

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة عبد الحميد بن باديس – مستغانم

Université Abdelhamid ben Badis de Mostaganem



قسم الكيمياء

Département de chimie

Date de dépôt..... Sous le n° :...../2017

**Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master  
Spécialité : Analyses Spectrales en Chimie**

**Thème**

**Etude et caractérisation de l'effet  
d'addition des déchets silicatés et  
polyéthylène sur le bitume routier 40/50**

**Présenter par : Lemdjadi Imane**

**Devant le jury composé de :**

**Président**

**Examineur**

**Encadreur KADY Abdelkader**

# Sommaire

Introduction générale

## Partie théorique :

### Chapitre I : présentation de la raffinerie d'Arzew.

I. Le raffinage du pétrole .....	4
II. La raffinerie d'Arzew .....	4
II.1 Historique .....	4
II.2 L'objectif .....	4
II.3 Capacité de traitement .....	5
II.4 les principales zones du complexe .....	5
II.5 Capacité annuelle de production .....	7
III. La zone 10 production des bitumes .....	7
- Production des bitumes .....	7
IV. l'unité 14 : le procédé de distillation sous vide .....	8
- Le procédé d'obtention du bitume routier .....	8

### Chapitre II : généralités et modification de bitume

I. Introduction .....	12
II. Les produits noir .....	12
II.1 Les différents types des produits noirs .....	12
II.1.a Les goudrons .....	12
II.1.b Les bitumes .....	13
II.1.c l'asphalte .....	13
III. Bitume, généralités .....	13
III.1 Historique .....	13
III.2 Origine et fabrication .....	14
III.2.a Origine .....	14
III.2.b Procédés de fabrications .....	14
III.2.c Composition chimique et structure des bitumes .....	14
III.3 Les caractéristiques physico-chimiques des bitumes .....	16
III.3.a Les caractéristiques physiques .....	16
III.3.a.1 La densité .....	16
III.3.a.2 Ductilité .....	17
III.3.a.3 Pénétration .....	17
III.3.a.4 Point de ramollissement .....	18
III.3.a.5 Point d'éclair .....	18
III.3.b Les caractéristiques chimiques .....	19
III.3.c Les caractéristiques mécaniques .....	20
III.3.d Relations entre composition chimique et rhéologie .....	20
III.4 L'influence des paramètres de production sur la qualité des bitumes .....	21
III.4.a La qualité de la charge .....	21
III.4.b La température de soufflage .....	21
III.4.c Le vide appliqué .....	21
III.4.d La température de flash .....	21

III.4.e Le débit d'air .....	21
III.5 Les produits bitumineux .....	22
III.5.a Bitumes purs .....	22
III.5.b Bitumes oxydés .....	24
III.5.c Bitumes modifiés .....	24
III.5.d Bitumes fluidifiés .....	24
III.5.e Bitumes fluxés .....	25
III.5.f Emulsions de bitume .....	25
III.5.g Bitumes industriels .....	25
III.5.h Bitumes spéciaux .....	26
III.6 Applications .....	26
III.6.a Applications routières .....	26
III.6.b Applications hydrauliques .....	26
III.6.c Applications industrielles .....	27
IV Comment les additifs influent .....	27
V. Les propriétés .....	27
VI. Les types de modification par polymères .....	28
VI.1 Les liants modifiés plastomères .....	28
VI.2 Les liants modifiés élastomères .....	28
VII. Compatibilité Bitume-Polymère .....	28
Chapitre III : généralités sur les polymères et polyéthylène	
I. Introduction .....	31
II. Généralités sur les polymères .....	31
II.1 Définition du polymère .....	32
II.2. Caractérisation d'un polymère .....	32
II.3. Utilisation .....	33
II.3.a Type d'usage .....	33
II.3.b Le domaine d'application .....	33
III. Polyéthylène .....	34
III.1. Les classifications .....	34
III.2. Les procédés de fabrication .....	35
III.3. Les propriétés .....	35
III.4. Utilisation .....	37
Chapitre IV : les argiles, et bentonite	
I. Introduction .....	39
II. Les argiles .....	39
II.1 Les propriétés physico-chimiques des argiles .....	39
III. La bentonite .....	40
III.1. Structure de la bentonite .....	40
III.2 Types de bentonite .....	41
III.2.1 Bentonite naturelles .....	41
III.2.2 Bentonite activées .....	42
III.3. Avantage de bentonite .....	42
III.4. Propriétés de la bentonite .....	42

III.4.1 L'hydratation interne ou gonflement .....	42
III.4.2 Cations échangeables et adsorption .....	43
III.5. La bentonite et ses utilisations .....	43
<b>Partie pratique :</b>	
Chapitre I : résultats et discussions	
I. Objectif .....	46
I.1. Présentation des matériaux .....	47
I.2. Les caractéristiques .....	47
I.3. Mode opératoire .....	47
I.4. Méthode de travail .....	47
II. Résultats et discussion .....	47
II.1. Résultats des essais pour le bitume-bentonite .....	47
II.2 Résultats des essais pour le bitume-polyéthylène .....	49
II.3. Résultats des essais pour le mélange bitume-(bentonite+polyéthylène)....	51
II.4. Calcul de la viscosité dynamique à 25 °C .....	53
III. La représentation graphique des résultats .....	54
IV. L'interprétation des résultats .....	57
V. Calcul de l'indice de pénétrabilité .....	58
Conclusion générale.....	61
Références bibliographie .....	64

## Introduction générale :

Le bitume est un liant hydrocarboné ou liant noir à base d'hydrocarbure. Sa consistance pâteuse ou dure à la température ordinaire et sa capacité à devenir liquide lorsqu'on le chauffe entre 120 et 170°C lui permettent de se mélanger à chaud avec des granulats ou des polymères pour donner après refroidissement un mélange solide; ce qui fait tout son intérêt en technique routière [1].

Comme partout au monde le revêtement routier est soumis aux contraintes dues à la rigueur du climat et au trafic routier.

Le premier problème est à l'origine des fissurations qui sont dues, soit à l'effet des charges imposées par le trafic routier sur le revêtement, soit à des changements importants de températures, ou encore à la combinaison des deux.

Le second problème peut engendrer le phénomène d'orniérage et de désenrobage. L'orniérage est généralement du à la perte de consistance des matériaux à des températures élevées, tandis que le désenrobage se manifeste par la perte d'adhésion entre le film asphaltique et la surface du granulat [2].

Dans ce travail, nous avons étudié l'effet d'addition des déchets silicates et du polyéthylène sur le bitume chaque un seul et ces caractéristiques, Nous avons également étudié l'effet d'addition son mélange sur le bitume.

Ce projet s'articule autour de deux principales parties :

La première partie est une étude bibliographique portant sur quatre chapitres :

- Le premier chapitre s'intéresse à la description générale de la raffinerie d'Arzew.
- Le deuxième chapitre expose une généralité et modification de bitumes.
- Le troisième chapitre s'emploie à étudier les généralités sur les polymères et polyéthylène.
- Le quatrième chapitre présente brièvement les argiles et bentonite.

La deuxième partie présente l'étude pratique menée en vue de la caractérisation et de la comparaison des bitumes utilisés en matières étanchéités.

Enfin, la conclusion va présenter un résumé des résultats obtenus et indiquer les directions vers lesquelles ce travail pourrait être poursuivi.

## Liste de figures :

<b>Figure I.1</b> : Représentation graphique de la capacité de production annuelle .....	7
<b>Figure II.1</b> : Séparation chimique des 4 familles de constituants du bitume .....	15
<b>Figure II.2</b> : Représentation schématique des deux types de structure .....	16
<b>Figure II.3</b> : appareillage de ductilité .....	17
<b>Figure II.4</b> : appareillage de pénétromètre .....	17
<b>Figure II.5</b> : appareillage de ramollissement .....	18
<b>Figure II.6</b> : appareillage de mesure du point de flash .....	19
<b>Figure II.7</b> : Effet de la modification polymère sur la structure colloïdale du bitume .....	29
<b>Figure III.1</b> : simple représentation d'une chaîne de polyéthylène .....	34
<b>Figure IV.1</b> :Structure de la montmorillonite. ....	41
<b>Figure I.1</b> : Variation de la pénétrabilité des trois bitumes en fonction du pourcentage des additifs .....	54
<b>Figure I.2</b> : Variation du ramollissement des trois bitumes en fonction du pourcentage des additifs .....	54
<b>Figure I.3</b> : Variation de la densité des trois bitumes en fonction du pourcentage des additifs .....	55
<b>Figure I.4</b> : Variation de la ductilité des trois bitumes en fonction du pourcentage des additifs .....	55
<b>Figure I.5</b> : Variation des points de flash des trois bitumes en fonction du pourcentage des additifs .....	56
<b>Figure I.6</b> : Variation de la viscosité cinématique des trois bitumes en fonction du pourcentage des additifs .....	56

## Liste des tableaux :

<b>Tableau II.1:</b> les caractéristiques des bitumes purs .....	23
<b>Tableau III.1:</b> les différences entre les propriétés des deux types de polyéthylène .....	36
<b>Tableau I.1 :</b> les caractéristique de bitume routier 40/50 .....	47
<b>Tableau I.2 :</b> les valeurs de la pénétrabilité de bitume-bentonite .....	47
<b>Tableau I.3:</b> les valeurs du ramollissement de bitume-bentonite .....	48
<b>Tableau I.4 :</b> les valeurs de la densité de bitume-bentonite .....	48
<b>Tableau I.5 :</b> les valeurs de la ductilité de bitume-bentonite .....	48
<b>Tableau I.6 :</b> les valeurs des points de flash de bitume-bentonite .....	48
<b>Tableau I.7:</b> les valeurs de la viscosité cinématique de bitume-bentonite .....	49
<b>Tableau I.8 :</b> les valeurs de la pénétrabilité de bitume-polyéthylène .....	49
<b>Tableau I.9 :</b> Les valeurs du ramollissement de bitume-polyéthylène .....	49
<b>Tableau I.10 :</b> les valeurs de la densité de bitume-polyéthylène .....	50
<b>Tableau I.11 :</b> les valeurs de la ductilité de bitume-polyéthylène .....	50
<b>Tableau I.12 :</b> les valeurs des points de flash de bitume-polyéthylène .....	50
<b>Tableau I.13:</b> les valeurs de la viscosité cinématique de bitume-polyéthylène .....	51
<b>Tableau I.14:</b> les valeurs de la pénétrabilité de bitume-(bentonite+ polyéthylène) .....	51
<b>Tableau I.15 :</b> Les valeurs du ramollissement de bitume-(bentonite+ polyéthylène) .....	51
<b>Tableau I.16 :</b> les valeurs de la densité de bitume-(bentonite+ polyéthylène) .....	52
<b>Tableau I.17:</b> les valeurs de la ductilité de bitume-(bentonite+ polyéthylène) .....	52
<b>Tableau I.18:</b> les valeurs des points de flash de bitume-(bentonite+ polyéthylène) .....	52
<b>Tableau I.19:</b> les valeurs de la viscosité cinématique de bitume-(bentonite+polyéthylène) .....	52
<b>Tableau I.20 :</b> Résultats de calcul de la viscosité dynamique de bitume-bentonite .....	53
<b>Tableau I.21 :</b> Résultats de calcul de la viscosité dynamique de bitume-polyéthylène .....	53
<b>Tableau I.22 :</b> Résultats de calcul de viscosité dynamique de bitume-(bentonite+polyéthylène) .....	53
<b>Tableau I.23 :</b> Les caractéristiques de mélange bitument (2% de bentonite avec 12% de polyéthylène) .....	58



### I. Le raffinage du pétrole :

Le raffinage du pétrole consiste à transformer le pétrole brut en une gamme importante de diverses variétés de produits finis ou semi-finis au moyen de différents procédés tels que le craquage et la distillation [3].

### II. La raffinerie d'Arzew :

#### II.1 Historique :

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

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

#### II.2 L'objectif :

La raffinerie a été conçue pour :

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

### II.3 Capacité de traitement :

La raffinerie traite 2,75 millions de tonnes par an de pétrole brut saharien et de 280 000 tonnes par an de brut réduit importé le BRI pour la production des bitumes.

### II.4 les principales zones du complexe :

Le complexe est constitué de plusieurs zones ayant comme activités spécifiques suivantes :

#### **Parking : zone 1**

#### **Station de veille : zone 2**

#### **Production :**

Des zones de production divisées :

- **Production 1** : zones : 03, 04, 06, 07 et 10 ;
- **Production 2** : zone : 05, 19 et 3000.

#### **Utilités :**

**Zones 3 et 19** : les utilités constituent assurent la production de la vapeur, l'électricité, air service et instrument et de l'eau distillée.

Les zones 3, 19 comprennent les mêmes unités

#### **Carburants :**

**Zone 4** : Elle est constituée de 03 unités pour la production des Essences, Gasoil, Kérosène et les gaz de pétrole liquéfié GPL (propane et butane).

#### **Lubrifiants :**

##### **a-Huiles de base :**

**Zone 7 et 5** : Ces deux zones ont pour but d'obtenir des huiles de base considérées comme matière première pour la fabrication des lubrifiants à partir du BRA qui est un composé pétrolier lourd et visqueux recueilli au fond du topping

La chaîne de fabrication est composée de 5 unités.

Chapitre I

**b-Huiles finies :**

**Zone 06 / unités 3000 :** mélange et conditionnement pour obtenir des huiles finies.

**Bitume :**

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

**Stockage :**

**Zone 8A, 8B :** stockage intermédiaire des huiles de base

**Zone 9 :** stockage du brut et résidus

**Zone 11, 12, 13 :** stockage du brut provenant de «HASSI-MESSAOUD».

**Zone 16 :** stockage du NAPHTA et stockage d'eau brut pour incendie

**Zone 17 :** Stockage du kérosène et stockage de l'essence de la première distillation.

**Zone 18 :** Stockage du fuel pour mélange et stockage du slop.

**Zone 22 et 23 :** Stockages des carburants.

**Zone 24 :** Stockage du gas-oil.

**Zone 25 :** Stockage du fuel.

**Zone 26 :** Stockage GPL

**Zone 29 :** Stockage du BRI.

**Zone 14 :** Administration générale.

**Zone 15 :** Laboratoire.

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

**Zone 27 :** Stations de traitement des eaux usées.

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

**Administration générale : zone 14**

**Laboratoire : zone 15**

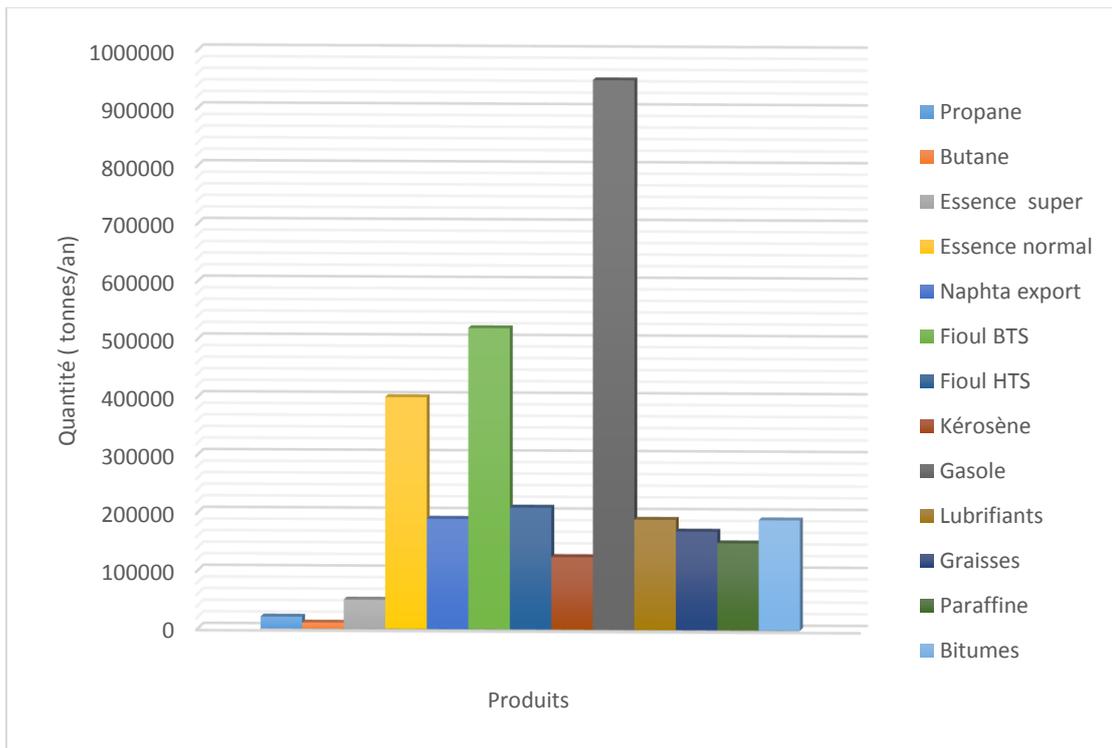
**Réception et approvisionnement des produits chimiques et pièces de rechanges :**  
zone 20

**Stations de traitement des eaux usées PPI/API :** zone 27

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

### II.5 Capacité annuelle de production :

La production de la raffinerie est très diversifiée et se présente dans la figure ci-dessous :



**Figure I.1 :** Représentation graphique de la capacité de production annuelle.

### III. La zone 10 production des bitumes :

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

▪ **Production des bitumes :**

• **Unité de flash sous vide (U.14) : production des bitumes routiers**

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

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

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



La capacité de production est de 120.000 tonnes/an ;



Le stockage est de 10.000 tonnes/an.

Les performances :

- Utilisé dans les applications routières.
- Les ventes sont réalisées par camion, citernes, ou navires [4].

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

Du bitume direct mélangé avec du gazole sous vide constitue la charge de cette unité ou Blow stock.

Le bitume oxydé est obtenu par oxydation poussée avec de l'air.



La capacité de production est de 20.000 tonnes/an ;



Le stockage est de 800 tonnes/an.

Les performances :

- Utilisé dans les travaux d'étanchéités.
- Le conditionnement se fait dans des sacs plastiques de 25 kg et dans des futs de 200 litres [4].

**IV. l'unité 14 : le procédé de distillation sous vide :**

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

▪ **Le procédé d'obtention du bitume routier [5] :**

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

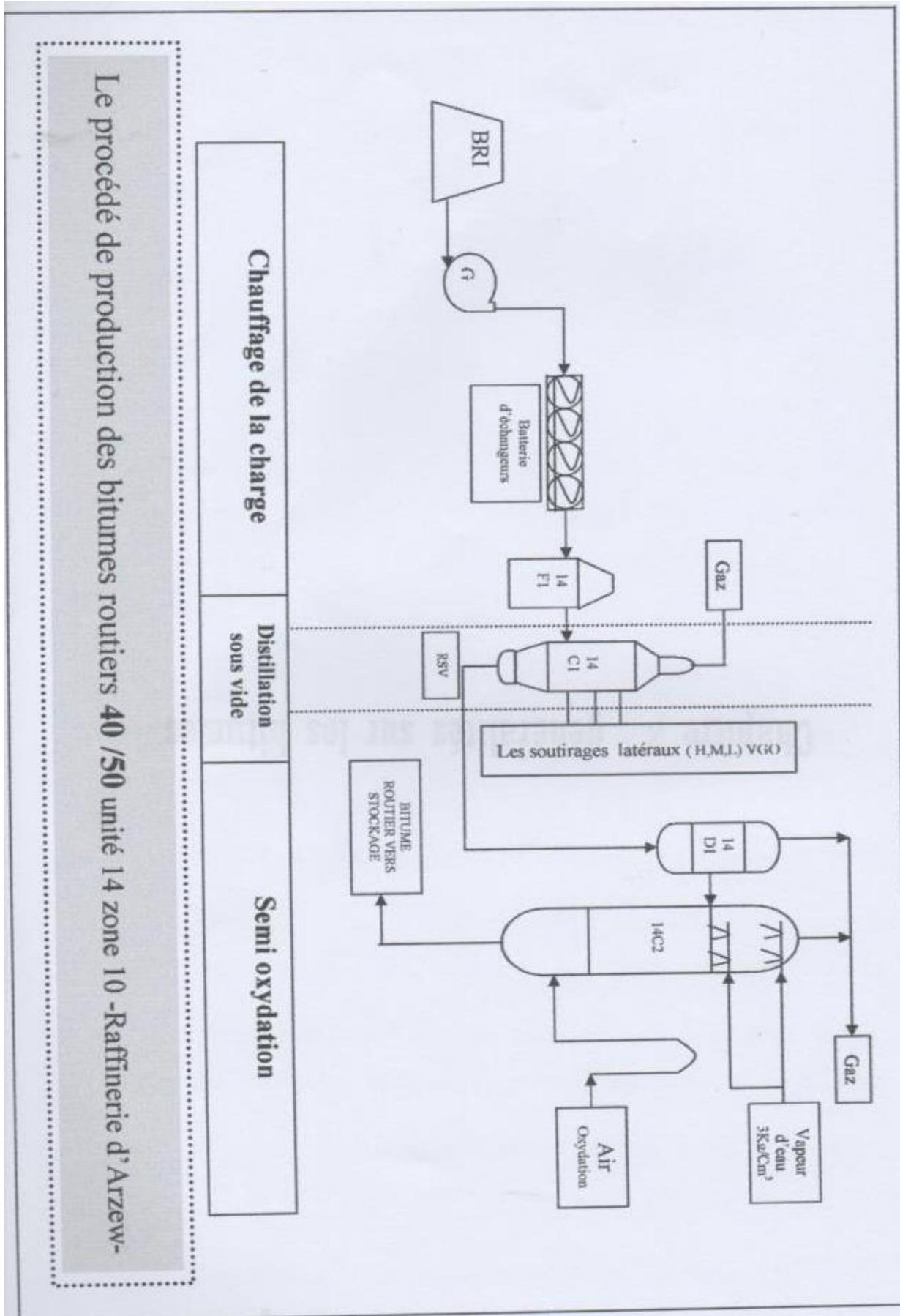
Puis le BRI pénètre un four 14 F1 à une température de 245°C pour être réchauffé à une température variable suivant le brut réduit importé, à la sortie du four le produit subit une injection de vapeur de dilution qui a pour rôle d'activer la vitesse du BRI et sort du four entre 360-375°C.

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

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

Les coupes latérales sont soutirées des plateaux suivants :

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



## **I. Introduction :**

Ce chapitre résume les connaissances acquises sur les matériaux bitumineux afin d'établir le cadre général de cette étude.

Tout d'abord, nous présentons brièvement quelques généralités sur l'origine, la fabrication, la composition, ainsi que la structure des bitumes. Ensuite, quelques propriétés physico-chimiques et rhéologiques des bitumes sont alors introduites.

Enfin, sont présentés quelques applications des produits bitumineux.

Dans toute cette étude, le terme bitume est employé pour qualifier un bitume pur, et le terme liant regroupe le mélange contenant un bitume et un ou plusieurs additifs : polymères, fluxant, cires...

## **II. Les produits noirs :**

Les produits noirs sont effectivement de couleur noir (ou brun foncé), riches en carbone et en hydrogène naturels ou obtenus en général par distillation de matières organiques.

Les liants hydrocarbonés diffèrent des différents des liants hydrauliques. Ils se présentent soit comme liquides visqueux soit encore sous la forme de solides demi-mous.

Leurs compositions chimiques varient avec leurs origines brutes dont ils sont issus, ils sont composés surtout de carbone d'hydrogène [6].

### **II.1 Les différents types des produits noirs :**

#### **II.1.a Les goudrons :**

Les goudrons proviennent de la pyrogénéation à l'abri de l'air de matières d'origine végétale, telles que le lignite, la tourbe, le bois. Le « goudron de bois » est extrait de résineux. Le plus souvent, les goudrons proviennent de la houille et sont désignés comme « goudrons de houille ».

Les goudrons d'origine végétale présentent une constitution chimique assez différente de celle des bitumes d'origine animale [7].

Ils proviennent de la distillation rapide (1100°C) ou lente (800°C) de diverses variétés de la houille de charbon. C'est un liquide noir brillant plus ou moins visqueux de densité supérieure à 1. Il faut 20 tonnes de houilles pour donner une tonne de goudrons brute. Les goudrons ne sont plus utilisés fréquemment, mais ils sont en grande Bretagne où la houille demeure encore une source majeure de ce liant.

### **II.1.b Les bitumes :**

Le bitume est un mélange complexe d'hydrocarbures naturels non volatils de poids moléculaire élevé, appartenant en majorité aux groupes aliphatiques à chaînes linéaires ou ramifiées, naphthéniques ou cycliques et saturés. Il contient en moyenne 80 à 85 % de carbone, 10 à 15 % d'hydrogène, 2 à 3 % d'oxygène et, en moindre quantité, du soufre et de l'azote ainsi que divers métaux à l'état de traces, mais liés chimiquement aux molécules les plus lourdes. A la température ambiante, il est très visqueux, presque solide, et présente deux caractéristiques importantes : c'est un agglomérant à fort pouvoir adhésif, en particulier sur les minéraux destinés aux ouvrages, et il est totalement imperméable à l'eau. Ces propriétés sont exploitées dans la construction routière, sa principale utilisation, où il fournit le liant pour les enrobés, et dans diverses applications pour les travaux publics et l'industrie qui mettent principalement à profit son étanchéité pour les toitures, les terrasses ou les bassins. Le bitume, aujourd'hui est un produit industriel à forte valeur ajoutée technologique, fabriqué à la demande à partir de certains pétroles bruts [8].

### **II.1.c l'asphalte :**

Famille de composés chimiques du bitume insolubles dans les solvants de bas poids moléculaire et soluble dans le toluène. Ils constituent le corps du bitume et représentent jusqu'à 30% du bitume. Leur point de ramollissement est très élevé «supérieur à 150 °C». Le pourcentage d'asphaltènes croît avec la dureté du bitume [9].

## **III. Bitume, généralités :**

### **III.1 Historique :**

En 1848, le bitume de pétrole apparaît avec le premier puits de pétrole à Titusville dans l'état de Pennsylvanie. Tardy utilise en 1896 « l'huile de naphte ou mazout » à Oran pour couvrir les chaussées.

En 1903 apparaît le terme d'émulsion : les huiles lourdes de pétrole sont émulsionnées et saponifiées avec de l'eau ammoniacale et l'application est immédiate (80 km en Ardennes). Les brevets ne sont pris qu'en 1924 au Royaume-Uni. Des émulsions de bitume sont utilisées en 1923 aux Etats-Unis, et en 1924 en France. La production de béton bitumineux routier commence en France à partir de 1929 [10].

L'utilisation des bitumes, remonte à très loin dans l'histoire de l'humanité. Les archéologues ont trouvé des traces d'utilisation des bitumes naturels datant de 5.000.ans avant J-C.

### **III.2 Origine et fabrication :**

#### **III.2.a Origine :**

L'utilisation du bitume remonte à sa préhistoire et les plus anciens objets humains contiennent du bitume, par exemple calfatation des embarcations, construction des édifices et préparation des momies par les anciens Egyptiens.

Le mot bitume désigne à l'origine un produit naturel associé à l'huile de pierre (dérivé du pétrole), présent à l'état naturel sous forme suintante (Mexique, Venezuela, Trinidad...), dans des dépôts des d sous forme d'amas ou en imprégnation dans des roches poreuses (Madagascar, Pont-du-Château en France) [11].

#### **III.2.b Procédés de fabrications :**

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

Outre la distillation, citons encore les procédés de soufflage et de désasphaltage. Le premier procédé consiste à oxyder les résidus sous vide par soufflage d'air chaud à 250 °C. Le deuxième procédé est, quant à lui, utilisé pour des résidus sous vide ayant une teneur en fractions lubrifiantes trop importante et consiste à traverser le résidu sous vide par un courant ascendant de solvant : la différence de solubilité des fractions bitumineuses vis-à-vis du solvant employé permet alors d'obtenir le bitume souhaité. Dans ce dernier cas, le bitume présente une faible pénétrabilité.

#### **III.2.c Composition chimique et structure des bitumes :**

Les bitumes sont des mélanges d'hydrocarbures à poids moléculaire élevé pouvant appartenir aux trois groupes suivants :

- aliphatique,
- naphénique,
- aromatique,

Le groupe oléfinique est rencontré dans certains bitumes craqués.

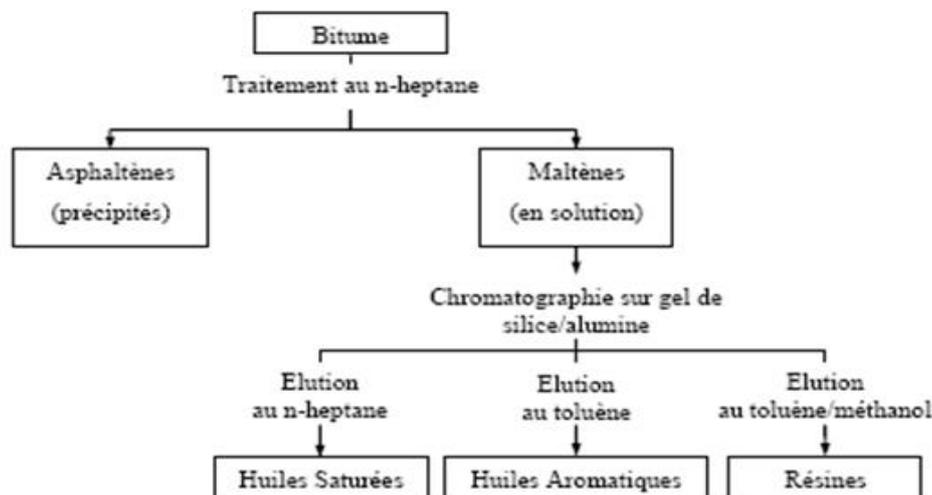
L'utilisation, comme solvant sélectif, d'un hydrocarbure léger en grand excès, permet de fractionner un bitume en deux parties.

- La partie dissoute \_ les maltènes \_ a l'aspect d'une huile visqueuse de couleur foncée.
- La fraction précipitée \_ les asphaltènes \_ est constituée par des corps de poids moléculaire très élevé se présentant sous la forme d'une substance solide et noirâtre.

Il n'y a pas de discontinuité entre maltènes et asphaltènes, le fractionnement obtenu dépendant du solvant employé. On a longtemps utilisé l'éther de pétrole, maintenant remplacé par l'heptane normal.

On constate que les maltènes se comportent comme un fluide parfaitement visqueux (fluide newtonien). La présence des asphaltènes confère aux bitumes des propriétés caractéristiques de l'état colloïdal.

Les asphaltènes ont tendance à absorber la fraction aromatique la plus lourde de maltènes et forment ainsi des corpuscules complexes \_ les micelles \_ qui sont en suspension dans une phase continue formée par les maltènes de bas poids moléculaire [12].

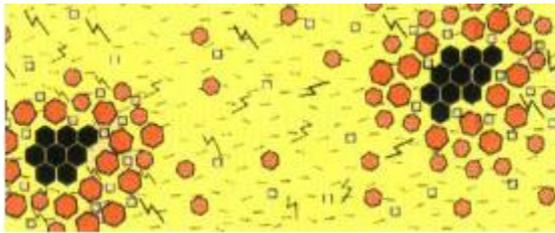


**Figure II.1** : Séparation chimique des 4 familles de constituants du bitume.

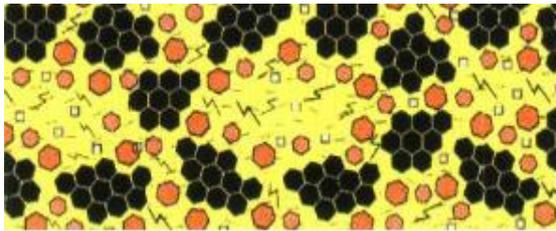
Si les maltènes contiennent suffisamment d'aromatique pour que les forces d'absorption des asphaltènes soient saturées, les micelles sont complètement mobiles au milieu de la phase dispersante : elles sont peptisées. La solution colloïdale est alors à l'état de "sol".

S'il n'y a pas suffisamment d'aromatique, les micelles s'attirent mutuellement, deviennent moins mobiles et forment un réseau au milieu de la phase inter micellaire. Cette structure, que confère au bitume des propriétés, est désignée sous le nom de "gel". une classe intermédiaire, appelée "sol-gel", correspond aux bitumes intermédiaires [12].

Représentation schématique d'un bitume type 'SOL'



Représentation schématique d'un bitume type 'GEL'



□	Hydrocarbures aromatiques/naphténiques
∕	Hydrocarbures naphténiques/aliphatiques
≡	Hydrocarbures saturés
●	Asphaltènes
○	Résines

**Figure II.2 :** Représentation schématique des deux types de structure.

### III.3 Les caractéristiques physico-chimiques des bitumes :

#### III.3.a Les caractéristiques physiques :

Les bitumes sont capables d'évacuer de l'eau et d'amortir les bruits, les bitumes à haute cohésion résistent à de fortes contraintes mécaniques (comme de passage des poids lourds) Ils sont caractérisés par un certain nombre de propriétés physiques dont les cinq plus utilisés sont la densité, ductilité, la pénétration, le point de ramollissement et le point de flash. D'autres tests comprennent viscosité en fusion, poids moléculaire, Fraas, point de rupture, l'indice de pénétrabilité, et les pertes de chauffage [13].

##### III.3.a.1 La densité :

- La densité : est la masse du liquide par unité de volume à une température déterminée.
- La densité  $d_{t_1}^{t_2}$  : est le rapport d'un poids d'un volume d'échantillon à une température  $t_2$ , au poids de même volume d'eau à la température  $t_1$  [Annexe]

### **III.3.a.2 Ductilité :**

C'est la capacité d'un asphalte à prolonger à une température généralement  $25^{\circ}$ . Sa valeur est déterminée comme l'allongement de l'asphalte avant rupture exprimée en centimètres [Annexe].



**Figure II.3 :** appareillage de ductilité.

### **III.3.a.3 Pénétration :**

- Elle représente l'enfoncement mesuré en 1/10 de mm d'une aiguille d'un calibre donné sous une charge donnée pendant un temps donné. Le plus généralement la mesure est faite à  $25^{\circ}\text{C}$  avec une charge de 100g et pendant une durée de 5 secondes.

Ceci est mesuré à l'aide d'un pénétromètre [Annexe].



**Figure II.4 :** appareillage de pénétromètre.

**III.3.a.4 Point de ramollissement :**

- C'est la température à laquelle le bitume passe de l'état solide à l'état liquide.
- Le ramollissement est défini comme la température à laquelle s'enfonce une bille d'acier à travers le bitume remplissant le cercle intérieur d'un anneau de laiton ( $Cu_2 Zn$  ou  $Cu_3 Zn_2$ ) placé dans un bain thermostat [Annexe].

**Remarque :**

Ces deux dernières propriétés permettent de définir un bitume :

- La pénétrabilité : mesure de dureté ;
- La température de ramollissement : température maximale d'usage de bitume sur la route.



**Figure II.5 :** appareillage de ramollissement.

**III.3.a.5 Point d'éclair :**

- On appelle point d'éclair la température à laquelle les vapeurs d'un produit pétrolier, réchauffées dans des conditions standard, forment avec l'air au dessus de la surface du liquide ; un mélange susceptible de s'enflammer ou s'exploser lorsqu'on en approche une flamme [Annexe].



**Figure II.6 :** appareillage de mesure du point de flash.

### **III.3.b Les caractéristiques chimiques :**

Le bitume peut être trouvé à l'état de dépôt naturel, mais il est beaucoup plus obtenu par les procédés de raffinage, ses propriétés chimiques sont les suivants [14]:

- Le bitume est une masse composée essentiellement d'asphaltènes et de maltènes.
- Il est en grande partie non volatil et résiste à la plupart des acides, alcalis et des sels et à l'oxygène de l'air, dans l'eau il est complètement insoluble. Tout ceci lui donne une grande résistance aux influences climatiques.
- Le bitume est aussi souvent rendu fluide non par la chaleur, mais par un solvant hydrocarboné si ce solvant est le pétrole, on parle de cut back ou de bitume fluidifié.
- Le bitume est un liquide viscoélastique de couleur sombre, durable imperméable, soluble dans le trichloréthylène.
- Le bitume peut être sous forme liquide viscoélastique ou solide, il se ramollit progressivement quand il est chauffé.
- Il possède de très bonnes propriétés d'étanchéité.
- Le bitume possède un grand pouvoir agglomérant, car il adhère à la majorité des matériaux usuels : pierre, bétons, bois, métal, verre.
- C'est un excellent isolant thermique. Il est léger, ductile et souple.

### **III.3.c Les caractéristiques mécaniques :**

De point de vue mécanique, il se comporte comme matériau plastique ou élastique. Il est insoluble dans l'eau, mais l'on peut en obtenir des solutions dans de nombreux solvants organiques. Il est pratiquement inerte vis-à-vis de la plupart des agents chimiques usuels [14].

### **III.3.d Relations entre composition chimique et rhéologie :**

Les propriétés rhéologiques d'un bitume dépendent de façon importante de sa teneur en asphaltènes et de la masse moléculaire de ces molécules. A température constante, la viscosité du bitume s'accroît lorsque la concentration en asphaltènes augmente dans une même matrice maltènes. De plus, l'accroissement en viscosité est significativement plus important que ce qui serait attendu si les asphaltènes étaient sphériques. En fait, les asphaltènes peuvent interagir entre eux ainsi qu'avec le milieu solvate. Des études conduites à l'aide de la cryofracture suivie d'une observation au microscope électronique font apparaître la propension des asphaltènes à se rassembler en feuillets.

Lorsque la température augmente, la viscosité diminue en même temps que les associations formées disparaissent. Inversement, lorsque la température décroît, les interactions se produisent et le bitume présente un caractère de plus en plus non-newtonien.

Lorsque le bitume est soumis à des efforts de cisaillement, ces associations se déforment ou se défont d'une façon qui n'est pas décrite convenablement selon les concepts newtoniens classiques. Ainsi, aux températures ambiantes et intermédiaires, on conçoit que la rhéologie des bitumes est dominée par le degré d'association des asphaltènes et par la proportion relative des autres composants dans le système afin de stabiliser ces associations [8].

En maintenant constante la teneur en asphaltènes dans le bitume et en faisant varier les autres constituants, on constate que :

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

### **III.4 L'influence des paramètres de production sur la qualité des bitumes :**

#### **III.4.a La qualité de la charge :**

La qualité des bitumes dépend de la composition chimique du brut réduit importé. Les caractéristiques les plus importantes pour une charge de brut réduit importé (BRI) sont : Viscosité à 50 C ; Teneur en soufre ; Teneur en sels, sédiments et eau (BSW) ; Teneur en asphaltènes [14].

#### **III.4.b La température de soufflage :**

Le soufflage corrige certaines caractéristiques du bitume comme la susceptibilité thermique. Le mode opératoire consiste en une injection d'air dans le bitume à une température comprise entre 250 et 300°C.

#### **III.4.c Le vide appliqué :**

Il faut assurer un vide de 30mmHg en tête de la colonne sous vide et 50mmHg en zone de flash, cela permet de fractionner à une température moins élevée pour éviter le craquage des molécules.

#### **III.4.d La température de flash :**

Elle est entre 320 et 380°C, c'est la température à la sortie du four ; elle dépend de la qualité de BRI (densité et viscosité). Cette variable est réglée en fonction de la pénétrabilité visée du bitume à produire.

#### **III.4.e Le débit d'air :**

Il sert de régler la pénétrabilité du bitume, mais le débit doit être au minimum possible à fin de ne pas altérer la ductilité.

### **III.5 Les produits bitumineux :**

Les bitumes sont fabriqués industriellement par la distillation des pétroles bruts. Ces bitumes peuvent être utilisés tels quels ou servir de base à l'élaboration de bitumes de classes intermédiaires. Certaines qualités sont fabriquées par soufflage ou rectification à l'air, d'autres par désasphaltage de certaines bases au moyen d'un solvant sélectif. On peut aussi y ajouter des polymères ou des additifs pour en modifier les propriétés physico-chimiques. La combinaison de ces procédés permet d'obtenir une gamme très variée de produits pouvant répondre aux exigences d'utilisations très différentes [8].

#### **III.5.a Bitumes purs**

Les plus communs des bitumes routiers sont obtenus en raffinerie par distillation directe, sauf les plus durs pour lesquels on peut faire appel à la rectification à l'air ou au désasphaltage.

La plage de pénétrabilité, qui caractérise la dureté, varie de 50/70 à 160/220 pour les bitumes considérés comme mous, et de 10/20 à 35/50 pour les bitumes appelés durs. Sur les chantiers (cette terminologie ne correspond pas exactement au classement retenu par les normes) [15].

Les dénominations usuelles sont les suivantes :

C1 :180/220, C2:80/100, C3 :40/50, C4 :20/30.

Ces bitumes peuvent être employés pour la fabrication d'enrobés à chaud.

Les caractéristiques des bitumes purs sont indiquées dans le tableau II.1 ci-après :

Caractéristique	Unité	ASTM	Classes			
<b>Pénétrabilité à °C</b>	X0, 1mm	D5	20-30	40-50	80-100	180-220
<b>Point de ramollissement</b>	°C	D36	52-65	47-61	41-51	34-43
<b>Densité</b>		D70	1,00-1,1	1,00-1,1	1,00-1,07	1,00-1,07
<b>Point d'éclair, mini</b>	°C	D92	250	250	230	230
<b>Teneur en paraffines, maxi</b>	%(mm)	D66015	4,5	4,5	4,5	4,5
<b>Solubilité, mini</b>	%(m/m)	D2042	99,0	99,0	99,0	99,0
<b>Ductilité à 25 °C</b>	Cm	D113	>=50	>=60	>=100	>=100

**Tableau II.1:** les caractéristiques des bitumes purs.

**NOTE :** le terme %(m/m) est utilisé pour représenter la fraction massique.

### **III.5.b Les bitumes oxydés :**

Les bitumes oxydés ou bitumes soufflés, réservés à des usages industriels, sont obtenus par l'injection d'air dans une charge composée habituellement de distillats et de produits lourds provenant de la distillation sous-vide. Cette réaction se fait à température élevée (280°C en moyenne).

L'air introduit à la base de la colonne circule à contre-courant de la charge bitumineuse et l'oxygène, en réagissant, conduit à une déshydrogénation des molécules hydrocarbonées qui se lient et à la formation des groupes hydroxyles, carboxyles, acides et des esters. L'eau produite par la réaction, ainsi que les hydrocarbures légers sont évacués avec le courant gazeux. En liant les molécules entre elles, cette réaction contribue à la création de corps à haut poids moléculaire (asphaltènes) et à un changement de structure colloïdale (type gel), avec pour résultante un point de ramollissement très élevé (par exemple, le bitume 100/40 a un point de ramollissement de l'ordre de 100 °C pour une pénétrabilité de 40 x 0,1 mm).

Pour mémoire, un bitume 35/50 (type sol) présente un point de ramollissement de l'ordre de 54 °C pour une pénétrabilité de l'ordre de 40 x 0,1 mm.

### **III.5.c Bitumes modifiés :**

Les bitumes modifiés sont des bitumes dont les propriétés rhéologiques ont été modifiées pendant la fabrication par l'emploi d'un ou de plusieurs agents chimiques.

La chimie macromoléculaire présente une large gamme de produits et le choix peut sembler facile pour modifier un bitume par un polymère. Cependant, un minimum d'affinité entre les constituants est nécessaire pour éviter une forte hétérogénéité du mélange qui serait préjudiciable à l'obtention de bonnes propriétés tant mécaniques que physiques. La liste des agents modifiants utilisables est alors considérablement réduite [15].

### **III.5.d Bitumes fluidifiés**

Pour faciliter la mise en œuvre, on réduit la viscosité en ajoutant des fluidifiants (par exemple le kérosène) qui ramollissent le bitume. Certains bitumes fluidifiés peuvent être appliqués à température ambiante. L'usage routier de ces produits a quasiment disparu [16].

### **III.5.e Bitumes fluxés**

L'ajout d'un fluxant, souvent une huile, ramollit le bitume et permet sa mise en œuvre à une température légèrement supérieure à 100 °C. La partie la plus légère du fluxant s'évapore tandis que la plus lourde a pour rôle de plastifier le liant en place [16].

### **III.5.f Emulsions de bitume**

Les liants noirs peuvent être mis en émulsion pour être utilisés à températures moins élevées (30-70).

L'émulsion est un mélange de bitume et d'eau contenant une petite quantité d'un agent émulsifiant. Elle forme un système hétérogène contenant deux phases normalement non miscibles (le bitume et l'eau), système dans lequel l'eau constitue la phase continue de l'émulsion, et les minuscules globules de bitume forment la phase discontinue.

L'agent émulsifiant ou l'additif permet d'assurer en entourant les globules ou gouttes de bitume, la stabilité de l'émulsion.

Les émulsions bitumineuses peuvent être soit basiques ou anioniques, C'est-à-dire constituées de globules de bitume chargés d'électricité négative, soit acides ou cationiques, globules de bitume chargés d'électricité positive; tout dépend de l'agent émulsifiant utilisé.

Il existe de nombreuses émulsions en fonction de la rapidité de la rupture, de la grosseur des gouttes, du dosage en additif, etc....

Grâce à leur facilité d'emploi, elles sont très utilisées en entretien courant, notamment en imperméabilisation de surface [15].

### **III.5.g Bitumes industriels**

On distingue les bitumes oxydés et les bitumes industriels durs, obtenus par soufflage à l'air de bases sélectionnées. Pour des pénétrabilités identiques, le bitume soufflé présente un point de ramollissement plus élevé que les bitumes conventionnels obtenus par distillation directe. Ses propriétés viscoélastiques sont également différentes [16].

### **III.5.h Bitumes spéciaux**

Les bitumes spéciaux sont fabriqués au moyen de procédés et à partir de bases choisis afin de leur conférer des propriétés particulières les rendant aptes à certaines exigences plus rigoureuses imposées pour des applications routières ou industrielles spécifiques. Parmi ceux-ci, on trouve les bitumes durs et les bitumes multigrades [16].

### **III.6 Applications :**

#### **III.6.a Applications routières :**

La grande majorité des bitumes sont utilisés pour la construction des routes, parce qu'il contribue par ses propriétés viscoélastiques au comportement mécanique de la structure de la chaussée. Il en assure également l'étanchéité du fait de son insensibilité à la plupart des agents chimiques usuels, en particulier l'eau.

On utilise les bitumes purs, les bitumes fluidifiés et fluxés ainsi que les émulsions [15].

#### **III.6.b Applications hydrauliques :**

Les performances du bitume en matière d'étanchéité sont connues depuis la plus haute Antiquité. On peut voir encore aujourd'hui des ouvrages hydrauliques à base de bitume vieux de 3 000 ans, telles les digues du Tigre, à Assur, en Mésopotamie, encore en bon état.

Imperméables, insensibles à l'eau, résistant à la plupart des agents chimiques courants et aux micro-organismes, durables, les bitumes possèdent une grande aptitude à résoudre de nombreux problèmes d'hydraulique. La souplesse des étanchéités bitumineuses leur permet de s'adapter aux tassements de leur support sans se fissurer ni perdre leurs propriétés.

Pour les applications hydrauliques, les bitumes peuvent être utilisés purs ou sous forme de membranes bitumineuses préfabriquées, d'asphalte coulée ou d'enrobés [15].

- **Enrobés étanches pour masques amont de barrage.**
- **Enrobés étanches pour écran interne de barrage.**
- **Enrobés étanches pour revêtements de canaux.**

### III.6.c Applications industrielles :

Les utilisations industrielles du bitume, c'est-à-dire autres que routières et hydrauliques, sont multiples et variées. Elles font souvent appel à des produits spécifiques [15]

On cite des exemples les plus consommables au bitume :

- ✓ **Bâtiments, ouvrages d'art, trottoirs.**
- ✓ **Étanchéité par membranes bitumineuses :** Deux types de bitume répondent à ces exigences : les bitumes soufflés et les bitumes-polymères.
- ✓ **Réalisations à base d'asphalte.**
- ✓ **Isolation thermique et phonique des bâtiments.**
- ✓ **Peintures, encres et vernis.**

### IV. Comment les additifs influent :

Les additifs polymères sont maintenant largement utilisés pour modifier les propriétés des bitumes. Ils sont connus pour être efficaces à des teneurs relativement faibles, de l'ordre de 3 à 6 % massiques [15].

Par définition, un bitume modifié aux polymères (BMP) est un liant qui, par addition de polymères organiques à des bitumes, conduit à des produits fabriqués en usine et livrés prêt à l'emploi comme un bitume classique. Le but de cette modification est d'approcher le comportement rhéologique d'un liant idéal [17].

### V. Les propriétés :

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

- Bonne adhésivité.
- Bonne comportement rhéologique.
- Bonne résistance au vieillissement.
- Bonne stabilité de stockage.
- Bonne cohésion.
- Bonne élasticité.

## **VI. Les types de modification par polymères :**

Il existe deux types :

### **VI.1 Les liants modifiés plastomères :**

La modification des bitumes par des plastomères peut faire appel à différents types d'homopolymères ou de copolymères.

La technologie des mélanges bitume-copolymères EVA est l'une des plus utilisées pour la modification des enrobés bitumineux. L'acétate de vinyle améliore la souplesse et l'adhésivité; l'éthylène quant à lui intervient pour améliorer la susceptibilité thermique [18].

### **VI.2 Les liants modifiés élastomères :**

Ce sont des composés naturels ou synthétiques présentant l'élasticité du caoutchouc à la température ambiante. Ils résistent bien à l'influence des produits tels que les huiles, les essences et sont insensibles à l'eau. Ils résistent également bien à l'oxygène et au rayonnement solaire; donc au vieillissement naturel.

Les élastomères les plus couramment utilisés pour la modification des bitumes sont obtenus par polymérisation anionique.

La composition du polymère influe peu sur le taux de gonflement. Selon Brion, le taux de gonflement du polymère varie légèrement et en sens inverse de la concentration en styrène dans le polymère. Le mode de préparation peut aussi avoir une influence sur le taux de gonflement, notamment les agitateurs et la température d'élaboration du mélange.

La modification du bitume par des élastomères induit des différences de comportement rhéologique. Le bitume modifié par le SBS présente, à basse température, une meilleure flexibilité que le bitume pur. La situation s'inverse à haute température. Le comportement d'un BMP est plus élastique que celui du bitume pur [18].

## **VII. Compatibilité Bitume-Polymère :**

Comme précisé en introduction, le choix de polymères pour modifier les bitumes est restreint à quelques familles chimiques, essentiellement les plastomères et les élastomères. Comme chaque bitume possède une composition chimique propre qui dépend de l'origine de son brut et dans une moindre mesure, du procédé de raffinage, composition qui est généralement insuffisamment définie pour prédire une compatibilité avec tel ou tel polymère, Le meilleur moyen de tester la compatibilité d'un couple bitume-polymère demeure l'essai de laboratoire. Pourtant, certains chercheurs ont formalisé la notion de compatibilité bitume-

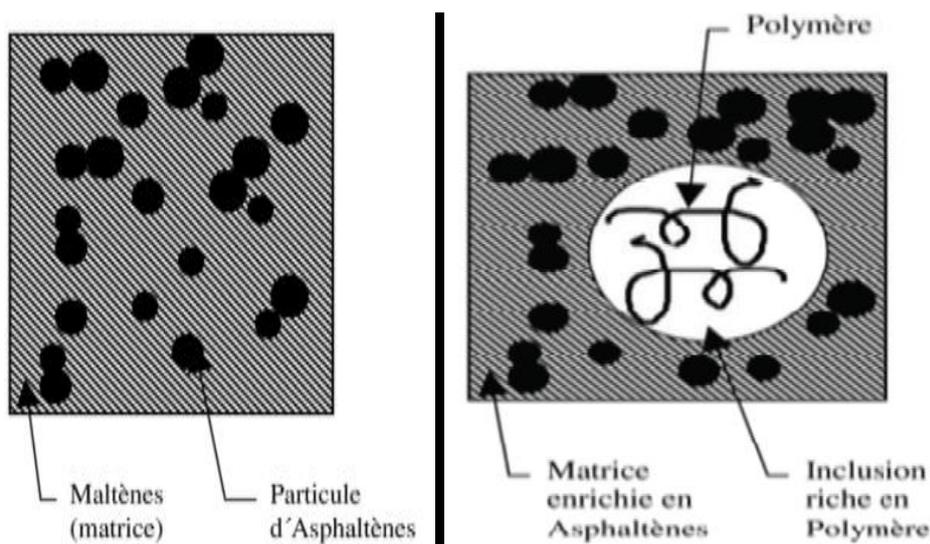
polymère selon des principes généraux qui permettent d'anticiper grossièrement l'aptitude d'un bitume à former de bons BMP.

- une forte teneur en asphaltènes diminue la compatibilité bitume-polymère.
- l'aromaticité des maltènes doit se situer dans une gamme optimale pour garantir une bonne compatibilité.

Des approches théoriques permettent de préciser ces concepts. En particulier, Laval et Quivoron ont montré comment le concept de balance hydrophile-lipophile utilisé pour classer les tensioactifs, peut permettre de prédire la compatibilité de monomères époxy avec le bitume. Cette approche a été raffinée par Laval et Brûlé qui ont montré que la valeur HLB d'une époxy doit être :

- inférieure à 6,3 ou 8 (suivant la nature du bitume) pour obtenir une miscibilité totale (solubilité),
- entre 6,3 et 9,3 ou entre 8 et 11,8 (suivant la nature du bitume) pour obtenir une bonne compatibilité au sens défini ci-dessus,
- supérieure à 9,3 ou 11,8 (suivant la nature du bitume) pour une insolubilité complète.

Ces résultats sont très intéressants, du fait du caractère prédictif de la notion d'HLB. En effet, Davies a montré que l'HLB d'une molécule peut être prédit d'après sa formule chimique. Ainsi, il devient possible de proposer des molécules à structure chimique optimisée vis-à-vis de leur compatibilité pour un bitume donné, comme vérifié par Laval et Brûlé [15].



**Figure II.7 :** Effet de la modification polymère sur la structure colloïdale du bitume.

### **I. Introduction :**

Le plus souvent synthétiques, quelquefois naturelles, les matières plastiques doivent leur essor à leur large gamme de caractéristiques, dures, molles ou élastiques, transparentes ou opaques, isolantes et quelquefois conductrices, plus ou moins résistantes aux conditions agressives de leur usage, toujours légères. C'est la nature particulière de leurs molécules en forme de chaîne, ainsi que la variété des modes d'assemblage qu'elles adoptent, qui est à l'origine de cette diversité [19].

### **II. Généralités sur les polymères :**

Les polymères sont parmi les produits chimiques ayant le plus d'applications industrielles. Ce sont des macromolécules obtenues par la combinaison d'un grand nombre de molécules plus petites. Les polymères ont une masse molaire très importante.

Le monomère est le nom donné à la petite molécule à partir de laquelle est formée la macromolécule. La réaction est une polymérisation [20].

On a divisé en deux catégories l'ensemble des polymères :

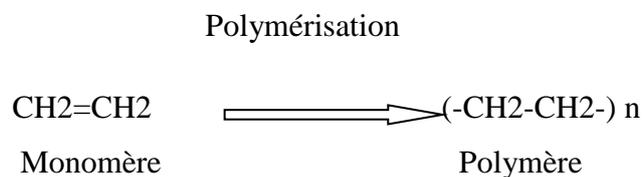
- Les polymères d'addition, obtenus par l'enchaînement d'un grand nombre de molécules monomères ; si ces molécules sont identiques on obtient un homopolymère, par contre si les monomères sont différents (en général deux) on obtient un copolymère.
- Les polymères de condensation, obtenus par la condensation d'un grand nombre de molécules, cette réaction s'effectuant avec l'élimination d'une petite molécule, en général l'eau.

Il existe une très grande variété de polymères, qui sont de plus en plus diversifiés.

## II.1 Définition du polymère :

Les polymères, appelés communément "matières plastiques", sont indissociables de notre environnement et de notre vie pratique. Ils sont des grandes molécules (macromolécule), constitués d'unité fondamentale appelés « motif » ou « monomère » reliés par des liaisons covalences.

**EX :**



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, en passant par leur utilisation dans les produits d'hygiène ou alimentaires [19].

## II.2. Caractérisation d'un polymère :

### La masse :

Pour une masse d'environ 400, ce polymère est un liquide de frein. Par contre, avec une d'environ 2000, ce polymère apparaît sous forme de poudre blanche et est utilisé dans la fabrication de médicaments.

Les polymères naturels ont une masse molaire de 10<sup>7</sup> tandis que les polymères industriels les plus utilisés ont une masse molaire 10<sup>5</sup> [21].

### La qualité :

La qualité de polymère dépend de la valeur de l'indice de polymérisation : les bonnes propriétés pour un échantillon ayant un  $I_{p_{max}}$  de 1,1.

( $I_p$  est l'indice de poly molécularité qui mesure la largeur de la dispersion des masses) [21].

### **La structure :**

Un polymère va avoir une structure que l'on peut détailler en plusieurs niveaux [21] :

- Structure primaire : est l'enchaînement covalent des motifs monomères.
- Structure secondaire : est la conformation d'une chaîne isolée.
- Structure tertiaire : cette structure touche à l'organisation des chaînes au sein du matériau.
- Les polymères dont la structure est basée sur un mélange de comportement vitreux et cristallin sont appelés des polymères semi-cristallins.

### **II.3. Utilisation :**

#### **II.3.a Type d'usage :**

Les polymères de faible poids moléculaire, sont faciles à mettre en œuvre et remplacent avantageusement des matériaux naturels, comme le bois ou les métaux, grâce à leur faible prix de revient

Les polymères techniques mises au point pour des applications spécifiques, peuvent atteindre de très hautes performances (mécaniques, chimiques, électriques et/ou optiques), mais leur prix de revient est plus élevé [22].

#### **II.3.b Le domaine d'application :**

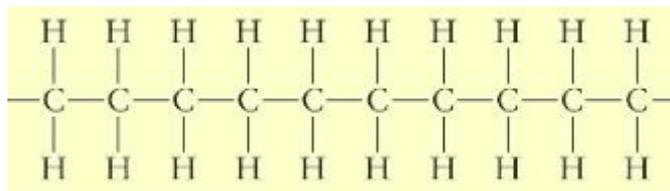
Le domaine d'application des matières plastiques est de plus en plus vaste : 40% des plastiques sont utilisés sous forme de plaques, feuilles, films, tubes, tuyaux ou profilés ; 30% pour l'emballage de type flaconnage ; 18%, dans le bâtiment et les travaux publics ; 6%, dans des pièces techniques (automobiles, électricité, électroménager) ; et 6% dans les biens de consommation (ameublement, vêtements, chaussures) [22].

### III. Polyéthylène :

- Le polyéthylène ou polythène est un des polymères les plus simples et les moins chers. C'est un plastique inerte.

Son nom vient du fait qu'il est le polymère obtenu par la polymérisation des monomères d'éthylène ( $CH_2 = CH_2$ ) [22].

Une molécule de polyéthylène n'est rien de plus qu'une longue chaîne de plusieurs milliers d'atomes de carbone contenant uniquement des liaisons simples entre les atomes de carbone selon l'axe de leur double liaison [23] .

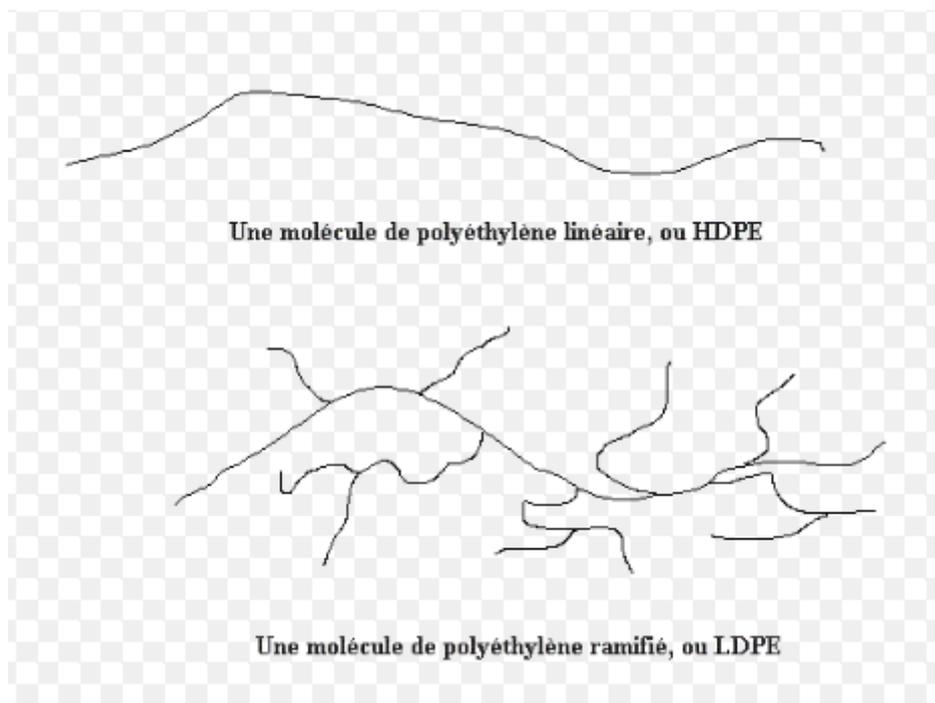


**Figure III.1** : simple représentation d'une chaîne de polyéthylène.

#### III.1. Les classifications :

Les polyéthylènes sont classés en fonction de leur densité qui dépend du nombre et de la longueur des ramifications présentes dans le matériau [22].

Parfois les atomes de carbone au lieu d'être liés à des atomes d'hydrogène, sont liés à de longues chaînes de polyéthylène. On appelle cela polyéthylène ramifié, ou PEBD. Quand il n'y a pas de ramifications, on appelle cela du polyéthylène linéaire, ou PEHD. Le polyéthylène linéaire est beaucoup plus résistant que le polyéthylène ramifié, mais le PEBD est moins cher et plus facile à fabriquer [24].



- La densité de PEBD est entre :  $0,92 \text{ g/cm}^3$  et  $0,94 \text{ g/cm}^3$ .
- La densité de PEHD est de :  $0,95 \text{ g/cm}^3$  et  $0,97 \text{ g/cm}^3$ .

Il existe autres types des polyéthylènes qui sont les suivants :

- PE-UHPM, polyéthylènes à poids moléculaire élevé.
- PE-RHD, polyéthylène réticulé à haute densité.
- PE-R, polyéthylène à moyenne densité.
- PE-TBD, polyéthylène à très basse densité.

### III.2. Les procédés de fabrication :

Le PE-BD (ou PE-BDR pour polyéthylène à basse densité radicalaire) est obtenu par polymérisation radicalaire, à haute pression, de l'éthylène.

Le PE-HD (ou-PE-L) est obtenu par polymérisation cationique catalysée de l'éthylène.

### III.3. Les propriétés:

<b>Propriété</b>	<b>Polyéthylène de faible densité</b>	<b>Polyéthylène de haute densité</b>
------------------	---------------------------------------	--------------------------------------

Toutes les propriétés de ces deux types de polyéthylènes sont regroupées dans le tableau ci-après :

<b>Point de fusion</b>	-115°C	-135°C
<b>Cristallinité</b>	Basse cristallinité (50-60% cristallin) La chaîne principale contient beaucoup de chaînes latérales de 2-4 atomes de carbone menant à l'emballage irrégulier et la cristallinité basse (amorphes)	Fortement cristallin (>90% cristallin) Contient de 1 chaîne latérale par 200 atomes de carbone dans la chaîne principale menant aux longues chaînes linéaires qui ont comme conséquences l'emballage régulier et la cristallinité élevée
<b>Flexibilité</b>	Plus flexible que le HDPE dû à cristallinité inférieure	Plus rigide que le LDPE du à une cristallinité plus élevée
<b>Force</b>	Pas aussi fort que HDPE dû à l'emballage irrégulier des chaînes de polymère	Fort en raison de l'emballage régulier des chaînes de polymère
<b>Resistance thermique</b>	Maintient la dureté et pliability sur une température ambiante large. Mais la densité chute au lion nettement à la densité chute au dessus de la température ambiante	Utile au –dessus de 100°C
<b>Transparent</b>	Le bon transparent puisqu'il est plus amorphe (a des régions non cristallines) que le HDPE	Moins transparent que le LDPE parce qu'il est plus cristallin
<b>Densité</b>	0,91- 0,94g/cm <sup>3</sup> une faible densité	0,95-0,97g/cm <sup>3</sup> une densité élevée
<b>Propriétés chimiques</b>	Chimiquement inerte Insoluble à la température ambiante dans la plupart des dissolvants. Bonne résistance aux acides et aux alcalis L'exposition à la lumière et à l'oxygène a comme conséquence la perte de force et la perte de force et la perte de résistance de larme	Chimiquement inerte

**Tableau III.1:** les différences entre les propriétés des deux types de polyéthylène [25].

#### III.4.Utilisation:

Le polyéthylène est le plastique le plus employé. Il compose notamment la moitié des emballages plastiques.

Les principales applications du PEHD sont des produits rigides : flacons (détergents, cosmétiques ...), bouteilles, jerricans...

Les principales applications du PEBD sont des produits souples : sacs, films, sachets, sacs poubelle, récipients souples (ketchup, crèmes hydratantes....) [22].

## **I. Introduction :**

Ce chapitre expose d'une façon générale sur les argiles, et la structure de la bentonite, Propriétés, et les types.

## **II. Les argiles :**

Les minéraux argileux comprennent tous les phyllosilicates ainsi que des espèces d'une structure assez semblable aux phyllosilicates mais de caractéristiques physicochimiques différentes par le terme argile on désigne un mélange naturel de minéraux argileux avec d'autres minéraux non argileux (quartz, calcaire), les différents types des minéraux argileux résultent des différentes combinaisons des éléments structuraux (tétraèdre octaèdre), on distingue trois types : les kaolins les micas et les montmorillonites on s'intéresse à cette dernière la montmorillonite car elle renferme la bentonite minéral de base  $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$  (Ca, Mg, Na, K) O.  $H_2O$ , ils sont de structure fine et de haute plasticité. Elles se sont gonflantes, ce qui permet de donner un gel avec de l'eau. Cette argile a un pouvoir d'échange d'ions très élevé. la plus connue c'est la bentonite se trouve en abondance en Algérie (magnai).

Du fait des propriétés présentées par la montmorillonite telles que le gonflement et la capacité d'adsorption et d'échange cationique, qui rendent son application (sous la forme brute ou modifiée) très utile dans divers domaines [26].

### **II.1 Les propriétés physico-chimiques des argiles :**

Les roches argileuses ont les propriétés physiques suivantes [26] :

- ✓ Elles sont fragiles, elles cassent et se raient facilement.
- ✓ Elles sont colorées, leur couleur varie selon les minéraux dont elles sont constituées.
- ✓ Elles sont transformables, on peut les cuire pour obtenir des céramiques.
- ✓ Elles sont miscibles à l'eau, elles ne se dissolvent pas mais gonflent pour former une pâte.

### III. La bentonite :

Les bentonites sont des silicates d'alumine hydratés appartenant au groupe des montmorillonites de formule brute :  $\text{Si}_4 (\text{Al} (2-x)\text{Rx}) (\text{O}_{10}, \text{H}_2\text{O}) (\text{Cex}, n\text{H}_2\text{O})$  ou  $\text{Si}_4 (\text{Al} (2-x) \text{Rx}) (\text{H}_2\text{O}) n$  avec :

R= Mg, Fe, Mn, Zn, Ni Ce (cations échangeables) = Ca, Na, Mg.

La bentonite est une argile douée de propriétés de surface (caractère, affinité pour l'eau, capacité d'adsorption de composés électropositifs,...).

L'altération et la transformation hydrothermale de cendres des tufs volumiques riches en verre entraînent la néoformation des minéraux argileux, qui font partie principalement du groupe des smectites. Les roches argileuses ainsi formées portent le nom de bentonite, d'après le gisement situé près de Fort Benton (Wyoming, Etats-Unis).

Elle contient plus de 75 % de montmorillonite ; cette dernière fut découverte pour la première fois en 1847 près de Montmorillon, dans le département de la Vienne (France).

La bentonite que nous utilisons est un fluide de forage naturellement biodégradable, pouvant servir dans de multiples applications de forage. Fabriqués avec des polymères fluides secs, cette bentonite procure une stabilité exceptionnelle au trou de sonde et permet l'évacuation des débris dans des conditions de sol très variées [27].

#### III.1. Structure de la bentonite :

La montmorillonite (Figure IV.1) est le constituant principal de la bentonite. C'est un phyllosilicate 2 :1 (famille de smectites) dans lequel la charge négative de la couche est électriquement équilibrée par une charge égale, des cations échangeables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{Na}^+$ ) situés principalement entre ces couches silicates ; ces cations ne font pas partie de la structure et garde une certaine mobilité [27].

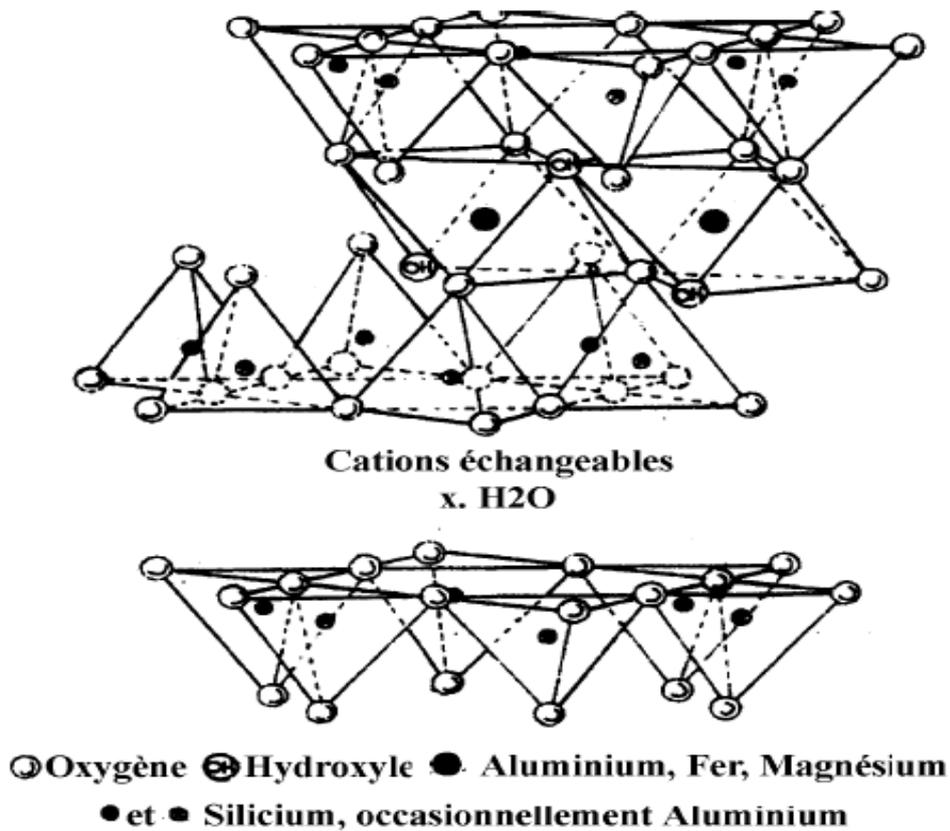


Figure IV.1: Structure de la montmorillonite.

### III.2 Types de bentonite :

On distingue trois types de bentonites par rapport à leur pouvoir de rétention de molécules organiques, qui sont [27]:

- ✓ Bentonite sodique naturelle.
- ✓ Bentonite calcique naturelle.
- ✓ Bentonite activée.

#### III.2.1 Bentonite naturelles :

Il existe à l'état naturel deux types de bentonites :

- ✓ Les bentonites sodiques, ou le sodium est le cation échangeable majoritaire, elles ont un fort pouvoir de gonflement et d'adsorption.

- ✓ Les bentonites calciques, où le calcium est le cation échangeable majoritaire, ont un pouvoir de gonflement et d'adsorption plus faible que les bentonites sodiques, éventuellement après un séchage à 80-90 °C, sont simplement broyées avant leur commercialisation.

### **III.2.2 Bentonite activées :**

Afin d'améliorer les propriétés d'adsorption des bentonites calciques, ces dernières sont le plus souvent activées par du carbonate de sodium puis séchées et broyées ; on obtient ainsi des bentonites calciques activées dont les propriétés sont égales ou supérieures à celles des bentonites sodiques. Les propriétés de ces bentonites ainsi activées ou permutées sont moins stables dans le temps (3 à 18 mois) et dépendent de l'activation et des taux de magnésium, calcium et sodium.

### **III.3. Avantage de bentonite :**

- ✓ Non toxique.
- ✓ Dilution rapide et efficace dans de l'eau claire et saline.
- ✓ Stable durant le forage.
- ✓ Recyclable.
- ✓ Naturellement biodégradable (un stabilisateur peut être rajouté pour retarder la biodégradation).
- ✓ Peut être détruit chimiquement avec de l'hypochlorite de calcium.

### **III.4. Propriétés de la bentonite :**

La bentonite se disperse facilement dans l'eau. On obtient une suspension dont les propriétés sont en fonction des caractéristiques suivantes :

#### **III.4.1 L'hydratation interne ou gonflement :**

Le caractère dipolaire des molécules d'eau a donné naissance à une ancienne théorie qui consistait à dire que la surface des argiles étant chargée négativement. Les molécules d'eau s'orientaient de la façon que leur extrémité positive soit dirigée vers l'argile et leur extrémité négative vers l'extérieur. Cette première couche d'eau forme alors une nouvelle surface négative ou d'autres molécules peuvent se fixer et ainsi de suite [28].

### **III.4.2 Cations échangeables et adsorption :**

Les argiles ont la propriété d'adsorption certains anions et cations et de les retenir dans un état où ils sont échangeables avec d'autres ions en solution. Dans les argiles, les cations échangeables les plus communs sont par ordre décroissant :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ .

Comme il a été dit précédemment dans le cas de la montmorillonite, le motif cristallin précédemment dans le cas de la montmorillonite, le motif cristallin présente une charge négative au sein du feuillet par suite de la substitution d'ions  $\text{Al}^{3+}$  par des ions  $\text{Mg}^{2+}$ , en couche octaédrique, et des ions  $\text{Si}^{4+}$  par des ions  $\text{Al}^{3+}$  en couche tétraédrique. Cette charge négative est évidemment compensée par un nombre équivalent de cations. Pour des raisons de neutralisation électrique, ces cations se logent dans les espaces inter foliaires ainsi qu'à la surface des feuillets. Le cation majoritairement représenté conditionne largement les propriétés physico-chimiques des bentonites [28].

### **III.5. La bentonite et ses utilisations :**

Le terme bentonite désigne une argile composée essentiellement de montmorillonite du groupe des smectiques et qui se caractérise par une forte capacité de gonflement (pouvoir absorbant) après absorption d'un liquide : l'eau ou un liquide organique.

Les bentonites conservent l'humidité plus longtemps que les argiles ordinaires. Leur couleur est généralement gris-clair, grise, aux teintes bleuâtres (à l'état sec) et verdâtre (à l'état humide).

Les bentonites peuvent être classées en 2 groupes selon qu'elles sont sodiques (gonflables et conviennent pour les boues de forage) ou calciques (avec un indice de gonflement très faible et une forte capacité d'adsorption) [29].

**I. Objectif :**

L'objectif de notre travail est d'étudier les effets de l'addition de certains polymères, comme le « polyéthylène » et certains déchets silicate comme « la bentonite » sur les caractéristiques physico-chimique et rhéologique de bitume.

**I.1. Présentation des matériaux :**

**Le produit :** le bitume 40/50.

**I.2. Les caractéristiques :**

**Tableau I.1 :** les caractéristiques de bitume routier 40/50.

caractéristiques	P	R	Duc	v	P.F	d
Bitumes 40/50	48	52	62	992	271	1.032

**I.3. Mode opératoire :**

**Produits utilisés :** bentonite, polyéthylène.

**I.4. Méthode de travail :**

1. Chauffage du bitume initial (d'une quantité de 300g) à température 180-200 °C dans un bicher de 250 ou 500ml
2. Ajouter la matière utilisée (bentonite, polyéthylène) selon les quantités calculées.
3. Agiter le mélange pendant plusieurs heurs.
4. Laisser le mélange à se refroidir pendant 24 h.
5. Effectuer toutes les analyses physico-chimiques.

**II. Résultats et discussion**

**II.1. Résultats des essais pour le bitume-bentonite :**

**A. Pénétrabilité à 25°C :**

**Tableau I.2 :** les valeurs de la pénétrabilité de bitume-bentonite.

Essais	% de bentonite	P (1/10mm)
1	2	46
2	5	44
3	8	43
4	11	35
5	14	32

**B. Point de ramollissement :**

**Tableau I.3:** les valeurs du ramollissement de bitume-bentonite.

Essais	% de bentonite	R(°C)
1	2	47
2	5	48.5
3	8	50.3
4	11	54
5	14	57

**C. Densité à 25°C :**

**Tableau I.4 :** les valeurs de la densité de bitume-bentonite.

Essais	% de bentonite	D
1	2	1.041
2	5	1.055
3	8	1.064
4	11	1.070
5	14	1.078

**D. Ductilité à 25°C :**

**Tableau I.5 :** les valeurs de la ductilité de bitume-bentonite.

Essais	% de bentonite	Duc (cm)
1	2	38
2	5	33.5
3	8	31
4	11	24
5	14	15

**E. Point flash :**

**Tableau I.6 :** les valeurs des points de flash de bitume-bentonite.

Essais	% de bentonite	P.F (°C)
1	2	250
2	5	285
3	8	290

<b>4</b>	11	325
<b>5</b>	14	350

**F. La viscosité à 25 °C :**

**Tableau I.7:** les valeurs de la viscosité cinématique de bitume-bentonite.

<b>Nombre d'essais</b>	<b>% de ben</b>	<b>K (m<sup>2</sup>.s<sup>-2</sup>)</b>	<b>T(s)</b>	<b>V (st)</b>
1	2	0.01*10 <sup>-6</sup>	1001	1001
2	5	0.01*10 <sup>-6</sup>	1015	1015
3	8	0.01*10 <sup>-6</sup>	1028	1028
4	11	0.01*10 <sup>-6</sup>	1062	1062
5	14	0.01*10 <sup>-6</sup>	1087	1087

**II.2 Résultats des essais pour le bitume- polyéthylène :**

**A. Pénétrabilité à 25°C :**

**Tableau I.8 :** les valeurs de la pénétrabilité de bitume- polyéthylène.

<b>Essais</b>	<b>% de poly</b>	<b>P (1/10mm)</b>
<b>1</b>	8	45
<b>2</b>	12	40
<b>3</b>	16	36
<b>4</b>	20	31
<b>5</b>	24	28

**B. Point de ramollissement :**

**Tableau I.9 :** Les valeurs du ramollissement de bitume- polyéthylène.

<b>Essais</b>	<b>% de poly</b>	<b>R(°C)</b>
<b>1</b>	8	55
<b>2</b>	12	60
<b>3</b>	16	63
<b>4</b>	20	66
<b>5</b>	24	69

**C. Densité à 25°C :**

**Tableau I.10 :** les valeurs de la densité de bitume-polyéthylène.

Essais	% de poly	d
1	8	1.024
2	12	1.020
3	16	1.019
4	20	1.018
5	24	1.017

**D. Ductilité à 25°C :**

**Tableau I.11 :** les valeurs de la ductilité de bitume- polyéthylène.

Essais	% de poly	Duc (cm)
1	8	70
2	12	84
3	16	86
4	20	88
5	24	92

**E. Point flash :**

**Tableau I.12 :** les valeurs des points de flash de bitume- polyéthylène.

Essais	% de poly	P.F (°C)
1	8	273
2	12	278
3	16	280
4	20	282
5	24	290

**F. La viscosité à 25 °C :**

**Tableau I.13:** les valeurs de la viscosité cinématique de bitume-polyéthylène.

Nombre d'essais	% de poly	K (m <sup>2</sup> .s <sup>-2</sup> )	T(s)	V (st)
1	8	0.01*10 <sup>-6</sup>	987	987
2	12	0.01*10 <sup>-6</sup>	980	980
3	16	0.01*10 <sup>-6</sup>	982	982
4	20	0.01*10 <sup>-6</sup>	983	983
5	24	0.01*10 <sup>-6</sup>	985	985

**II.3. Résultats des essais pour le mélange bitume-(bentonite+ polyéthylène) :**

**A. Pénétrabilité à 25°C :**

**Tableau I.14:** les valeurs de la pénétrabilité de bitume-(bentonite+ polyéthylène).

Essais	% de bent	% de poly	P (1/10mm)
1	2	8	47
2	5	12	44
3	8	16	40
4	11	20	36
5	14	24	30

**B. Point de ramollissement :**

**Tableau I.15 :** Les valeurs du ramollissement de bitume-(bentonite+ polyéthylène).

Essais	% de bent	% de poly	R(°C)
1	2	8	53
2	5	12	56
3	8	16	58
4	11	20	60
5	14	24	65

**C. Densité à 25°C :**

**Tableau I.16 :** les valeurs de la densité de bitume-(bentonite+ polyéthylène).

Essais	% de bent	% de poly	D
1	2	8	1.033
2	5	12	1.040
3	8	16	1.054
4	11	20	1.062
5	14	24	1.066

**D. Ductilité à 25°C :**

**Tableau I.17:** les valeurs de la ductilité de bitume-(bentonite+ polyéthylène).

Essais	% de bent	% de poly	Duc (cm)
1	2	8	55.9
2	5	12	59.1
3	8	16	58.5
4	11	20	56
5	14	24	52

**E. Point flash :**

**Tableau I.18:** les valeurs des points de flash de bitume-(bentonite+ polyéthylène).

Essais	% de bent	% de poly	P.F (°C)
1	2	8	260
2	5	12	272
3	8	16	285
4	11	20	292
5	14	24	298

**F. La viscosité à 25 °C :**

**Tableau I.19:** les valeurs de la viscosité cinématique de bitume-(bentonite+polyéthylène).

Nombre d'essais	% de ben	% de poly	V (st)
1	2	8	996
2	5	12	998

3	8	16	1002
4	11	20	1022
5	14	24	1035

#### II.4 Calcul de la viscosité dynamique à 25 °C :

Dans l'industrie, la viscosité a une très grande importance pratique, car elle conditionne l'écoulement des fluides dans les canalisations et le long des parois. Elle permet de mesurer directement ou indirectement certaines caractéristiques des produits (texture, taille de polymère,...). Elle conditionne le bon fonctionnement des processus (combustion, imprimerie, couchage,...).

Une simple relation relie entre la viscosité cinématique « $\nu$ » (st : stocks : est l'unité) et la viscosité dynamique « $\eta$ » ( $\rho$  : poise: est l'unité) ; c'est la suivant :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad \text{Alors : } \eta = \nu * \rho$$

**Tableau I.20 :** Résultats de calcul de la viscosité dynamique de bitume-bentonite.

% bentonite	$\nu$ (st)	$\rho$	$\eta(\rho)$
2	1001	1.04	1025
5	1015	1.01	1038
8	1028	0.998	1050
11	1062	0.994	1080
14	1087	0.990	1105

**Tableau I.21 :** Résultats de calcul de la viscosité dynamique de bitume-polyéthylène.

% P.E	$\nu$ (st)	$\rho$	$\eta(\rho)$
8	987	1.024	1010
12	980	1.022	998
16	982	1.019	995
20	983	1.018	985
24	985	1.009	970

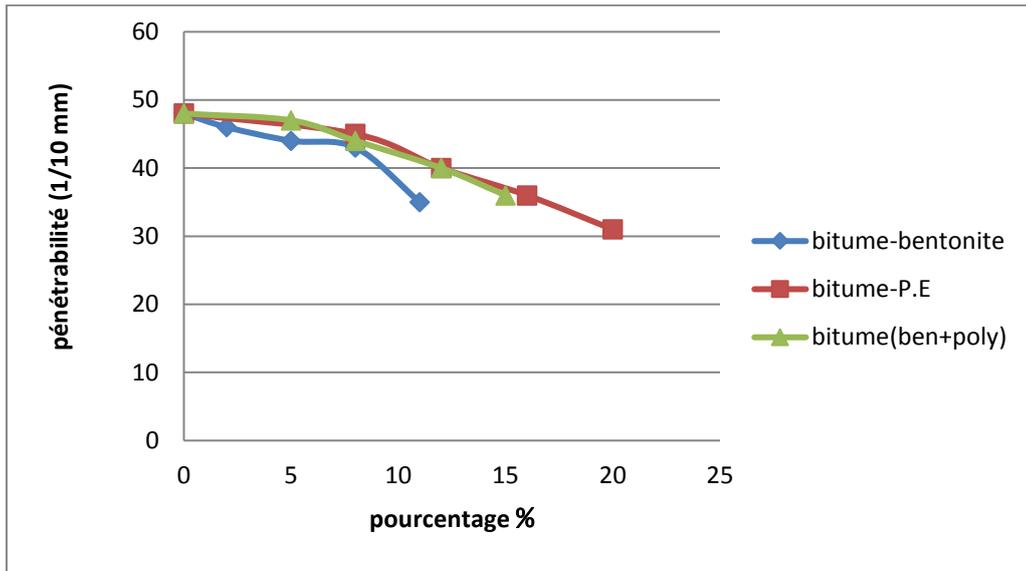
**Tableau I.22 :** Résultats de calcul de viscosité dynamique de bitume-  
(bentonite+polyéthylène).

Essais	% bentonite	% P.E	$\eta(\rho)$
1	2	8	1015
2	5	12	1019

3	8	16	1021
4	11	20	1030
5	14	24	1035

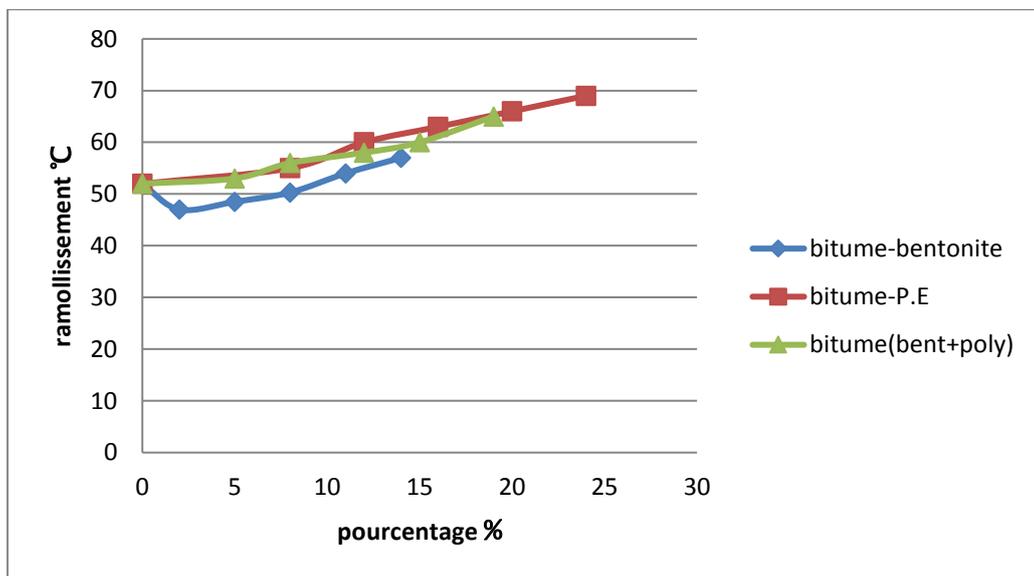
**III. La représentation graphique des résultats :**

**a. Pénétrabilité :**



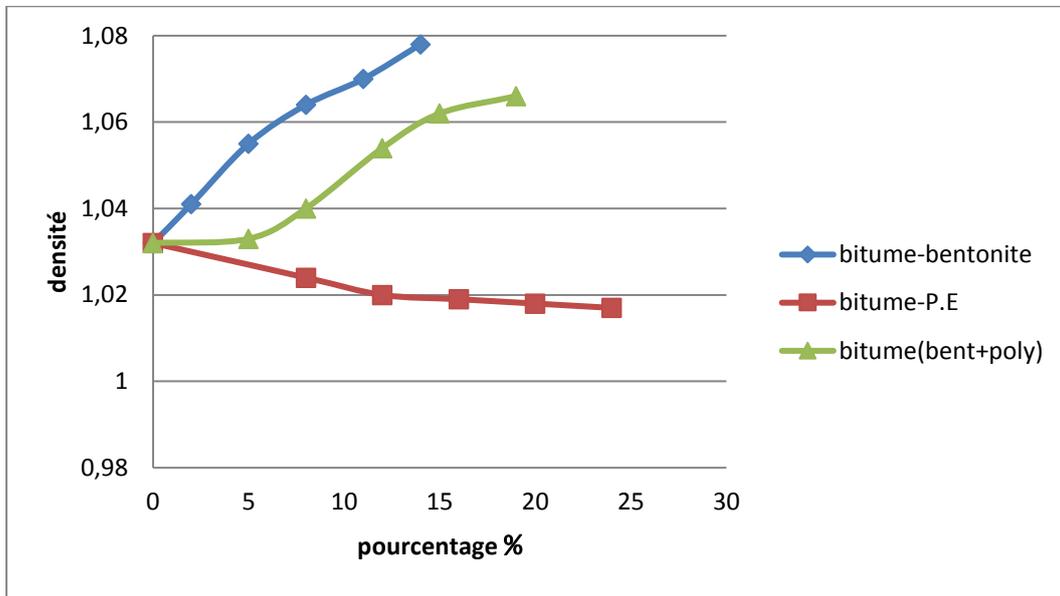
**Figure I.1 :** Variation de la pénétrabilité des Trois bitumes en fonction du pourcentage des additifs.

**b. Point de ramollissement :**



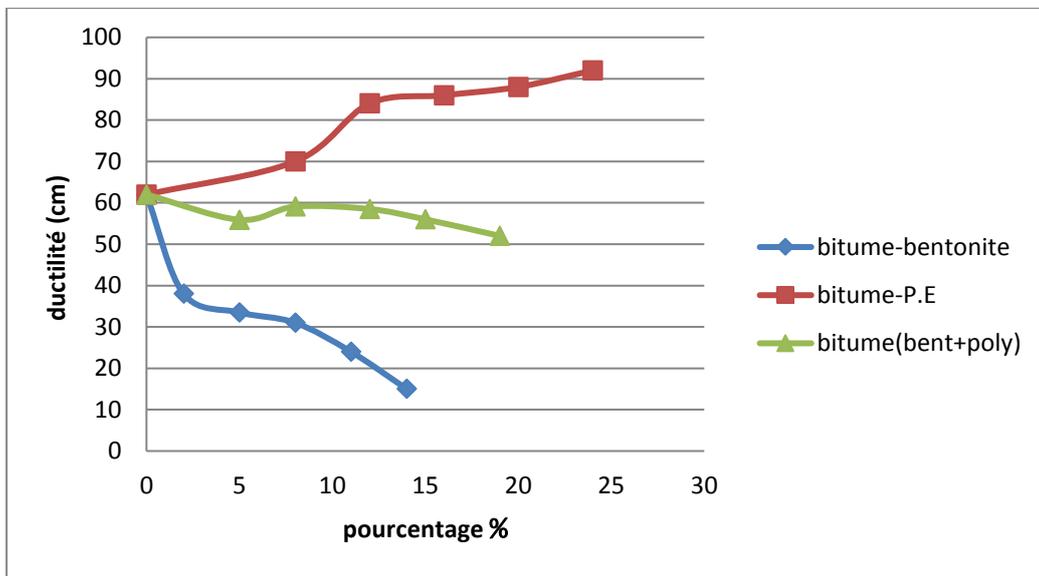
**Figure I.2 :** Variation du ramollissement des trois bitumes en fonction du pourcentage des additifs.

**c. Densité :**



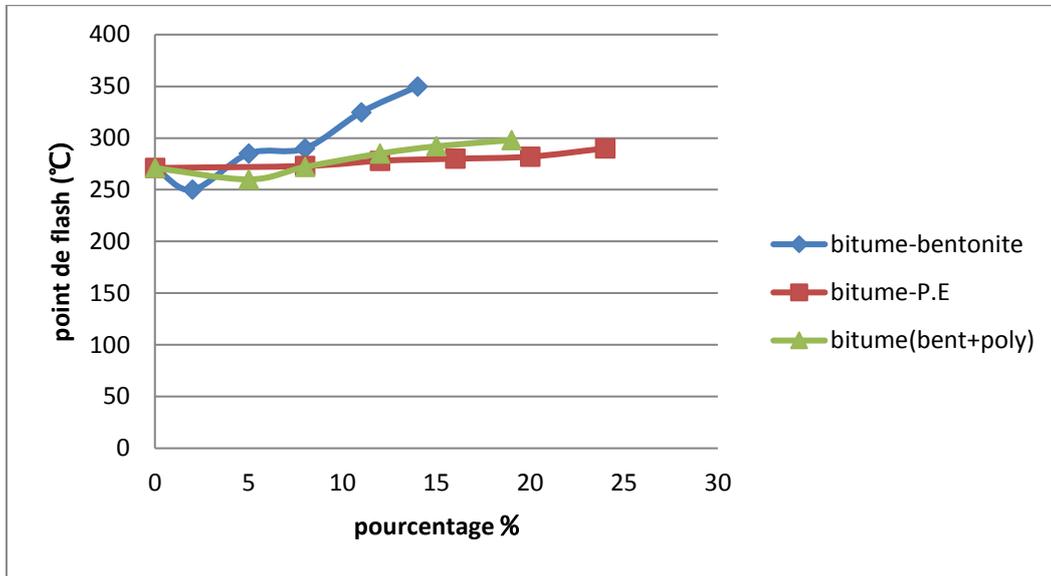
**Figure I.3 :** Variation de la densité des trois bitumes en fonction du pourcentage des additifs.

**d. Ductilité :**



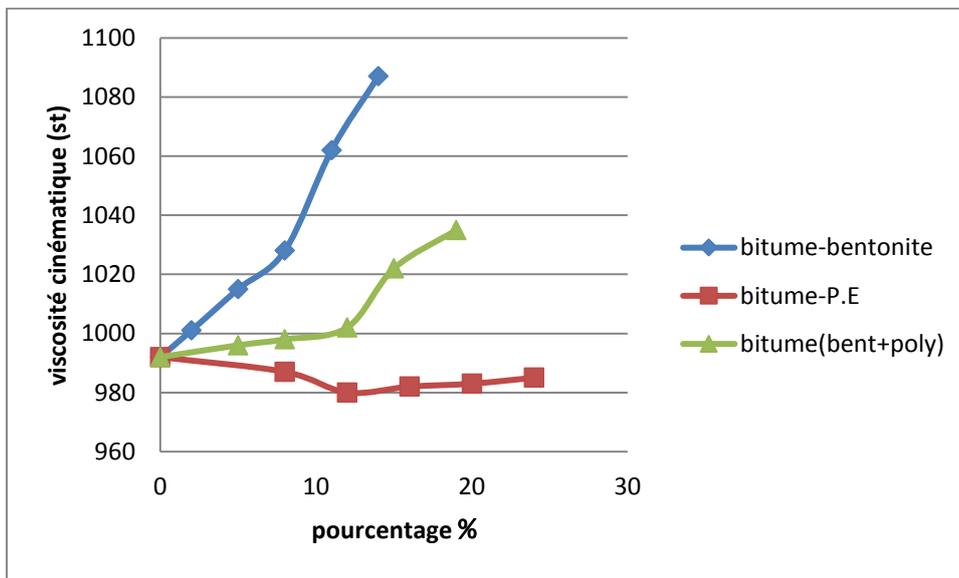
**Figure I.4 :** Variation de la ductilité des trois bitumes en fonction du pourcentage des additifs.

**e. Point de flash :**



**Figure I.5 :** Variation des points de flash des trois bitumes en fonction du pourcentage des additifs.

**F. Viscosité :**



**Figure I.6 :** Variation de la viscosité cinématique des trois bitumes en fonction du pourcentage des additifs.

#### IV. L'interprétation des résultats :

- Les résultats de pénétrabilité (Figure. I.1) et de point de ramollissement (figure .I.2) en fonction du pourcentage de polyéthylène et de bentonite ajouté montrent une diminution de la pénétrabilité lorsqu'il est de 32(1/10 mm) à 14% de polyéthylène. Dans le mélange (bitume/bentonite) et de 28(1/10 mm) à 24%, dans le mélange (bitume/polyéthylène) est de 30(1/10 mm) à 19%, dans le mélange (bitume/bentonite, polyéthylène), nous notons que la pénétrabilité diminue avec l'augmentation du pourcentage des additifs.

Le point de ramollissement augmente pour le mélange (bitume/bentonite) et elle est de 57(°C) à 14%, et le taux de mélange (bitume/polyéthylène), il est de 69(°C) à 24%, Le point de ramollissement augmente en fonction du pourcentage aussi bien pour le polyéthylène que pour la bentonite.

Nous pouvons constater que la pénétrabilité diminue et le point de ramollissement augmente pour leurs pourcentages élevé et cela est dû aux caractéristiques telles que la plasticité, structure et la force de polyéthylène et la structure cristalline de bentonite et sa force d'adsorption.

- La variation de la densité entre le bentonite/bitume et polyéthylène/bitume en fonction du pourcentage sont représentées sur la figure (I.3).

On remarque une diminution de la densité avec le pourcentage de bitume/polyéthylène qui est due à densité faible le polyéthylène (0.91 g/cm<sup>3</sup>) par rapport à celle de bitume, et une augmentation avec la proportion bitume/bentonite grâce a la forte densité de bentonite.

- La figure(I.4) représente la variation de la ductilité des trois bitumes en fonction du pourcentage des additifs. Lors de l'ajout de bentonite sur bitume nous notons que la ductilité diminue en augmentant le pourcentage qui est due à la structure cristalline, la composition chimique et sa forte densité qui ont influent sur l'élasticité de bitume donc sur son élongation. Par contre, la ductilité de bitume /polyéthylène augmente lorsque le pourcentage augmente. Pour le polyéthylène, grâce à sa structure, sa

résistance aux des formations et sa forte élongation qui on augmenté l'élasticité de bitume donc sa ductilité.

- La figure (I.5) représente la variation des points de flash des trois bitumes en fonction du pourcentage des additifs. On remarque que le point de flash augmente avec l'augmentation de pourcentage des additifs qui ont diminué la concentration des vapeurs de carburant dans les mélange d'air carburant et cela est dû aux propriétés chimiques (la composition) de polyéthylène et de bentonite et en outre pouvoir de gonflement et d'adsorption de ce dernier.
- La variation de la viscosité entre le bentonite et polyéthylène de bitume en fonction du pourcentage sont représentées sur la figure (I.6). On remarque une augmentation de la viscosité avec le pourcentage de bitume/ bentonite et diminution de la viscosité de bitume/polyéthylène c'est à dire que la résistance de bitume/bentonite à l'écoulement augmente grâce à sa composition qui est riche en minéraux qui ont une tendance de diminuer la fluidité de mélange. Pour le mélange polyéthylène/bitume, grâce à la structure ramifiée et sa faible densité, il en résulte une grande malléabilité donc une augmentation de fluidité du mélange c.à.d. une faible résistance à l'écoulement.

Ces résultats nous a donné l'aide de mélange 2 déferant pourcentage.

Comme un travail spécifique on a choisi le pourcentage 2% bitume/bentonite on le mélange avec 12 % de bitume/polyéthylène.

**Tableau I.23** : Les caractéristiques de mélange bitument (2% de bentonite avec 12% de polyéthylène)

	2 % de bent	12 % poly	(Bent+poly)/bitume
Pénétration	46	40	45
Ramollissement	47	60	51
Densité	1041	1.020	1.032
Ductilité	38	84	61
Point de flash	250	287	270
Viscosité	1001	980	991

#### V. Calcul de l'indice de pénétrabilité :

La mesure de la pénétrabilité à 25 °C et de point de ramollissement bille et anneau ou bien la mesure de la pénétrabilité à deux températures différentes peut être utilisée pour

définir la façon dont la consistance du bitume évolue avec la température. Il s'agit d'une caractéristique très importante du bitume, qui sert en particulier à choisir le type de bitume approprié pour une application donnée.

Le facteur le plus commodément employé pour exprimer la relation consistance-température est l'indice de pénétrabilité ou IP (sans dimension).

- Par ma mesure des pénétrabilités à deux températures différentes :

On applique la formule :

$$\frac{\log P_1 - \log P_2}{t_1 - t_2} = \frac{1}{50} * \frac{20 - IP}{10 + IP}$$

Le bitume est d'autant moins susceptible que l'IP est plus élevé en valeur algébrique.

- Les bitumes très susceptibles ont un  $IP < 0$ , des caractéristiques newtoniennes et visqueuse (type sol).
- Les bitumes peu susceptibles ont un  $IP > 0$ , les caractéristiques sont de plus en plus non-newtoniennes et élastiques (type gel).

On prend 2% de bentonite et on le mélange avec 12% de polyéthylène et on calcule son indice de pénétrabilité, Prenant de température  $t_1$  égale  $40^\circ\text{C}$  et  $t_2$  qui égale à  $10^\circ\text{C}$ , pour chaque température on trouve l'indice de pénétrabilités [140 et 5 (1/10nm)] successivement.

$$\frac{\log 140 - \log 5}{40 - 10} = \frac{1}{50} * \frac{20 - IP}{10 + IP}$$

**Donc : IP = -1.21**

Nous avons acquis sur résultats de  $IP < 0$  donc les caractéristiques newtoniennes et visqueuse.

- On remarque que les résultats des paramètres physico-chimiques pour un échantillon de mélange polyéthylène à 12% plus la bentonite à 2% avec le bitume sont susceptibles et dans les normes.

Pour les mêmes raisons que nous avons cité dans les interprétations précédentes, en plus le calcul de l'indice de pénétrabilité nous a permis de classer son mélange selon

la susceptibilité thermique comme un bitume très susceptible grâce à son indice de pénétrabilité qui est inférieure à zéro ( $IP < 0$ ).

## Conclusion :

Ce corps viscoélastique qui est le bitumes, peut présenter, comme il vient d'être expliqué, des structures diverses et variées, il n'existe pas un bitume mais des bitumes cependant en application routière, les qualités exigées actuellement dépassent toute les limites possibles des bitumes pur des additifs ont été utilisées comme les polymères pour améliorer leurs caractéristiques.

Dans notre travail on cherche à améliorer les caractéristiques de notre produit en ajoutant de polyéthylène et de bentonite en prenant en considération le côté économique (les dépenses financières) et avant tout ce travail inclus dans le cadre du développement durable par l'utilisation des déchets à base de ce polymère.

Cette amélioration a le but de traiter certains problèmes qu'on peut les trouver sur le bitume routier tel que le phénomène d'orniérage, des enrobages, de vieillissement, de durcissement, l'oxydation et d'autres phénomènes qui sont causés par certains facteurs tels que l'eau de pluie l'air et la lumière, la charge du trafic routier et les modifications internes de la structure du bitume.

Les résultats de notre travail le degré d'influence varie en fonction de la nature et la quantité du modifiant ajouté nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

L'ajout de polymère ou de bentonite ont diminués la pénétrabilité en augmentant le point de ramollissement c.à.d. que notre bitume est devenu plus dur grâce aux structures plus au moins cristalline et compositions chimique et propriétés mécanique des modifiants. Cette dureté qui a été augmentée par ces additifs reflète la résistance de ce bitume à l'orniérage qui se traduit par l'amélioration des caractéristiques rhéologiques et mécaniques de ce bitume

Pour les deux types des bitumes modifiés le point de flash (point d'éclair) on remarque une certaine augmentation qu'on peut l'exprimer par la grande résistance thermique des deux modifiants plus le caractère de gonflement et d'adsorption de la bentonite

La viscosité qui se traduit par la résistance de ce produit à l'écoulement se varie tout dépend le modifiant. Pour le bitume/polyéthylène la viscosité a été diminuée c.à.d. bon écoulement de ce dernier grâce à la grande fluidité de ce polymère par contre elle s'augmente

pour le bitume/bentonite et cela est dû à la structure cristalline, sa composition qui est riche en minéraux qui lui rendent plus visqueux.

On remarque une certaine diminution de la densité pour les deux bitumes modifiés grâce à la faible densité des additifs. Après certains essais de mélanger le polymère avec du bentonite pour le même échantillon de bitume nous sommes arrivés à fixer la concentration optimale des deux agents qui sont de 2% pour la bentonite et de 12% pour le polyéthylène, et ces deux pourcentages nous ont donné un bitume dont les paramètres physico-chimiques sont dans les normes avec un certain changement pour d'autre tel que la viscosité et la densité, en outre le résultat de calcul de l'indice de pénétrabilité tous ces résultats ont permis de classer ce bitume comme un bitume de type sol (newtoniens) qui se caractérise par une grande susceptibilité thermique qui donne à ce bitume un comportement visqueux.

Après cette étude et ces résultats on peut admettre ce bitume et le classer comme un bitume convenable et résistant face aux conditions climatiques dures telles que le changement de température et d'autres facteurs selon les différentes régions plus l'effet de trafic routier.

- [1] Z.Reiki, « Optimisation De La Qualité De Bitume Oxydé Sur Les Matières Etanchéités», Mémoire de master, Université d'Oran, USTO.
- [2] M.Medjahdi, «Influence de certains additifs sur les propriétés physico-chimiques et rhéologiques des bitumes de la raffinerie d'Arzew RA1/Z», Mémoire de magister, Université de Mostaganem, 2008.
- [3] L'industrie canadienne, « Raffineries de pétrole et fabrication d'autres produits du pétrole et du charbon ».
- [4] A M, Ajour, (1981). «Quelques ouvrages, quelques types de revêtements». Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, 113, pp.9-21.
- [5] Le manuel opératoire de la zone 10- la raffinerie d'Arzew.
- [6] F. Ghomari, «science des matériaux de construction», université Abou Baker belkaid.
- [7] Glorie, G. (1998). Détection de goudron dans les débris d'enrobés hydrocarboné, Centre de Recherches Routières (CRR).
- [8] Bitume info : GPB : Le groupement professionnel des bitumes.
- [9] M.Hachani, «Etude expérimental d'un béton bitumineux modifié à la poudrette de caoutchouc», Mémoire master ,2013.
- [10] BILLARD, J. (1998). Abrégé de l'histoire des routes, LCPC.
- [11] François Olard, « Comportement thermomécanique des enrobés bitumineux à basses températures-relations entre les propriétés des liant et de l'enrobé», 2003.
- [12] [Beghin, 2003] beghin A. Etude de la rupture des bitumes à basse température : influences des facteurs de composition et de la rhéologie des liants. Thèse : université paris VI, 2003.
- [13] Article «Genèse, constitution et caractéristiques du bitume a moyenne et basse température», Thèse 1.2002
- [14] Article «bitume», Planete-energies.com.2003
- [15] La Rhéologie des Bitumes : Principes et Modification /Didier Lesueur /Eurovia Management - Polo de Emulsiones Probisa - Pol. Ind. "Las Arenas" - c/ Ronda, 9 -

28320 Pinto (Madrid) Reçu le 20 juin 2002– Version finale acceptée le 19-09- 2002.

[16] Rapport d'études/Benchmark stockage en raffinerie/Maitrise du vieillissement des installations industrielles.

[17] Brûlé, B., *Rev. gén. Routes aérod.*, **711**, 18, octobre 1993.

[18] Essai de compression simple sur enrobés hydrocarbonés, Essai DURIEZ LPC. Méthode d'essai n° 14 (novembre 85). Ministère de l'urbanisme, Du logement des transports-laboratoire central des ponts et chaussées.

[19] Sur site internet : <http://www.spirit-science.fr> – France.

[20] Cours «Les polymères», BTS BAT 1, BTS ENVELOPPE DU BATIMENT métropole 2000.

[21] «Polymère», Portail lexical, Centra national de ressources textuelles et lexicales.

[22] Article «Polymère», Wikipédia.

[23] « Synthèse de polymères dendronisés par polymérisation anionique vivante et fonctionnalisation de leur surface par Firmin Moingeon », 2006.

[24] G.Bertolini., «Homoplastiques», ed Sang De La Terr.

[25] Isabelle Couillet., «Propriétés dynamiques en milieu aqueux de systèmes mixtes micelles vermiculaires-polymères associatifs d'origine naturelle», 2005.

[26] Bougdah N, 2007. «Étude de l'adsorption de micropolluants organiques sur la bentonite », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme magister, université 20 aout 55, Skikda. P30.

[27] Bougdah N, 2007. « Étude de l'adsorption de micropolluants organiques sur la bentonite », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme magister, université 20 aout 55, Skikda. P38.

[28] Préparation et caractérisation du vox supporté sur la bentonite intercalée au chrome. P 11.

[29] Chikhi kh., 2013, «Adsorption du zinc sur la bentonite de magnai», Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme magister, université kasdi merbah ouargla. P 6.