshall pour BB normal et modifié

	BB normal	BB modifié
Stabilité (Kg.f)	1120,9	1401,13

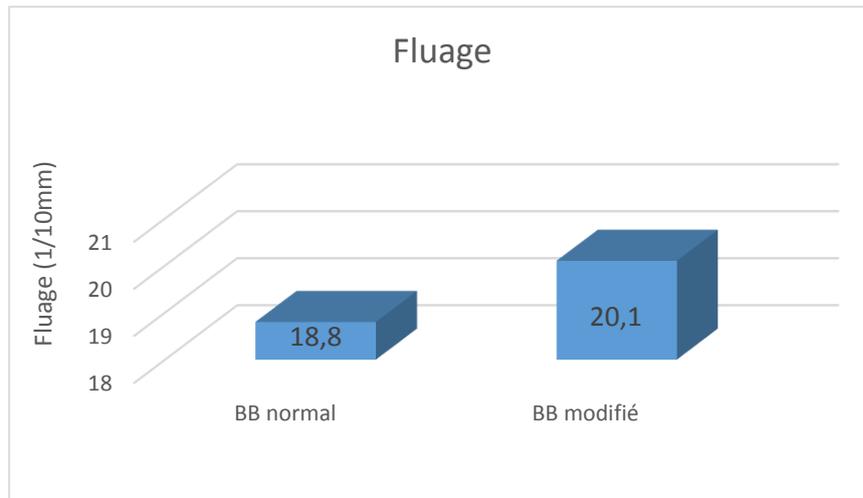


**Figure (V.8) :** Les colonnes graphiques montrent les valeurs de stabilité pour BB normal et modifié.

- **Fluage :**

**Tableau (V.8) :** Fluage du BB normal et modifié

	BB normal	BB modifié
Fluage (1/10mm)	18,8	20,1



**Figure (V.9) :** Les colonnes graphiques montrent les valeurs de fluage pour BB normal et modifié.

### 3.2.3. Analyse :

#### - Stabilité :

Le graphique ci-dessus montre que la valeur de stabilité dans le cas du bitume modifié (1401,13) est supérieure à celle du bitume pur (1120,9), en raison de l'effet du bitume modifié sur le comportement du mélange bitumineux qui l'a rendu plus stable.

#### - Fluage :

Le graphique ci-dessus montre que la valeur du fluage dans l'état du bitume modifié est supérieure à celle du bitume pur la valeur de 1,88 mm a été enregistrée pour le bitume pur, tandis que la valeur de 2,01 mm a été attribuée au bitume modifié, en raison de l'effet du bitume modifié sur le comportement du mélange bitumineux.

### 3.3. Influence de bitume modifié sur la masse volumique apparente :

#### 3.3.1. Essai de masse volumique apparente par pesée hydrostatique (EN 12697-6) :

##### - Principe d'essai :

On détermine la masse d'éprouvette puis son volume apparent par pesée hydrostatique après paraffinage de sa surface. En application de la loi d'Archimède, on déduit la masse volumique apparente de l'éprouvette. [53]

Il est admis que les éprouvettes ne soient pas paraffinées, si l'uni et l'aspect de surface laissent présager une étanchéité de l'éprouvette. Dans ce cas particulier, il en est fait mention sur le procès-verbal d'essai. [53]

##### - But d'essai :

La présente norme spécifie une méthode d'essai pour la détermination de la masse volumique apparente d'une éprouvette de mélange hydrocarboné par immersion dans l'eau (pesée hydrostatique). [53]

- **Matériels utilisé :**

- Récipient pour mettre de la paraffine et le maintenir à la température de fusion.
- Chauffage électrique.
- Un réservoir d'eau de taille suffisante pour immerger tout l'échantillon dans de l'eau.
- Balance reliée à un box immergé dans l'eau. [53]

- **Mode opératoire :**

Après avoir préparé les échantillons selon le test Marshall, nous prenons l'un des échantillons pour tester la densité.

- chauffer la paraffine à sa température de fusion (10 °C).
- pesée de l'échantillon ( $m_1$ ) puis enveloppé dans de la paraffine.
- Le poids de l'échantillon avant et après immersion dans l'eau ( $m_2, m_3$ ). [53]

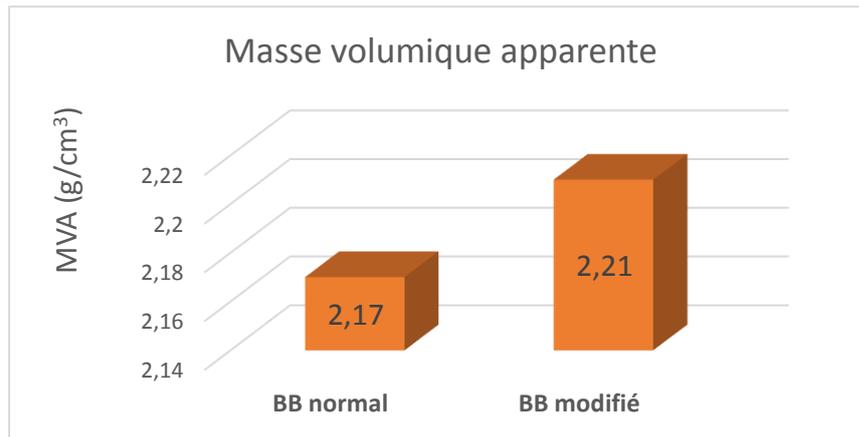


**Photo (V.15) :** Les étapes d'essai

**3.3.2. Résultats obtenus :**

**Tableau (V.9) :** Masse volumique apparente pour BB normal et BB modifié

	BB normal	BB modifié
Masse volumique apparente ( $\text{g/cm}^3$ )	2,17	2,21



**Figure (V.10) :** Les colonnes graphiques montrent les valeurs de masse volumique apparente pour BB normal et modifié.

### 3.3.3. Analyse :

Dans le graphique ci-dessus, la masse volumique apparente de bitume modifié est supérieure à sa valeur dans le cas du bitume pur, 2,81 pour le bitume modifié et 2,35 pour le bitume pur, en raison de l'effet du bitume modifié sur les propriétés du mélange bitumineux qui l'a rendu plus stable.

## 4. Synthèse générale :

La modification du bitume et son utilisation dans le mélange bitumineux est une découverte importante qui constitue un développement majeur. Nous avons choisi à travers cette recherche d'obtenir les résultats et de connaître la nature de l'effet du PVC sur le bitume pur d'une part et l'effet de ce bitume obtenu sur le mélange bitumineux d'autre part, réalisation de 5 essais en laboratoire trois d'entre eux étudient le comportement du bitume modifié et deux essais portant sur les propriétés des enrobés bitumineux, nous avons conclu que 1.5% du PVC était le meilleur dans le processus de modification du bitume, avec les résultats souhaités par rapport aux autres pourcentages et des résultats positifs en valeurs stabilité et fluage ainsi qu'une amélioration des valeurs de densité basé sur les résultats des essais de Marshall et de masse volumique apparente.

## 5. Conclusion :

Le polychlorure de vinyle a contribué à rendre le bitume plus rigide et à donner un béton bitumineux plus stable et plus fluage, et le bitume étant plus rigide dans les conditions de polymère utilisées dans la modification est bienvenu car il confère un point de ramollissement élevé qui aide les couches du sol à résister à la température. Le polychlorure de vinyle contient des atomes de chlore qui peuvent être résistants à l'inflammabilité.

Ainsi, le PVC contribue à améliorer les propriétés et la qualité du bitume afin de le rendre plus adaptable aux influences extérieures sur la couche superficielle. Il aide à prévenir la désintégration du bitume en été. Il peut dire qu'il modifie le comportement de la viscosité de la membrane bitumineuse afin de le rendre plus approprié et adaptable aux variations de température.

## CONCLUSION GENERAL

L'objectif de cette étude est d'étudier les propriétés et le comportement du bitume modifié par le PVC, en adoptant un certain nombre d'essais, notamment le bitume, qui nous ont permis de connaître l'effet du PVC sur les propriétés du bitume, en plus des essais de béton bitumineux, si on étudie l'effet du bitume de PVC sur le béton bitumineux en effectuant des essais Marshall et la masse volumique apparente qui est utilisée pour déterminer les données de mise à la terre.

Les différents essais sont très importants lors de l'étude du comportement du bitume modifié, d'autant plus que ce processus est largement connu dans le domaine de la recherche car les pays intéressés connaissent de nombreuses découvertes et résultats dans ce domaine, ce qui leur a permis d'accorder plus d'attention et de spécialisation aux derniers équipements et dispositifs, Utilisé en modification variée et pour chaque type d'autres variétés.

Il a été obtenu grâce à cette recherche. On peut dire que les résultats sont bons et qu'ils contribuent à résoudre certains des défauts des couches superficielles des routes présentant des déformations et des fissures résultant d'un certain nombre de facteurs et de raisons, que nous trouvons au sommet de la variation quotidienne de la température dans la région sud algérienne lorsqu'on parle des essais de bitume testé. Nous avons observé des valeurs de pénétration décroissantes et, inversement, des valeurs croissantes dans l'essai du point de ramollissement avec une variation des valeurs d'allongement dans l'essai de force ductilité, ce qui est acceptable et réaliste car il est connu que la relation entre le test de pénétration et le test du point de ramollissement est inverse ceci est illustré par les résultats obtenus. En ce qui concerne le test Marshall du béton bitumineux, nous avons enregistré des valeurs de stabilité et de fluage accrues dans le mélange modifié par rapport aux conditions normales de conditions de réalisation ( $1401,13 > 1069,95 \text{ Kg.f}$  ;  $2,01 < 4 \text{ mm}$ ), ce qui est identique dans le test de masse volumique apparente où nous avons enregistré une valeur croissante de  $2,17 \text{ g/cm}^3$  à  $2,21 \text{ g/cm}^3$ .

Dans cette étude, nous avons conclu par un ensemble de recommandations résumées dans :

- PVC peut entrer dans la modification du bitume.
- Le PVC donne des résultats acceptables en stabilité d'avantage qu'en fluage.
- Le PVC aide à donner au bitume plus de dureté.
- Le bitume peut être modifié avec du PVC à condition de ne pas dépasser le rapport optimal.
- Le pourcentage optimal de modification du PVC est estimé à 1,5% de la masse de bitume.
- La température acceptable pour le bitume normal est de  $160 \text{ }^\circ\text{C}$ , pour le bitume modifié par les caractéristiques (en cas de PVC, on a  $T= 180 \text{ }^\circ\text{C}$ ).
- Le PVC doit conserver ses propriétés sauf si la température dépasse  $190 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Le comportement du bitume solide à basse température et collant au proche liquide en cas de température élevée.
- Le PVC est formé à partir du processus de polymérisation du monomère, où les ponts chimiques sont formés.

**Références bibliographiques**

- [1] KEBAILI, Nabil, 2017. L'asphalte caoutchouc valorisation de la poudrette de caoutchouc en domaine routier. Thèse de doctorat en es sciences. OUARGLA : Kasdi Merbah.
- [2] MOKRANI, Salah, 2011. Préparation et caractérisation d'un charbon actif a partir d'un bitume d'origine pétrolière activation par voie chimique. Mémoire master. OUM EL BOUAGHI : LARBI BEN M'HIDI.
- [3] KOUIDRI, Djamilia et TELILI, Mebarka, 2017. Influence des déchets plastiques sur les performances des bétons bitumineux à base de sable de dunes. Mémoire master. OUARGLA : KASDI MERBAH.
- [4] BAZZINE, Rabia et EPOUSE, BARKAT, 2013. Influence de l'ajout de la poudrette de caoutchouc sur la stabilité des enrobes bitumineux. Mémoire de magister. OUARGLA : KASDI MERBAH.
- [5] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, 2009. Bitumes et liants bitumineux - mesure de la masse volumique et de la densité - méthode du pycnomètre à bouchon capillaire. Juillet 2009. ICS.
- [6] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, 2002. Bitumes et liants bitumineux Détermination du temps d'écoulement des émulsions de bitume à l'aide d'un viscosimètre à écoulement. Août 2002. ICS.
- [7] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, 2007a. Bitumes et liants bitumineux - Détermination de la résistance au durcissement sous l'effet de la chaleur et de l'air - Partie 1 : méthode RTFOT. Juin 2007. ICS.
- [8] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, 1994. Produits pétroliers - Détermination des points d'éclair et de feu - Méthode Cleveland en vase ouvert. Mars 1994. ICS.
- [9] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, 2007b. Bitumes et liants bitumineux - Détermination de la résistance au durcissement sous l'effet de la chaleur et de l'air - Partie 2 : méthode TFOT. Juin 2007. ICS.
- [10] AQUAPORTAIL. Définition polymère [en ligne]. [consulté le 29.05.2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.aquaportail.com/definition-2464-polymere.html>
- [11] Des cours de chimie exclusifs sur [www.chimie-sup.fr](http://www.chimie-sup.fr). Généralité sur les polymère Propriétés, synthèses, polymérisations, utilisations [en ligne]. [consulté le 29.05.2019]. Disponible à l'adresse : <http://chimie.sup.pagesperso-orange.fr/polymeres/generalitespolymeres.html>
- [12] PHYSIQUE-CHIMIE STIDD-STL. Les polymères. Extrait du BOEN. pp. 8.
- [13] AQUAPORTAIL. Définition monomère [en ligne]. [consulté le 31.05.2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.aquaportail.com/definition-2467-monomere.html>
- [14] EDUCALINGO. Polymérisation [en ligne]. [consulté le 31.05.2019]. Disponible à l'adresse : <https://educalingo.com/fr/dic-fr/polymerisation>

- [15] METHIA, Akli et REZZOUG, Mohamed Amine, 2017. Étude de la diffusion de l'irganox 1076 dans un polymère recycle à base de pehd. Mémoire master. BEJAIA : ABDERRAHMANE MIRA.
- [16] EIPPCB, Pol, 2007. Fabrication des polymères. Août 2007. COMMISSION EUROPÉENNE.
- [17] GHORZI, Wissam, 2012. Etude de la diffusion des molécules de bas poids moléculaire dans des réseaux de polymères acryliques. Mémoire License. TLEMCEN : ABOU BEKR BELKAID.
- [18] LE CNAM. Les grands secteurs d'application des polymères. pp. 2.
- [19] GRALON. Le polyuréthane : Présentation et applications [en ligne]. [consulté le 01.06.2019] Disponible à l'adresse : <https://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiels-industriels/article-le-polyurethane---presentation-et-applications-1717.htm>
- [20] LADJABI, Houria, 2011. Etude expérimentale du comportement mécanique des polymères. Mémoire magister. ANNABA : BADJI MOKHTAR.
- [21] INTERTEK FRANCE. Caractérisation des matériaux polymères - analyses thermiques. [en ligne]. [consulté le 02.06.2019]. Disponible à l'adresse : <http://www.intertek-france.com/polymeres/analyses-thermiques/>
- [22] GRABIT, K et GALLIEN, L, 2015. Analyse thermogravimétrique (atg). 2016
- [23] ANALYSEURS ÉLÉMENTAIRES ELTRA. Analyseur thermogravimétrique. pp. 12.
- [24] GANDI, SAS, 2008. Les différentes techniques d'analyse thermique et de calorimétrie au service de l'expertise chimique. [en ligne]. 5 mars 2008. Disponible à l'adresse : <http://www.gandi.net>
- [25] NETZSCH proven excellence. Quelle est la différence entre DSC et ATD ? [en ligne]. [consulté le 02.06.2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/fr/landing-pages/quelle-est-la-difference-entre-dsc-et-atd/>
- [26] CENTRE NrsM. Analyse Thermique ATD/ATG/DSC. pp. 1.
- [27] PÔLE DE COMPÉTENCES SUR L'ÉVALUATION DE LA SÉCURITÉ DES PROCÉDÉS CHIMIQUES, Juin 2000. DRA-005 : Etat de l'Art des Méthodes Expérimentales d'Analyse de Risque de l'Emballage Thermique. Rapport final. Institut national de l'environnement et de risque. Direction des Risques Accidentels.
- [28] LAAMARI, Hayet, 2007. Étude thermodynamique des matériaux de référence et leurs applications dans les techniques d'analyse thermique et de calorimétrie. MEMOIRE MAGISTER. BATNA : EL HADJE LHDAR.
- [29] PSLC. Differential scanning calorimetry [en ligne]. [consulté le 05.06.2019]. Disponible à l'adresse : <https://pslc.ws/french/dsc.htm>
- [30] Centre de caractérisation des matériaux (CCM). Calorimétrie à balayage différentielle (DSC) [en ligne]. [consulté le 06.06.2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.usherbrooke.ca/ccm/francais/les-techniques/proprietes-physiques/calorimetrie-a-balayage-differentielle-dsc/>
- [31] PAVILLON, J et BOMBARDIER, A, 2011. Infolettre du GCM lab. Mai 2011. Vol. 2, n° 1, pp. 2.

- [32] ECAM school of engineering. Principe de la DSC. [en ligne]. [consulté le 06.06.2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.ecam.fr/materiaux-structures/>
- [33] BOUKHARI, Adnane. Béton bitumineux modifiés en déchets plastiques « étude de détermination de l'intervalle de modification ». Mémoire master. OUARGLA : Kasdi Merbah.
- [34] U. ARUN, Kumar et P.V.V, Satyanarayana, 2015. International journal of engineering trends and technology (IJETT). <http://www.ijettjournal.org>. 7 Avril 2015. Vol. 22, n° 530003, pp. 325 à 330.
- [35] NOBINUR RAHMAN, Mohamed, AHMEDUZZAMAN, Mohammad, M. A., Sobhan et T. U., Ahmed, 2013. American journal of civil engineering and architecture. Science and education publishing. 24 avril 2013. Vol. 1, n° 5, 97-102, pp. 97 à 102.
- [36] OURARI, Linda et DJANATI, Sara, 2017. Etude comparative des procédés de modification du bitume routier algérien 40/50 par des déchets polymériques. Mémoire master. BOUMERDES : M'HAMED BOUGUARA.
- [37] DIGI School ingenieurs. Polychlorure de vinyle (PVC) [en ligne]. [Consulté le 08.06.2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.ingenieurs.com/documents/cours/polychlorure-de-vinyle-pvc--89.php>
- [38] LATRACH. Le PVC et leur propriété [en ligne]. [Consulté le 08.06.2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.latrach.net/pvc-leur-propriete>
- [39] PSLC. Polychlorure de vinyle [en ligne]. [Consulté le 09.06.2019]. Disponible à l'adresse : <https://pslc.ws/french/pvc.htm>
- [40] FUTURA Maison. PVC [en ligne]. [Consulté le 09.06.2019]. Disponible à l'adresse : <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/batiment-pvc-10875/>
- [41] COURS DE MDC. Ufas1. pp. 6.
- [42] CISSE, Mariama et TOURE, Aïcha Hafçatou, 2003. Contribution à la mise en œuvre d'une formulation optimale de béton bitumineux : application aux concassés de basalte de Dick. Mémoire d'ingénieur. DAKAR : CHEIKH ANTA DIOP.
- [43] GHOMARI, F et BENDI-OUIS, A, 2007b. Essai de propreté. UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID.
- [44] GRANULATS,
- [45] LAMRANI ALAOUI, Youssef et EL MOUEDEN, Moâd. Les essais normalisés applicables aux granulats pour des applications du génie civil et positionnement de la modélisation granulaire sur ces essais. ECOLE DES MINES DOUAI. pp. 39.
- [46] COURS CHAUSSEES,
- [47] MAZA. M, 2016. Fascicule de travaux pratique matériaux de constructions. UNIVERSITE MOHAMED BOU DIAF M'SILA.
- [48] MASMOUDI, A, 2012. Matériaux de construction. UNIVERSITE DE SFAX.
- [49] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, 2007. Bitumes et liants bitumineux - Détermination de la pénétrabilité à l'aiguille. Juin 2007. ICS.
- [50] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, 2007. Bitumes et liants bitumineux -Détermination du point de ramollissement - méthode bille et anneau. Juin 2007. ICS.
- [51] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, 2003. Bitumes et liants bitumineux

- Détermination des caractéristiques de traction des bitumes modifiés par la méthode de force ductilité. Décembre 2003. ICS.
- [52] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, 2004. Mélanges bitumineux - méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud - Partie 34 : Essai marshall. Décembre 2004. ICS.
- [53] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, 2003. Mélanges bitumineux - méthodes d'essai pour enrobés à chaud - Partie 6 : détermination de la masse volumique apparente des éprouvettes bitumineuses. Août 2003. ICS.

**ANNEXES :**

**ANNEXE I : FICHE TECHNIQUE DU BITUME**

**ANNEXE II : FICHE TECHNIQUE DE  
POUDRETTE DE PVC**

**ANNEXE III : RESULTATS SUR LES ENROBES**

**ANNEXE I : FICHE TECHNIQUE DU BITUME****LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD**

Structure : unité de Touggourt

lieu de travail : salle de route

N° dossier interne : 015/2019

date : 10/02/2019

**1. Résultats des essais effectués sur le bitume utilisé**

Caractéristique	Norme	Résultat	Recommandations CTTP
Pénétrabilité à 25°C (1/10 mm)	EN 1426	43.62	40 à 50
TBA (°C)	EN 1427	53.4	52 à 57
Ductilité (cm)	EN 13589	69	> 60
Densité relative à 25°C (g/cm <sup>3</sup> )	EN 1097-7	1.4	1,00 à 1,10

## 2. SPECIFICATIONS DES BITUMES PURS

Caractéristiques	Méthode normalisée de référence	Classes				
		20/30	40/50	60/70	80/100	180/220
Pénétrabilité à 25°C, 100grs, 5 sec. (1/10mm)	NF T 66-004	20 à 30	40 à 50	60 à 70	80 à 100	180 à 220
TBA $W_p$ (°C), température du point de ramollissement bille et anneau	NF T 66-008	52 à 65	47 à 60	43 à 56	41 à 51	34 à 43
Densité relative à 25°C	NF T 66-007	1,00 à 1,10	1,03 à 1,10	1,00 à 1,10	1,00 à 1,07	1,00 à 1,07
Ductilité à 25°C, 50 mm/mm (cm)	NF T 66-006	> 25	> 60	> 80	> 100	> 100
Solubilité dans le Tetra-chloroéthylène C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> (%)	NF T 66-012	> 99,5 %	> 99,5 %	> 99,5 %	> 99,5 %	> 99,5 %
Teneur en paraffine (%)	Méthode LCPC	< 4,5 %	< 4,5 %	< 4,5 %	< 4,5 %	< 4,5 %
Perte de masse au chauffage (%)	NF T 66-011	< 1	< 1	< 1	< 2	< 2
Pénétrabilité restante par rapport à la température initiale après perte de masse au chauffage (%)	> 70	> 70	> 70	> 70	> 70	> 70
Point d'éclair (Appareil Cleveland) à vase ouvert. (°C)	> 250	> 250	> 230	> 230	> 230	> 230
Température limite de pompabilité (°C)	-	140	125	120	115	105

## ANNEXE II : FICHE TECHNIQUE DE POUDRETTE DE PVC

### Les caractéristiques :

Le chlorure de polyvinyle a les propriétés suivantes qui le rendent approprié pour le traitement rigide du chlorure de polyvinyle avec des cadences de production élevées :

- Manipulation et transport faciles.
- Très faible niveau de poussière.
- Haute pureté.
- Densité apparente élevée.
- Distribution granulométrique étroite.

- Le chlorure de polyvinyle est conçu pour donner un produit de traitement facile pour les applications extrudées rigides. Il peut être utilisé avec une large gamme de stabilisants thermiques et de charges.

### Applications typiques :

Extrusion :

- Tuyaux rigides (pression et non pression).
- Profils rigides.
- Tubes et conduits ondulés.

### Emballage et stockage :

Le polychlorure de vinyle est livré dans des sacs de 25 kg. La résine de chlorure de polyvinyle doit être stockée de manière à éviter toute exposition directe au soleil. La zone de stockage doit également être sèche et ne pas dépasser de préférence 50 ° C. SABIC ne donnerait aucune garantie contre les mauvaises conditions de stockage pouvant entraîner une détérioration de la qualité, telle qu'un changement de couleur et une performance insuffisante du produit. Il est conseillé de traiter la résine de chlorure de polyvinyle dans les 6 mois suivant l'accouchement.

### Données typiques :

Propriété	unité	value	Méthode d'essai
valeur k	-	67	DIN 53726
Masse volumique apparente	Kg/m <sup>3</sup>	570	ASTM D-1895
La taille des particules			
Retenu sur maille 60(250 µm)	% max	15	SABIC (PVC 003)
Passing through mesh 200(74 µm)	% max	4	
Contenu volatile	% max	0.3	ASTM D-3030

## ANNEXE III : RESULTATS SUR LES ENROBES

## 1. ENROBE NORMAL :

## 1.1.MARSHALL :

## LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

FEUILLE D'ESSAI – ESSAI MARSHALL  
NA 5227 | EN 12697 – 34

Structure :

Lieu de travail :

N° Dossier interne :

Date :

Type de Liant :

Opérateur :

PRESSE MARSHALL N.Inv :

BALANCE N. Inv :

ETUVE N.Inv :

BAIN N.Inv :

COMPOSITION	(%)
Fraction 8/15	33
Fraction 3/8	24
Fraction 0/3	41
Additif	
Filler	02
Liant	40/50 6,10

Type de malaxeur	SINTAG
Température de référence du bitume	160°C
Date de confection de l'enrobé	
Date de confection des éprouvettes	07.05.19
Heure début de compactage	
Heure d'immersion à 60° pendant 40 min	
Heure d'écrasement	
Nombre de coups par face	

N° Eprouvettes		1	2	3	4	5
Poids Eprouvettes (g)		1204,8	1202,1	1207,3		
Moyenne des hauteurs (H) (mm)		64,42	64,09	64,38		
Moyenne des diamètres des éprouvettes(D) (mm)		100	100	100		
Volume des éprouvettes : $(\pi.D^2. H/4)$ (cm <sup>3</sup> )						
Masse volumique apparente des éprouvettes par Mesure géométrique (méthode D de NA 5238) (g/cm <sup>3</sup> )						
Masse volumique apparente selon la norme NA 5238		Méthode :				
Charge Maximale		Valeur moyenne :				
Stabilité MARSHALL (kN)		10,42	11,40	11,13		
Moyenne : Stabilité		10,32	11,28	11,42		
		11,00				
Fluage (mm)	Lecture initiale					
	Lecture finale	2,25	1,75	1,64		
Moyenne : fluage (mm)		1,88				
Quotient Marshall = Stabilité / Fluage (kN/mm)		4,59	6,44	6,96		
Moyenne : Quotient Marshall		5,99				

Observation :

Opérateur

Visa du Responsable

## 1.2.Masse volumique apparente :

### LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

**FEUILLE D'ESSAI**  
**MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE D'UNE**  
**EPROUVETTE PAR PESEE HYDROSTATIQUE**  
 NF P 98 - 250 - 6

Structure : ..... Lieu de travail : .....  
 N° Dossier interne : ..... Date : .....  
 Echantillon : ..... Opérateur : .....  
 Équipements utilisés : ..... N° D'inventaire : .....

N° d'ordre	Désignation	Dosages		
			6,10	
1	N° Eprouvette		04	
2	Epaisseur (cm)		6,38	
3	Masse de l'éprouvette (g)		1202,3	
4	Masse de l'éprouvette paraffinée (g)		1221,40	
5	Masse de la paraffine (4-3) (g)		19,1	
6	Masse volumique de la paraffine (g/cm <sup>3</sup> )		0,9	
7	Volume paraffiné : 5/6 (cm <sup>3</sup> )		21,22	
8	Masse lue de l'éprouvette paraffinée et immergée dans l'eau (g)		688,69	
9	Volume brut : (4-8) (cm <sup>3</sup> )		532,71	
10	Volume net : (9-7) (cm <sup>3</sup> )		511,49	
11	Masse volumique de l'éprouvette (3/10) (g/cm <sup>3</sup> )		2,35	

L'Opérateur

Visa du Responsable

## 2. ENROBE MODIFIE :

## 2.1.MARSHALL :

## LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

FEUILLE D'ESSAI – ESSAI MARSHALL (Modifié)  
NA 5227 | EN 12697 – 34

Structure :

Lieu de travail :

N° Dossier interne :

Date :

Type de Liant :

Opérateur :

PRESSE MARSHALL N.Inv :

BALANCE N. Inv :

ETUVE N.Inv :

BAIN N.Inv :

COMPOSITION	(%)
Fraction	
Fraction	
Fraction	
Fraction	
Additif	
Filler	
Liant	

Type de malaxeur	
Température de référence du bitume	
Date de confection de l'enrobé	
Date de confection des éprouvettes	
Heure début de compactage	
Heure d'immersion à 60° pendant 40 min	
Heure d'écrasement	
Nombre de coups par face	

N° Eprouvettes		1	2	3	4	5
Poids Eprouvettes	(g)	1202,3	1201,7	1201,7		
Moyenne des hauteurs (H)	(mm)	58,64	65,15	64,95		
Moyenne des diamètres des éprouvettes(D)	(mm)	100	100	100		
Volume des éprouvettes : ( $\pi \cdot D^2 \cdot H/4$ )	(cm <sup>3</sup> )					
Masse volumique apparente des éprouvettes par Mesure géométrique (méthode D de NA 5238)	(g/cm <sup>3</sup> )					
Masse volumique apparente selon la norme NA 5238		Méthode :				
		Valeur moyenne :				
Charge Maximale		12,80	13,79	12,77		
Stabilité MARSHALL	(kN)	13,96	15,03	12,26		
Moyenne : Stabilité		13,75				
Fluage (mm)	Lecture initiale					
	Lecture finale	2,15	1,76	2,13		
Moyenne : fluage (mm)		2,01				
Quotient Marshall = Stabilité / Fluage	kN/mm	6,49	8,54	5,76		
Moyenne : Quotient Marshall		6,93				

Observation :

Opérateur

Visa du Responsable

## 2.2.Masse volumique apparente :

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

FEUILLE D'ESSAI  
MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE  
D'UNE EPROUVETTE PAR PESEE HYDROSTATIQUE (Modifiée)  
NF P 98 - 250 - 6

Structure : ..... Lieu de travail : .....

N° Dossier interne : ..... Date : .....

Echantillon : ..... Opérateur : .....

Equipements utilisés : ..... N° D'inventaire : .....

N° D'ordre	Désignation	Dosages			
1	N° Eprouvette	04			
2	Epaisseur (cm)	5,619			
3	Masse de l'éprouvette (g)	1203,4			
4	Masse de l'éprouvette paraffinée (g)	1221,49			
5	Masse de la paraffine (4 - 3) (g)	18,09			
6	Masse volumique de la paraffine (g/cm <sup>3</sup> )		0.9		
7	Volume paraffiné : 5/6 (cm <sup>3</sup> )	20,1			
8	Masse lue de l'éprouvette paraffinée et immergée dans l'eau (g)	773,95			
9	Volume brut : (4 - 8)	447,54			
10	Volume net : (9 - 7)	427,44			
11	Masse volumique de l'éprouvette (3/10) (g/cm <sup>3</sup> )	2,81			

L'Opérateur

Visa du Responsable