

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa



Faculté des Sciences et Technologies
Département hydraulique et Génie Civil

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine: *Sciences ET Technologies*

Filière : *Génie Civil*

Spécialité : *Structure*

Présenté Par : Oulad Mir Ahmed Oussama

Thème

**ETUDE COMPARATIF ENTRE LES METHODE DE
COMPACTAGE DES ENROBES BITUMINEUX
INFLUENCE SUR LA SENSIBILITE A L'EAU**

Soutenu publiquement le : ... /.../2021

Devant le jury :

DAHEUR El Hadj Guesmia	MCB	Univ. Ghardaïa	Président
AMIEUR Abdenacer	DT	LTPS Ghardaïa	Examinateur
NESSIL Abd Elhamid	Doctorant	Univ. Ghardaïa	Encadreur
BOUCHERBA Mohammed	Doctorant	LTPS Ghardaïa	Co-encadreur

Année universitaire 2019/2020



Remerciements

Nous tenons à remercier

Allah

Le tout puissant de nous avoir donné puissance et connaissance

Pour réaliser ce travail.

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude à toute l'équipe de LTP SUD

Pour le bon accueil qu'ils nous ont réservé tout au long du stage

Et de manière très particulière ; nous exprimons nos chaleureux

Remerciements et notre profond respect à

Dr. Mohamed Boucherba

Qui nous a aidé tout au long de ce stage.

Nous remercions également l'honorable professeur

Dr. NESSIL Abd Elhamid

Et nos remerciements reviennent aussi à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin

pour la concrétisation de ce travail.





Dédicace

Je dédie ce mémoire A mes chers parents ;

Ma mère et mon père pour leur patience, leur amour

Leur soutien et leurs encouragements.

A mes très chères sœurs

A mes très chers frères

A mes Mes professeurs de l'Université de Ghardaïa

Dr.Nessil Abdelhamide

Dr.Daher Ghassmia etc....

À tous ceux qui m'ont aidé au LTPS :

Dr mohamed boucharba ,Bekouch Brahim, Salamatt Lamine

À mes chers amis

A mes amis et mes est collègues

*Je tiens à remercier toutes les personnes et professeurs qui ont contribué à la
réussite de mon stage d'enseignement et qui m'ont aidé à rédiger cette*

.mémoire

Sans oublier tous les gens qui m'aiment

Du fond du cœur

Oulad Mir Ahmed Oussama



ملخص: نظرًا للتطور العلمي الحالي للأساليب التقنية المستخدمة في أقسام الدراسة والرقابة والجودة ، فإن تحديث المعايير بشكل دوري ضروري و ذلك للحصول على نتائج أقرب للواقع.

ولهذه الغاية ، تتطلب المختبرات مثل مخبر الأشغال العمومية بجنوب البلاد ، التي تهدف إلى مراقبة معايير المواد من خلال تجارب مخبرية ذات طابع تقني، وقد شهدت مؤخرًا تحديثًا جذريًا في إجراء تجارب الحساسية الماء على الخرسانة الإسفلتية.

هذا التحديث من هذه العروض القياسية العديد من الخيارات في طريقة تحضير العينات و قياس الحساسية المائية فما هي أفضل طريقة و ما الفرق بين هذه الأساليب؟

وللإجابة على هذه الأسئلة لتحقيق أهدافنا المحددة ، أجرينا العديد من الدراسات المقارنة بين طريقتين قياس الحساسية المائية وهما بأسلوب الضغط البسيط و الشد الغير المباشر. و قد أظهرنا نتائج متقاربة نوعًا ما حيث الفرق يعتبر بسيط بالمعايير الإحصائية.

كلمات مفتاحية : خرسانة إسفلتية، حساسية للماء، تجربة درياز ، ضغط بسيط ، شد غير مباشر ، تأثير الماء.

Résumé : Compte tenu de l'actuel développement scientifique des méthodes techniques utilisé dans les rubriques étude, contrôle et qualité, la mise à jour des normes est nécessaire pour trouver des valeurs plus proches possible à la réalité.

A cet effet, les laboratoires tels que le Laboratoire des Travaux Publics du Sud "LTPS" qui est destiné au contrôle la qualité de matériaux à travers des essais de laboratoire suivre des normes des essais dans ce travail technique, récemment une grande mise à jour dans la réalisation de l'essai de la sensibilité à l'eau des mélanges bitumineux.

Cette mise à jour de cette norme offre plusieurs choix dans la méthode de préparation et écrasement est en besoin de répondre aux préoccupations traduites par les questions suivantes : « quel est la meilleure méthode ? et c'est quoi la différence entre ces méthodes ?

Et pour répondre à ces questions pour atteindre nos objectifs fixés, on a procédé à plusieurs études comparatives entre les deux méthodes choisies d'écrasement, la compression simple et la traction indirecte. On trouve des résultats proches l'un à l'autre qui peut considérer égaux statiquement.

Mot – clé : enrobé bitumineux, sensibilité à l'eau, tenue à l'eau, essai duriez, compression simple, traction indirecte.

Abstract: Given the current scientific development of the technical methods used in the study, control and quality sections, updating the standards is necessary to find values that are as close as possible to reality. For this purpose, laboratories such as the "Laboratoires des Travaux Publics du Sud / LTPS" which is intended to control the quality of materials through laboratory tests follow standards of testing in this technical work, recently a major update in carrying out the test of the water sensitivity of bituminous mixtures.

This update of this standard offers several choices in the method of preparation and measurement is needed to address concerns translated into the following questions: "what is the best method?" and what's the difference between these methods?

And to answer these questions to achieve our goals, we carried out several comparative studies between the two methods chosen for crushing, simple compression and indirect traction. We find results close to each other which can be considered statically equal.

Keywords: asphalt concrete, water sensitivity, duriez test, compression test, indirect tension test,

Table des Matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Table des Matières

Liste Des Tableaux

Liste Des Figures

Liste Des Photos

Liste Des Symboles

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES ENROBES BITUMINEUX ET ETUDE DE FORMULATION

I.1. INTRODUCTION	5
I.2. DEFINITION DE L'ENROBE BITUMINEUX	5
I.3. TYPE DES ENROBES BITUMINEUX	5
I.3.1. Béton bitumineux (BB)	5
I.3.2. Grave-Bitume (GB)	6
I.3.3. Sable bitume (SB)	6
I.3.4. Bétons bitumineux à module élevé (BBME)	6
I.3.5. Enrobe à module élevé (EME)	7
I.4. COMPOSITION DES ENROBES BITUMINEUX	7
I.4.1. Granulats	7
I.4.2. Liant hydrocarboné	9
I.4. ESSAIS SUR BITUMINEUX	13
I.4.1 Essai Duriez	13
I.4.2 Essai MarshallLes	13
I.4.3 Presse à Cisaillement Giratoire (PCG)	14
I.4.4 L'essai de compression diamétrale	15
I.4.5 L'essai d'orniérage	15

I.4.6	L'essai de traction directe	15
I.4.7	Essai de fluage statique uni axial	16
I.4.8	Essai de fluage dynamique	16
I.4.9	Essai de module	17
I.4.10	Les essais de fatigue	17
I.5.	CONCLUSION	18

CHAPITRE II : SENSIBILITE A L'EAU DES ENROBES BITUMINEUX

II.1	INTRODUCTION	20
II.2.	INFLUENCE DE L'EAU SUR LES ENROBES BITUMINEUX	20
II.3.	METHODES DES MESURES	20
II.3.1.	Méthode A	20
II.3.1.1	Appareillage	20
II.3.1.2	Préparation des éprouvettes	21
II.3.1.3	Conservation	22
II.3.2.4	Mode opératoire	23
II.3.2.	Méthode B	24
II.3.2.1.	Appareillage	25
II.3.2.2.	Préparation des éprouvettes	26
II.3.2.3	Conservation	28
II.3.2.4	Procédure d'essai	28
II.3.3.	Méthode C	28
II.3.3.1	Appareillage	29
II.3.3.2	Préparation de l'éprouvette	29
II.4.	Conclusion	31

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1	INTRODUCTION	33
III.2.	Source de Matériaux	33
III.3.	L'essais Réalisés	33
III.3.1.	Préparation des éprouvettes	33
III.3.2.	Conservation des éprouvettes	34

III.3.3. Ecrasement	34
III.4. Résultats	35
III.4.1. Méthode compression	35
III.4.2. Méthode de traction	36
III.4.3. Comparaison les méthodes	38
III.5 Conclusion	39
CONCLUSION GENERALE	40
LISTE DES REFERENCES	42
ANNEXES	

Liste Des Tableaux

Tableaux	Page
Tableau I.1 : Classification des granulats	8
Tableau I.2 : Classification suivant la granularité	9
Tableau II.1 : Températures d'essai recommandées	24
Tableau II.2 : Paramètres de compression statique	27
Tableau. III.1. Résultat de Méthode compression.	36
Tableau. III.2. Résultats de Méthode Traction	37

Liste des Figures

Figures	Page
Figure I.1 : Les deux familles de granulats	10
Figure I.2 : Les émulsions bitumineuses	12
Figure I.3 : Principe de l'essai Duriez	13
Figure I.4 : Principe de l'essai Marshall	14
Figure I.5 : Principe de l'essai de compression diamétrale	15
Figure I.6 : Principe de l'essai d'orniérage	15
Figure I.7 : Principe de l'essai de traction directe	16
Figure I.8 : Principe de l'essai de compression cyclique uni axial sous confinement	16
Figure I.9 : Représentation des contraintes exercées sur l'éprouvette dans le cas d'un essai de fluage dynamique	16
Figure II.1 : Dispositif d'essai Méthode B	25
Figure II.2 : Dispositif d'essai Méthode C	30
Figure III.1. Histogramme de la résistance pour les deux méthodes	38
Figure III.2. Histogramme de rapport d'immersion pour les deux méthodes (i/C et ITSR)	38

Liste Des Photos

Photo	Page
Photo I.1 : Enrobé bitumineux	5
Photo I.1 : Presse à cisaillement giratoire	14
Photo I.2 : Essai de fatigue en flexion 2 points sur éprouvettes trapézoïdales	17
Photo II.1 . Quelques cases de l'influence de l'eau sur la chaussée	20
Photo III.1 : Les Méthodes l'essais Réalisés	33
Photo III.2 : Préparation des éprouvettes	34
Photo III.3 : Conservation des éprouvettes	34
Photo III.4 : Ecrasement des éprouvettes	35
Photo III.5 : Compression Par La presse Duriez	35
Photo III.6 : Résultats méthode compression	35
Photo III.7 : Traction Par La presse Duriez	36
Photo III.8 : Résultats méthode traction	37

Liste Des Symboles

<i>C_w</i>	La résistance à compression moyenne en kilopascals (kPa) du lot humide
<i>C_d</i>	La résistance à la compression moyenne en kilopascals (kPa) du lot sec
<i>ITSR</i>	Le rapport des résistances à la traction indirecte exprimé en pourcentage (%)
<i>ITS_w</i>	La résistance à la traction indirecte moyenne en kilopascals (kPa) du lot humide
<i>ITS_d</i>	La résistance à la traction indirecte moyenne en kilopascals (kPa) du lot sec.
<i>d</i>	Le diamètre du corps d'épreuve, en millimètres (mm)
<i>D</i>	Diamètre de l'éprouvette
<i>F</i>	Filler
Σ	Surface spécifique
<i>J</i>	Jours
<i>M</i>	Masse des éprouvettes
<i>I</i>	Résistance à la compression avec immersion à 18°C en Kg/cm ²
<i>C</i>	Résistance à la compression sans immersion à 18°C en Kg/cm ²
<i>H</i>	Hauteur des éprouvettes
<i>V</i>	le volume du corps d'épreuve, en mètres cubes (m ³)
<i>PCG</i>	Presse Cisaillement Giratoire
<i>E1</i>	Module d'élasticité dynamique
<i>E2</i>	Module de perte
<i>E₀</i>	Module de rigidité initiale avant fatigue
<i>S</i>	la sollicitation imposée (contrainte ou déformation imposée)
<i>N</i>	la durée de vie correspondante
\mathcal{E}	La déformation correspondant une rupture à 1 millions cycles
<i>ES</i>	Essaie D'équivalent De Sable

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

La création des ouvrages soit en bâtiments soit pour les routes exige études et contrôles pour assurer la qualité de ces réalisations en exploitation.

Dans ce sens la notion normalisation est indiquée pour spécifier la méthodologie de l'étude et contrôle. Chaque pays a établi des organismes de rationalisation nationaux, et il y a des organismes régionaux et internationaux. L'Algérie avec son organisme **IANOR** a établi des normes « **NA** » qui sont déduits des normes européenne et française.

Aussi, La mise à jour des normes est nécessaire en ce qui concerne le développement scientifique des méthodes techniques.

Il est également important de signaler que les laboratoires tels que – LTPS – sont tenus de respecter le suivi des normes des essais dans ce travail technique en tenant compte de la mise à jour dans la réalisation des essais enrobés tout en prenant en considération de la « Sensibilité à l'eau des mélanges bitumineux ».

La mise en application de cette norme donne des choix multiples quant à l'adoption des méthodes de préparation pour permettre au laboratoire de répondre aux questions posées suivantes : « Quelle est la meilleure méthode ? et « c'est quoi la différence entre ces méthodes ? »

Donc le recours à l'adoption de plusieurs études comparatives entre deux méthodes de préparatoire de compactage statique et de compactage impact, s'impose pour répondre aux questions précédemment posées.

Le développement de ces études comparatives en visages pour répondre à nos préoccupations dans la réalisation des résultats obtenus seront présentées dans notre étude relative à la méthodologie retenue.

Les concepts sur les enrobés bitumeux et les études de leur formulation présentent les éléments de base des différents matériaux composant les enrobés et leur origine.

Une présentation des méthodes de calcul dans le domaine des enrobés bitumeux est liée au travail entamé pour atteindre les objectifs définis par les contraintes rencontrées.

Des méthodes de mesure des performances des enrobés bitumineux seront introduites dans cette partie regroupant les différents essais qui ont été utilisées dans ce travail dans le but de mesurer les performances de notre composition. La partie expérimentale qui sera réalisée nous permettra de confirmer et vérifier les résultats approximativement obtenus.

INTRODUCTION GENERALE

La caractérisation des matériaux présente les différents résultats des essais réalisés sur les matériaux utilisés dans notre étude pour répondre aux attentes des utilisateurs.

En conclusion, les résultats et les commentaires qui découleront de la méthodologie de notre étude sur le mélange bitumineux seront les objectifs à atteindre dans ce travail.

CHAPITRE I
GENERALITE SUR LES
ENROBES BITUMINEUX

I.1 INTRODUCTION :

L'enrobé bitumineux est un matériau composite constitué d'un mélange de granulats (Figure I.1.a) (graviers, sables, fines) et d'un liant hydrocarboné (bitume, éventuellement des additifs) ; Les granulats assurent la structure rigide de l'enrobé et le bitume procure la cohésion de l'ensemble et il est responsable du caractère visqueux (Figure I.1.b) Chacun de ces deux constituants est défini par ses caractéristiques rhéologiques et mécaniques. La connaissance de ces caractéristiques permet d'obtenir la bonne tenue du mélange bitumineux [1].

I.2. DEFINITION DE L'ENROBE BITUMINEUX :

L'enrobé bitumineux est un matériau composite constitué d'un mélange de granulats (Figure I.1.a) (graviers, sables, fines) et d'un liant hydrocarboné (bitume, éventuellement des additifs) ; Les granulats assurent la structure rigide de l'enrobé et le bitume procure la cohésion de l'ensemble et il est responsable du caractère visqueux Chacun de ces deux constituants est défini par ses caractéristiques rhéologiques et mécaniques. La connaissance de ces caractéristiques permet d'obtenir la bonne tenue du mélange bitumineux [1].



a) Avant malaxage



b) Après malaxage

Photo I.1 : Enrobé bitumineux.

I.3. TYPE DES ENROBES BITUMINEUX :

Ci-dessous on présente quelques types et leurs utilisations.

I.3.1. Béton bitumineux (BB) :

Le béton bitumineux (BB) est un mélange à granularité continue se composant de gravillons, de sable, de filler, de liant bitumineux et d'additifs éventuels.

Les classes granulaires des bétons bitumineux reconnus sont les suivantes : BB 0/8, BB 0/12, BB 0/14. [2]

Leur domaine d'utilisation diriger vers :

- Ce type de matériau est bien adapté aux couches de surface des chaussées à forts trafics en raison des bonnes caractéristiques mécaniques. Il est aussi bien utilisé pour les chaussées neuves qu'en renforcement.
- Selon le type, il convient pour couche de roulement ou couche de liaison de routes, autoroutes et aérodromes. Il est fabriqué, mis en œuvre et compacté à chaud. [2]

I.3.2. Grave-Bitume (GB) :

La grave-bitume (GB) est un mélange à granularité continue 0/20 se composant de granulats, de sable, de filler, de liant bitumineux et d'additifs éventuels.

Elle est appropriée pour couche de base de routes, autoroutes et aérodromes. Elle est fabriquée, mise en œuvre et compactée à chaud et assure la portance de la chaussée et la répartition des charges du trafic transmis par les couches de surface. Elle sert aussi à établir le profil souhaité de la chaussée respectivement comme couche de reprofilage. [2]

Leur domaine d'utilisation dirige vers :

- La technique des graves bitumes est destinée à la réalisation des assises de chaussée (couche de base et couche de fondation).
- Réseau RP1 : Classes de trafic TPL3 à TPL7. [2]

I.3.3. Sable bitume (SB) :

Le sable bitume est un mélange d'un ou plusieurs sables avec du bitume pur. Généralement, le mélange nécessite l'ajout de fines provenant soit des matériaux de concassage – broyage (sable fileries, fines calcaires), soit des pulvérulents industriels (chaux, ciment).

Le bitume utilisé doit être assez dur, de classe 40/50 ou 20/30 afin d'assurer une rigidité et une stabilité convenable. [2]

Leur domaine d'utilisation c'est d'emploi en couche de base pour les chaussées du réseau principal de niveau 2, il aussi utilise comme couche anti – ramant des fissures. [2]

I.3.4. Bétons bitumineux à module élevé (BBME) :

Le cas de notre étude, les BBME sont obtenus à partir d'un mélange de bitume pur ou modifié, de granulats fabriqués dans une centrale d'enrobage. Ils se caractérisent par un module de rigidité « E » plus élevé que les enrobés classiques et par une bonne tenue à l'orniérage. [2]

Ce enrobé est destiné aux couches de roulement des routes nationales et régionales empruntées par un trafic moyen et dense.

Les BBME permettent une meilleure résistance à l'orniérage. Ils s'appliquent sur des épaisseurs de 5 à 7 cm pour les BBME 0/10 et 6 à 9 cm pour les BBME 0/14. [2].

I.3.5. Enrobe à module élevé (EME) :

Ce mélange est destiné aux couches de liaison soumises à un trafic lourd (principalement pour diminuer l'orniérage) ; Ce sont des Enrobes préparés à partir d'un mélange de liant hydrocarboné, de granulats et/ou d'additifs minéraux ou organiques, dosés, chauffés et malaxés dans une installation appelée centrale d'enrobage. Ils sont destinés à la réalisation des assises dans le cadre de travaux neufs ou de renforcement de chaussées.

Ils se caractérisent par un module de rigidité élevé atteignant 17000MPa et une plus grande résistance à la fatigue que les enrobés classiques. [3]

On distingue deux classes de performance classe 1 et classe 2. Les granularités utilisées sont 0/10, 0/14 et 0/20. [3]

Chaque type d'EME comprend deux classes granulaires qui diffèrent entre elles notamment par leur teneur en liant et la dureté. On distingue : [3]

- **EME Classe 1** : correspond à des graves bitumes à module élevé obtenues par l'emploi d'un bitume dur, aux dosages voisins de ceux des graves bitumes (GB).
- **EME Classe 2** : correspond à un enrobé à module élevé comportant, de plus, un très bon comportement en fatigue, du fait du dosage élevé en bitume dur, généralement parlant de l'EME.

Les types des enrobes mentionnés au-dessus les plus connus et utilisés en Algérie, restent entre autres types des enrobes tels que drainant, aéronautique...etc.

I.4. COMPOSITION DES ENROBES BITUMINEUX :**I.4.1. Granulats :**

Les enrobés bitumineux sont constitués d'un mélange de granulats (cailloux, sable et fines) et d'un liant hydrocarboné (généralement bitume) et les additifs.

I.4.1.1. Définition :

Les granulats utilisés dans les enrobés peuvent être divisés en deux grandes catégories : les granulats naturels en provenance de carrières, sablières et gravières et les granulats d'autres origines tels que des granulats recyclés, des sous-produits d'origine industrielle ou des granulats fabriqués pour un usage spécifique. [4]

I.4.1.2. Classification des granulats :

Les granulats sont classés selon la plus grande dimension « D » et la plus petite « d » comme le tableau I-1:

Tableau I.1 : Classification des granulats [5]

Classe de produit	Dimension en millimètre
Fine	0/D ou $D \leq 0,0063$
Sable	0/D ou $D \leq 6,30$
Gravillons	d/D ou $d \geq 2$ et $D \leq 31,50$
Cailloux	d/D ou $d \geq 2$ et $D \leq 820,00$
Graves	0/D ou $6,3 < D \leq 31,50$

Les granulats sont classifiés en différentes classes granulaires selon la taille des éléments.

Une classe granulaire (d/D) est répertoriée par la taille du plus petit grain «d» et du plus gros grain « D » ; la taille est exprimée en millimètre. Il est admis qu'une fraction granulaire peut comporter jusqu'à 15% de matériaux excédentaires supérieurs. [6]

On peut distinguer les classes granulaires suivantes :

- Les fines 0/D avec $D \leq 0,080$ mm
- Les sables 0/D avec $D \leq 6,6$ mm
- Les gravillons d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm
- Les cailloux d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm
- Les graves 0/D avec $6,3\text{mm} < D \leq 80$ mm

Le filler est constitué des éléments très fins, de diamètre inférieur à 63 microns. Il provient du dépoussiérage de granulats ou de production industrielle par mouture de roche, ces fillers à une surface spécifique très élevée et il absorbe une part importante du liant. [6]

Le mélange du filler avec le liant constitue le mastic qui confère sa stabilité à l'enrobé, et l'épaisseur du film de mastic est caractérisée par un critère s'appelle le module de richesse.

La propreté du filler, en particulier sa faible teneur en argile, est primordiale afin de garantir un bon comportement mécanique. [6]

L'arrangement des différentes classes granulaires forme la courbe granulométrique d'un mélange bitumineux. [6]

Tableau I.2. Classification suivant la granularité [5]

Appellation	Notation	Dimension
Les fines	0/D	$D \leq 0.08 \text{ mm}$
Les sables	0/D	$D \leq 6.3 \text{ mm}$
Les gravillons	d/D	$d \geq 2 \text{ mm}$ et $D \leq 31.5 \text{ mm}$
Les graves	0/D	$D \leq 80 \text{ mm}$

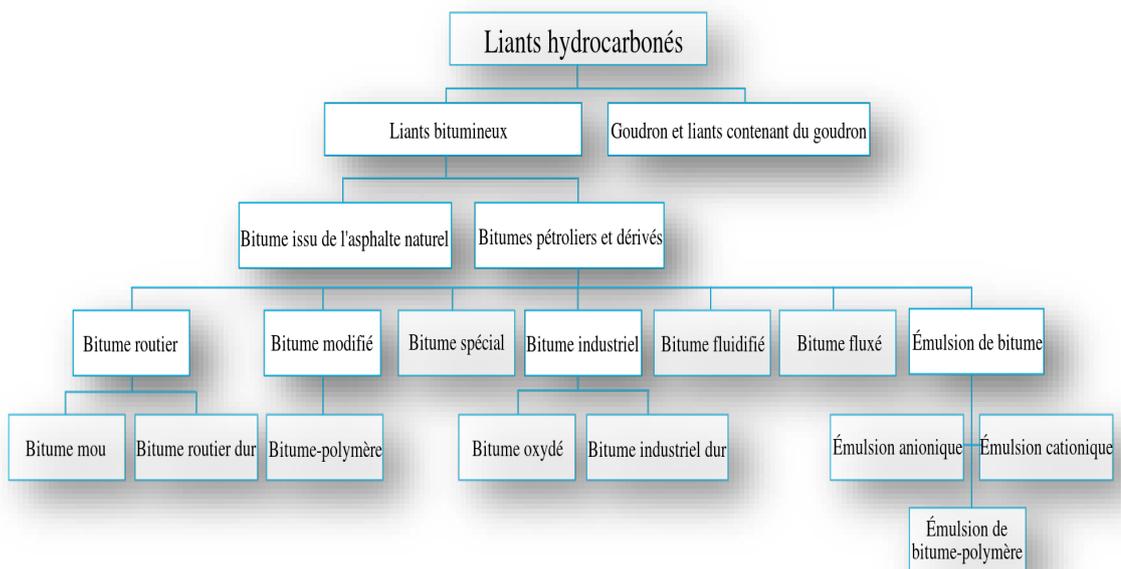


Figure I.1. Les deux familles de granulats [2].

I.4.2. Liant hydrocarboné :

Les liants hydrocarbonés, jouent un rôle important dans la technique routière moderne, sont connus et utilisés depuis longtemps, les propriétés d'adhésivité et l'imperméabilité des bitumes naturels et les asphaltes ont été connus depuis l'apparition de la civilisation dans la vallée de l'Euphrate en Mésopotamie. [7].

I.4.2.1. Définition :

Un **liant hydrocarboné** est d'une manière générale un matériau adhésif (un liant) contenant du bitume, du goudron, ou les deux. Cet élément agrégé avec des granulats fournit des « matériaux enrobés ». [7]

À défaut d'autre donnée, la masse volumique du bitume est prise égale à $1,03 \text{ g cm}^{-3}$ à 25 °C , soit $1\,030 \text{ kg m}^{-3}$ ou $1,03 \text{ t m}^{-3}$.

I.4.2.2. Type de liant hydrocarboné :**1-Bitume fluidifié :**

Un bitume fluidifié, ou cut back, est un bitume dont on a réduit la viscosité en lui ajoutant un diluant assez volatil (du pétrole ou du kérosène par exemple).

Bitume fluxé. [7].

Un bitume fluxé est un bitume dont la viscosité a été réduite par l'ajout d'une huile de fluxage.

2-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. Il est extrait soit à ciel ouvert (les gisements se présentent alors comme de véritables lacs), soit sous forme de filons en sous-sol. Le plus connu de ces bitumes naturels est le bitume de Trinidad qui relève du premier type de gisement.

La production mondiale est très faible puisqu'elle ne dépasse pas 200 000 t.

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, etc.).

Le bitume de Trinidad épuré est extrait par raffinage, il contient une partie minérale, sa masse volumique est voisine de $1,40 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, la pénétration à 25 °C est comprise entre 1 1/10 mm et 4 1/10 mm, et la température bille-anneau supérieure à 90 °C . (Le bitume « soluble » a une pénétration standard de 3 à 12 1/10 mm et une température bille-anneau comprise entre 68 °C et 78 °C).

Poudre de Trinidad 50/50 :

C'est un mélange composé de 50 % de bitume de Trinidad épuré et de 50 % de filler calcaire.

Gilsonite :

La gilsonite est un hydrocarbure naturel, qui se présente sous forme de 0/2. La masse volumique est de $1,05 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, la pénétration standard est voisine de 0 (1/10 mm) et la température bille-anneau supérieure à 150 °C . Le dosage varie de quelques pour cent à 10 % des granulats secs.

✓ Asphalte naturel

Article details: Asphalte.

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.

Ils comprennent les bitumes purs normalisés (norme NF EN 12591) et les bitumes spéciaux divisés en bitumes de grade « dur » (NF EN 13924) et en bitumes à susceptibilité améliorée. Les bitumes routiers sont répartis en trois groupes de classes au sein de la présente norme européenne : NF EN 12591.

- Classes définies par une pénétrabilité nominale à 25 °C de 20x 0,1 mm à 330 x 0,1 mm, spécifiées par la pénétrabilité à 25 °C et le point de ramollissement.
- Classes définies par une pénétrabilité nominale à 25 °C de 250x 0,1 mm à 900 x 0,1 mm, spécifiées par la pénétrabilité à 15 °C et la viscosité dynamique à 60 °C.
- Classes définies et spécifiées par la viscosité cinématique à 60 °C pour les bitumes mous.

3- Bitume émulsion :

Les émulsions bitumineuses sont un mélange de bitume et d'eau liés grâce à la présence d'un agent émulsifiant (savon). Lorsqu'elles sont exposées à l'air, l'eau s'évapore et laisse le bitume qui durcit et sèche en place. Selon la vitesse de séchage (appelée aussi rupture) de l'émulsion, on trouvera les appellations:

- RS (Rapid Setting) pour rupture rapide ;
- MS (Medium “) pour rupture moyenne;
- SS (Slow “) pour rupture lente.

Les émulsions bitumeuses comprennent : les émulsions anioniques (charge des particules solubles dans l'eau est -), les émulsions cationiques (charge des particules solubles dans l'eau est +) identifié par la lettre C et les émulsions à flottabilité élevée (HF).

Les émulsions bitumineuses sont utilisées pour les mélanges bitumineux préparés en usine et posés à froid c'est à dire à la température ambiante. Elles servent aussi pour les mélanges préparés sur place et pour le recyclage de vieux pavage, les amorces de revêtement, les traitements de surface et les couches de scellement et exclusivement comme liants d'accrochage. [7].

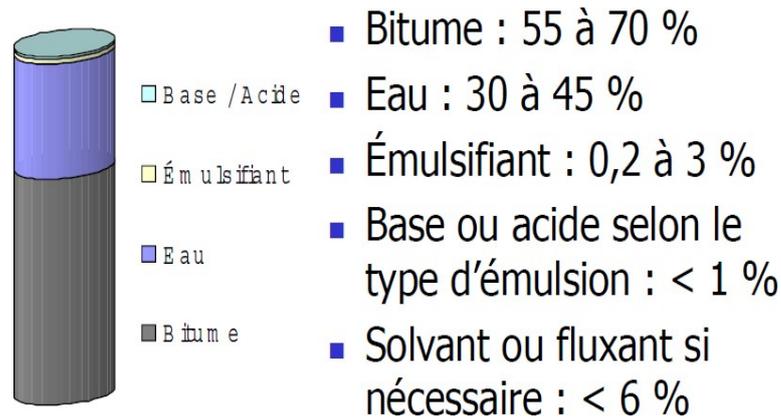


Figure I.2. Les émulsions bitumineuses [8].

4-Bitume modifié:

Les bitumes modifiés sont des liants bitumineux dont les propriétés ont été modifiées par l'emploi d'un agent chimique, qui, introduit dans le bitume de base, en modifie la structure chimique et les propriétés physiques et mécaniques. Ils sont codifiés dans la norme NF EN 14023. La norme est plutôt une description qu'une véritable classification en fonction de performances. [8].

- ✓ Bitumes-polymères
- ✓ Polyéthylène

Provenance : déchets de câble, broyage de bouteilles de lait, de films polyéthylène, polyéthylène neuf.

Les déchets de polyéthylène sont souvent un mélange de polyéthylène haute et basse densité. Lors de la fusion voisine de 130 °C le polyéthylène se combine en partie avec le bitume. Le dosage est habituellement compris entre 0,4 % et 1 %, par rapport aux granulats. La proportion de polyéthylène par rapport au bitume, peut ainsi varier entre 20 % et 66 %.

- ✓ Polymères

Ils se présentent sous forme de granulés incorporés lors du malaxage du mélange.

- ✓ Bitumes pigmentables.

Ils sont obtenus à partir de bruts sélectionnés et sont caractérisés par une très faible teneur en asphaltènes. Les grades sont les mêmes que pour les bitumes routiers classiques.

La coloration se fait à l'aide d'oxydes métalliques à raison de 2,5 % à 6 % environ en masse par rapport à l'enrobé. [8].

- ✓ Liants bitumineux avec charges minérales

Ces liants prêts à l'emploi sont obtenus par mélange en usine, de bitume pur et de charges minérales, par exemple de la chaux. La teneur en liant est différente de la teneur en bitume. [8].

I.4. ESSAIS SUR BITUMINEUX

Parmi les essais de laboratoire utilisés sur les mélanges bitumineux on cite : [9]

I.4.1 essai Duriez

Cet essai permet de connaître la tenue à l'eau d'un enrobé à chaud exprimé par un rapport des résistances à la compression avec immersion dans l'eau et à sec. Le mode de cet essai consiste à confectionner 12 petits moules cylindriques d'enrobés : 2 destinés à mesurer la masse volumique à la pesée hydrostatique, 5 conservés 7 jours à l'eau à 18°C et 5 conservés 7 jours à l'air. Après ce temps, les éprouvettes sont écrasées dans une presse hydraulique.

La résistance à la compression simple = (charge d'écrasement) / (section de l'éprouvette).

La résistance de l'éprouvette stockée en immersion est : "r " La résistance de l'éprouvette stockée à l'eau est : " R". Le rapport r/R est le résultat du test qui donne la tenue à l'eau de l'enrobé et qui sera comparé à la norme en vigueur. [9]

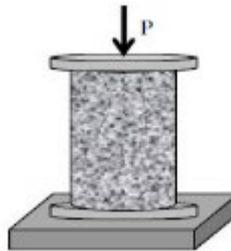


Figure I.3 Principe de l'essai Duriez [9]

I.4.2 Essai Marshall

Enrobés bitumineux sont compactés dans des moules à l'aide d'une dame en vue de réaliser des éprouvettes cylindriques. [9]

Ces éprouvettes (température 60°C) sont placées entre les deux mâchoires semi - cylindriques d'une presse qui se rapprochent l'une de l'autre à une vitesse constante. Au cours de l'essai, la charge et la déformation sont enregistrées jusqu'à la rupture. Cet essai rentre dans la catégorie des essais empiriques à chargement unique qui, vue la complexité des sollicitations engendrées, ne permet pas la détermination d'une propriété intrinsèque du matériau. Il conduit à la détermination directe de deux grandeurs : le fluage (mm) et la stabilité Marshall (kN), deux grandeurs liées à la caractérisation empirique de l'orniérage. [9]

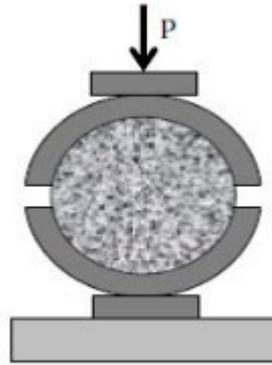


Figure I.4 Principe de l'essai Marshall.[9]

I.4.3 Presse à Cisaillement Giratoire (PCG) :

L'essai de compactage à la PCG est une combinaison d'un cisaillement giratoire et d'une force résultante axiale appliquée par une tête mécanique. L'essai permet de calculer le pourcentage des vides et la compacité à n girations au moyen de la hauteur mesurée de l'éprouvette est de 150mm:

$$\text{Pourcentage des vides} = ((h_n - 150)/h_n) \times 100 \quad \text{Compacité } C = 100 - \% \text{ vides} = (150 \times 100)/h_n.$$

L'essai PCG traduit la maniabilité de l'enrobé. En effet, plus la pente de la droite est forte, plus le matériau est maniable.

Cette caractéristique découle des normes qui exigent un certain pourcentage de vides à n girations. La maniabilité est un facteur important puisqu'elle traduit la facilité de mise en œuvre de l'enrobé sur le chantier.

Si les valeurs du pourcentage des vides sont conformes et le coefficient de maniabilité favorable, continuer les essais DURIEZ et la plaque d'orniérage, dans le cas contraire, modifier la formule d'enrobé. [9]

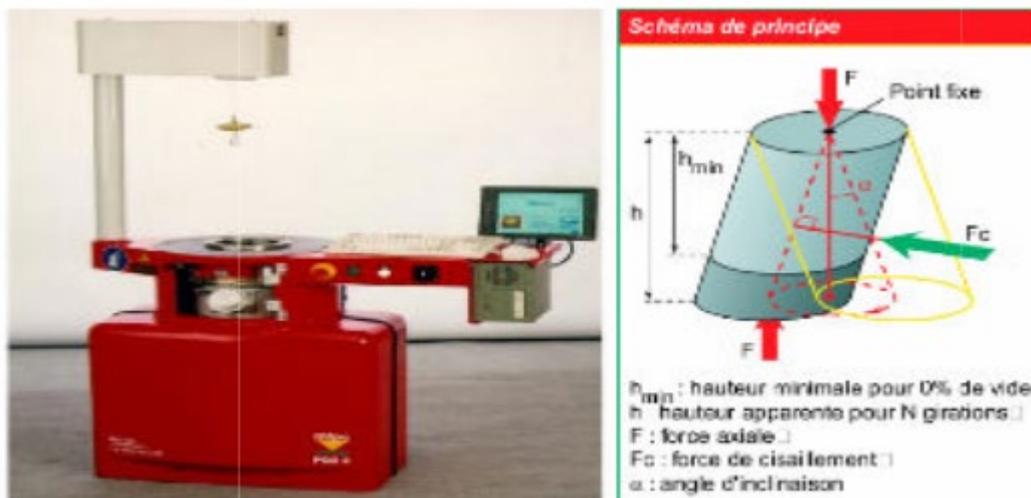


Photo I.1 Presse à cisaillement giratoire (PCG). [9]

I.4.4 L'essai de compression diamétrale

Les corps d'épreuve cylindriques sont des éprouvettes confectionnées à la Presse à Cisaillement Giratoire ou des carottes extraites de plaques. Une partie des éprouvettes est conservée sans immersion à température ambiante ; l'autre partie est conservée immergée après un dégazage poussé pendant 70 h à 40 °C. Chaque groupe d'éprouvettes est écrasé en compression diamétrale à une température de 15°C. Le rapport de la résistance après immersion à la résistance à sec donne la tenue à l'eau du mélange. [9]

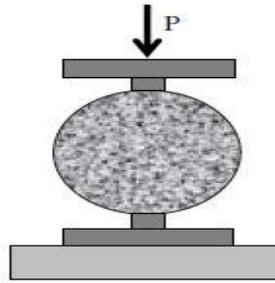


Figure I.5 Principe de l'essai de compression diamétrale [9].

I.4.5 L'essai d'orniérage :

Le corps d'épreuve est une plaque parallélépipédique de 5 cm ou de 10 cm d'épaisseur, selon que l'épaisseur de mise en œuvre de l'enrobé soit inférieure ou supérieure à 5 cm. Cette plaque est soumise au trafic d'une roue équipée d'un pneumatique (fréquence : 1 Hz, charge : 5 kN, pression : 6 bars), dans des conditions sévères de température (60 °C). La profondeur de la déformation produite dans le passage de la roue, est notée en fonction du nombre de cycles. Les spécifications portent sur un pourcentage d'ornière à un nombre de cycles donné, qui dépend du type de matériau, et de sa classe. [9]

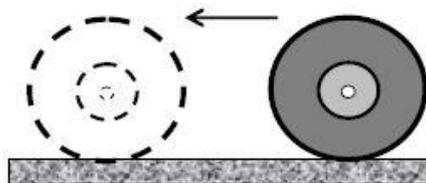


Figure I.6. Principe de l'essai d'orniérage [9].

I.4.6 L'essai de traction directe :

Il s'agit d'un essai de traction à température constante et à vitesse de déformation constante. Au cours de l'essai, les paramètres mesurés sont la contrainte et la déformation. La contrainte maximale, encore appelée contrainte de rupture, et la déformation correspondante, donnent

directement accès à la résistance en traction du matériau testé, pour les conditions d'essais (température, vitesse) considérées. [9]

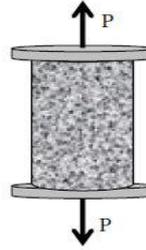


Figure I.7 Principe de l'essai de traction directe. [9]

I.4.7 Essai de fluage statique uniaxial :

L'essai consiste à charger axialement, avec une charge constante des éprouvettes cylindriques d'enrobés afin de déterminer la déformation résultante dans la direction de la charge (figure II.10). La déformation relative « ϵ » égale au rapport « $\Delta H/H$ » peut être représentée en fonction du temps (figure 1.). [9]

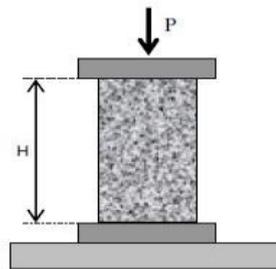


Figure I.8. Principe de l'essai de compression cyclique uniaxial sous confinement [9]

I.4.8 Essai de fluage dynamique

Cet essai consiste à déterminer la résistance à la déformation d'une éprouvette cyclique de mélanges bitumineux. L'éprouvette est préparée en laboratoire ou extraite de la chaussée.

Une éprouvette cylindrique, maintenue à une température de conditionnement élevée, est placée entre deux pistons de chargement parallèles et plans. L'éprouvette est soumise à une contrainte de confinement « σ_c » à laquelle une contrainte axiale cyclique « $\sigma_a(t)$ » vient se superposer. [9]

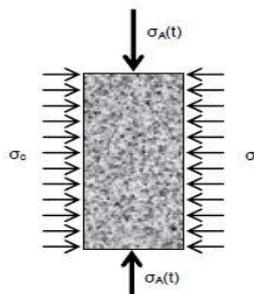


Figure I.9. Représentation des contraintes exercées sur l'éprouvette dans le cas d'un essai de fluage dynamique. [9]

I.4.9 Essais de module :

La rigidité du mélange est déterminée soit par un essai de module complexe (solicitation sinusoïdale sur éprouvette trapézoïdale) soit par un essai de traction directe (sur éprouvette cylindrique ou parallélépipédique). La charge est appliquée dans un domaine de petites déformations, en contrôlant le temps ou la fréquence, la température et la loi de chargement. Le module (rapport de la contrainte à la déformation) est calculé pour chaque essai élémentaire (température, fréquence). [9]

Grâce à l'équivalence temps-température, on trace la courbe maîtresse du module à une température donnée. Cette représentation permet de connaître le comportement du mélange sur un large spectre de temps de charge ou de fréquences. La spécification porte sur le module à 15 °C et une fréquence de 10 Hz ou un temps de charge de 0,02 s. [9]

I.4.10 Les essais de fatigue :

Cet essai permet d'étudier le comportement des enrobés bitumineux vis-à-vis de la fissuration ; il est pratiqué sur des éprouvettes de forme trapézoïdales. L'éprouvette est encastrée à la base, sollicitée en tête en flexion sinusoïdale par déplacement imposé d'amplitude constante choisie afin de caractériser la rupture à un million de cycles. L'essai est pratiqué à 10°C et à une fréquence de 25 Hz. [9]

La répétitivité des cycles de flexion alternée entraîne un endommagement de l'éprouvette (des fissures sont localisées). L'essai est conduit jusqu'à réduction de moitié de l'effort mesuré en tête, c'est le critère de la rupture. Les résultats obtenus sont reportés sur un diagramme (déformation - nombre de cycles à rupture). [9]



Photo I.2. Essai de fatigue en flexion 2 points sur éprouvettes trapézoïdales [9]

I.5. Conclusion :

Un enrobé est un mélange de graviers, de sable, de fines et de liant, il est un matériau routier, appliqué en une ou plusieurs couches, pour constituer le revêtement des chaussées. Les enrobés pour couche d'assise appartiennent soit à la famille des graves bitume (GB), soit à la famille des enrobés à module élevé (EME), ils permettent une diffusion suffisante des contraintes pour éviter une déformation permanent du sol support.

CHAPITRE II
SENSIBILITE A L'EAU
DES ENROBES
BITUMINEUX

CHAPITRE II : SENSIBILITE A L'EAU DES ENROBES BITUMINEUX

II.1. INTRODUCTION :

L'eau est l'un des ennemis les plus féroces sur les routes, qu'elle soit stable ou en mouvement, elle entraîne toujours de nombreuse dégradation.

Cette partie sera consacrée à l'effet de l'eau, ainsi qu'aux moyens de le mesurer en laboratoire à travers plusieurs méthodes.

II.2. INFLUENCE DE L'EAU SUR LES ENROBES BITUMINEUX :

L'eau est l'ennemie des chaussées. »1 Son action dans les enrobés se caractérise par une détérioration progressive de l'adhésion bitume-granulat et une chute de la cohésion de l'enrobé, qui conduisent à la dégradation des performances et à une baisse de la durabilité des chaussées.



Photo II.1. Quelques cases de l'influence de l'eau sur la chaussée.

II.3. METHODES DES MESURES :

II.3.1. Méthode A : La méthode A utilise la résistance à la traction indirecte des éprouvettes cylindriques de mélanges bitumineux. Un ensemble d'éprouvettes d'essai cylindriques est divisé en deux lots équivalents et mis en conservation. Un lot est conservé sec à la température ambiante tandis que l'autre est saturé d'eau et conservé dans un bain à température de conservation élevée. Après conservation, la résistance à la traction indirecte de chacun des deux sous-ensembles est déterminée à une température d'essai définie, en fonction du grade du bitume. Le rapport entre la résistance à la traction indirecte du lot conservé dans l'eau et celle du lot sec est déterminé et exprimé en pourcentage. [10]

II.3.1.1. Appareillage :

II.3.1.1.1. Machine d'essai de compression :

Machine d'essai de compression, tête d'essai avec bandes de chargement conformément à PCG.

CHAPITRE II : SENSIBILITE A L'EAU DES ENROBES BITUMINEUX

II.3.1.1.2. Système de mise sous vide :

Système de mise sous vide (pompe, manomètre, etc.), capable d'atteindre une pression résiduelle de $(6,7 \pm 0,3)$ kPa en (10 ± 1) min et de maintenir cette pression pendant (30 ± 5) min. [4]

II.3.1.1.3. Récipient sous vide :

Récipient sous vide avec une plaque perforée, placée au-dessus du fond.

II.3.1.1.4. Bain d'eau :

Bain(s) d'eau à régulation thermostatique, capable de maintenir la température d'essai prescrite conformément au 5.3.2 et la température d'essai conformément au 5.4 à proximité des corps d'épreuve. [10]

Ces deux températures dépendent du grade du bitume des éprouvettes de l'essai. Les deux températures dépendent du grade du bitume des éprouvettes de l'essai. Le bain doit être équipé d'une plaque perforée placée sur des entretoises au-dessus du fond. La capacité du bain doit garantir que les corps d'épreuve soient conservés avec leur face supérieure à 20 mm au moins au-dessous de la surface de l'eau. [10]

II.3.1.1.5. Enceinte: Enceinte climatique à régulation thermostatique (en option), capable de maintenir la température d'essai prescrite conformément au 5.4 1 à proximité des corps d'épreuve.

II.3.1.1.6. Autres matériels: Sacs en plastique souples ou autre protection étanche appropriée (en option), pour la conservation à la température d'essai dans le bain d'eau. [10]

II.3.1.2. Préparation des éprouvettes :

II.3.1.2.1. Nombre d'éprouvettes : Pour chaque échantillon soumis à essai, au moins six corps d'épreuve cylindriques doivent être préparés. Les corps d'épreuve doivent avoir le même âge (préparés le même jour). [10]

II.3.1.2.2. Dimensions des éprouvettes:

Les éprouvettes cylindriques doivent avoir un diamètre de (80 ± 2) mm, (100 ± 3) mm, (120 ± 3) mm, (150 ± 3) mm ou (160 ± 3) mm.

Pour les éprouvettes de diamètre nominal 80 mm, la dimension maximale de granulat ne doit pas dépasser 11 mm. Pour les éprouvettes de diamètre nominal 100 mm, la dimension maximale de granulat ne doit pas dépasser 22 mm. Pour les éprouvettes de diamètre nominal 120 mm, la dimension maximale de granulat ne doit pas dépasser 31,5 mm. Pour les éprouvettes de diamètres nominaux de

150 mm et de 160 mm, la dimension maximale de granulat ne doit pas dépasser 40 mm. Les corps d'épreuve doivent être cylindriques, moulés, confectionnés en laboratoire conformément

CHAPITRE II : SENSIBILITE A L'EAU DES ENROBES BITUMINEUX

aux PCG ou bien des carottes prélevées dans une plaque fabriquée selon PCG, ou bien des carottes prélevées dans une couche bitumineuse selon PCG. [10]

II.3.1.2.3. Méthode de compactage :

Les corps d'épreuve doivent être compactés :

a) ou bien jusqu'à obtenir un échantillon dont le pourcentage de vide est supérieur ou égal à la valeur exigée la plus élevée pour l'application locale. Le pourcentage de vide est déterminé selon l'EN 12697- en se basant sur les masses volumiques déterminées selon l'EN 12697-5 et l'EN 12697-6 ou l'EN 12697-7;

b) ou bien en utilisant les niveaux d'énergie suivants :

- Compactage par impact (EN 12697-30) : 2 x 25, 2 □ 35 ou 2 x 50 coups,
- Compactage giratoire (EN 12697-31) : 25 ou 50 girations,
- Compactage vibratoire (EN 12697-32) : (80 □ 5) s,
- Compacteur de plaque (EN 12697-33) : 24 passes (modalité de compactage au pneu).

[4]

II.3.1.2.4. Examen visual:

Les corps d'épreuve doivent être visuellement symétriques, leur face courbe régulière et circulaire.

II.3.1.2.5. Détermination des dimensions :

Les dimensions de chaque corps d'épreuve doivent être déterminées conformément à PCG.

Les points de mesure doivent être marqués pour permettre de répéter les mesures des dimensions entre les mêmes points pour les échantillons humides (5.3.2). [10]

Calculer le volume conformément au 8.1 formule 1.

II.3.1.2.6. Détermination de la masse volumique apparente :

La masse volumique apparente doit être déterminée conformément à PCG.

II.3.1.2.7. Division en lots :

Les corps d'épreuve doivent être divisés en deux lots ayant approximativement la même hauteur moyenne et la même masse volumique apparente moyenne. Les hauteurs moyennes ne doivent pas différer de plus de 5 mm. Les masses volumiques apparentes moyennes ne doivent pas différer de plus de 0,015 Mg/m³. [10]

II.3.1.2.8. Mûrissement des éprouvettes :

Conserver les échantillons à la verticale sur une surface plane à une température de (20 ± 5) °C, pendant une durée comprise entre 16 h et 24 h à compter du moment du compactage. [10]

CHAPITRE II : SENSIBILITE A L'EAU DES ENROBES BITUMINEUX

II.3.1.3. Conservation :

II.3.1.3.1. Corps d'épreuve secs :

Conserver le lot de corps d'épreuve secs sur leurs bases et sur une surface plane à une température de (20 ± 5) °C. [10]

II.3.1.3.2. Corps d'épreuve humides :

a) Placer le lot de corps d'épreuve humides sur la plaque perforée dans le récipient sous vide rempli d'eau à (20 ± 5) °C. Le niveau d'eau doit être supérieur d'au moins 20 mm à la face supérieure des corps d'épreuve.

b) Mettre sous vide pour obtenir une pression absolue (résiduelle) de $(6,7 \pm 0,3)$ kPa en (10 ± 1) min. [10]

Faire chuter la pression lentement pour éviter un endommagement des corps d'épreuve dû à leur dilatation.

c) Maintenir le vide pendant (30 ± 5) min

d) Augmenter lentement la pression jusqu'à la pression atmosphérique puis laisser les corps d'épreuve immergés dans l'eau pendant une durée supplémentaire de (30 ± 5) min.

e) Sortir les éprouvettes de l'eau. Mesurer les dimensions des corps d'épreuve conformément à l'EN 12697-29. Calculer le volume conformément au 8.1 formule 1. Noter dans le rapport d'essai tout corps d'épreuve ayant augmenté de plus de 2% en volume. Passez immédiatement à l'étape f.

f) Placer le lot de corps d'épreuve humides dans un bain d'eau à (40 ± 2) °C pendant une période de (72 ± 2) h. Lors de l'utilisation de bitumes routiers de classe supérieure à 160/220, la température de conservation doit être ramenée à (25 ± 2) °C. [10]

II.3.1.4. Mode opératoire:

a) Après avoir conservé les éprouvettes humides, sortir les échantillons de l'eau et laisser reposer les échantillons pendant 30 minutes sur une surface plane.

NOTE Le temps de repos est nécessaire pour s'assurer que les échantillons ne seront pas déformés pendant la mesure.

b) Mesurer les dimensions de chaque éprouvette conformément à l'EN 12697-29 et pesez-les. [10]

c) La température d'essai doit être choisie dans la plage comprise entre 5 ° C et 25 ° C avec une tolérance de ± 1 ° C. Pour le choix de la température d'essai, le grade de liant réel doit être pris en compte pour obtenir une influence maximale de l'adhésion du liant et minimiser l'influence des granulats cassés dans la surface de la ligne de rupture. Une recommandation concernant les températures d'essai pour les mélanges avec du bitume routier est donnée dans le tableau 1. [10]

CHAPITRE II : SENSIBILITE A L'EAU DES ENROBES BITUMINEUX

Tableau II.1 : Températures d'essai recommandées. [10]

Grade nominal du liant	Test temperature °C
Pénétrabilité à 25 °C (0,1 mm) \leq 70	15 \pm 1
Pénétrabilité à 25 °C (0,1 mm) $>$ 70	10 \pm 1
Viscosité cinématique à 60 °C (mm ² /s) $>$ 4000 ^a	10 \pm 1
^a Bitumes mous : bitumes désignés et spécifiés par la viscosité cinématique à 60°C	

- d)** Porter le lot des corps d'épreuve humides {la température d'essai en le plaçant:
- Directement dans le bain d'eau ;
 - Dans des sacs étanches en plastique souple remplis d'eau et placés dans une enceinte à contrôle thermostatique. D'autres conteneurs étanches peuvent être utilisés, à condition de s'assurer de l'efficacité des échanges thermiques avec l'enceinte. [10]
- e)** Porter le lot des corps d'épreuve secs à la température d'essai en le plaçant :
- Directement dans une enceinte climatique à contrôle thermostatique ou ;
 - Dans un bain d'eau, en protégeant de l'eau le corps d'épreuve au moyen d'un sac en plastique souple ou d'une autre protection étanche appropriée et en s'assurant que la protection étanche est bien appliquée sur la surface de l'éprouvette pour permettre une transmission correcte de la chaleur. [10]
- f)** Laisser les corps d'épreuve dans le bain d'eau ou dans l'enceinte pendant au moins 4 h. En cas d'utilisation d'une enceinte pour la mise à la température d'essai, la température doit être contrôlée en plaçant parmi les corps d'épreuve une éprouvette factice équipée d'un thermomètre incorporé. Au cours des 2 dernières heures, la température mesurée à proximité des éprouvettes humides et sèches ne doit pas différer de plus de 1°C. [10]
- g)** Sécher la surface des corps d'épreuve humides avec un chiffon et effectuer immédiatement
- h).**
- h)** Déterminer la résistance à la traction indirecte sur les éprouvettes d'essai conformément au mode opératoire de l'EN 12697-23. L'essai de résistance à la traction indirecte doit être réalisé au plus tard 2 min après que l'éprouvette a été extraite du bain de conservation ou de l'enceinte climatique.
- i)** Les essais des éprouvettes sèches et humides doivent être effectués le même jour. [10]
- II.3.2. Méthode B** : La méthode B utilise la résistance à la compression d'éprouvettes cylindriques de mélanges bitumineux. Un ensemble d'éprouvettes d'essai cylindriques est divisé en deux lots équivalents et mis en conservation. Un lot est conservé sec à 50 % d'humidité,

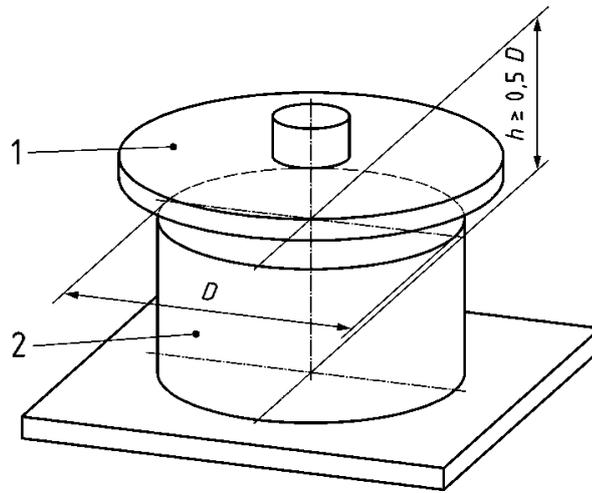
CHAPITRE II : SENSIBILITE A L'EAU DES ENROBES BITUMINEUX

tandis que l'autre est saturé et conservé dans l'eau. Après conservation, la résistance à la compression de chacun des deux lots est déterminée à 18 °C. Le rapport entre la résistance à la compression du lot conservé dans l'eau et celle du lot sec est déterminé et exprimé en pourcentage. [10]

II.3.2.1. Appareillage :

II.3.2.1.1. Machine d'essai de compression :

Machine d'essai de compression, capable d'appliquer la charge requise avec une vitesse comprise entre 45 +/- 2 mm/min et 65 +/- 2 mm/min.



Légende :

1 : châssis de chargement de diamètre $> D$

2 : éprouvette

D : diamètre de l'éprouvette

h : hauteur de l'éprouvette

Figure II.1 : Dispositif d'essai Méthode B

II.3.2.1.2. Appareil de mesure :

Appareil de mesure capable de déterminer le chargement avec une précision de $\pm 1\%$.

II.3.2.1.3 Système de mise sous vide

Système de mise sous vide (pompe, manomètre, etc.), capable d'atteindre une pression résiduelle de (47 ± 3) kPa et de maintenir cette pression pendant (120 ± 10) min. Il doit être possible d'injecter de l'eau dans le dessiccateur tout en maintenant le vide.

II.3.2.1.4 Récipient sous vide :

Récipient sous vide avec une plaque perforée placée au-dessus du fond.

II.3.2.1.5 Bain d'eau :

Bain d'eau, capable de maintenir une température de conservation de (18 ± 1) °C à proximité des corps d'épreuve. Le bain doit être équipé d'une plaque perforée placée sur des entretoises

CHAPITRE II : SENSIBILITE A L'EAU DES ENROBES BITUMINEUX

au-dessus du fond du bain. La capacité du bain doit être suffisante pour permettre que les corps d'épreuve soient conservés avec leur face supérieure à 20 mm au moins au-dessous de la surface de l'eau. [10]

II.3.2.1.6 Enceinte :

Enceinte climatique capable de maintenir une température d'essai de (18 ± 1) °C et une humidité de (50 ± 10) % à proximité des corps d'épreuve.

II.3.2.1.7 Autres matériels :

Sacs en plastique souples ou autre protection étanche appropriée (en option), pour la conservation à la température d'essai dans le bain d'eau.

II.3.2.2. Préparation des éprouvettes :

II.3.2.2.1 Nombre d'éprouvettes :

Pour chaque échantillon soumis à essai, au moins huit corps d'épreuve cylindriques doivent être préparés. Les corps d'épreuve doivent avoir le même âge (préparés le même jour).

II.3.2.2.2 Dimensions des éprouvettes :

Les éprouvettes cylindriques doivent avoir un diamètre de (80 ± 2) mm, (100 ± 3) mm, (120 ± 3) mm, (150 ± 3) mm ou (160 ± 3) mm.

Pour les éprouvettes de diamètre nominal 80 mm, la dimension maximale de granulat ne doit pas dépasser 11 mm. Pour les éprouvettes de diamètre nominal 100 mm, la dimension maximale de granulat ne doit pas dépasser 22 mm. Pour les éprouvettes de diamètre nominal 120 mm, la dimension maximale de granulat ne doit pas dépasser 31,5 mm. Pour les éprouvettes de diamètres nominaux de 150 mm et de 160 mm, la dimension maximale de granulat ne doit pas dépasser 40 mm. Les corps d'épreuve doivent être cylindriques, moulés, confectionnés en laboratoire conformément aux EN 12697-30, EN 12697-31 ou EN 12697-32 ou bien des carottes prélevées dans une plaque fabriquée selon l'EN 12697-33, ou bien des carottes prélevées dans une couche bitumineuse selon l'EN 12697-27.

II.3.2.2.3. Méthode de compactage :

Les corps d'épreuve doivent être compactés :

a) ou bien jusqu'à obtenir un échantillon dont le pourcentage de vide est supérieur ou égal à la valeur exigée la plus élevée pour l'application locale. Le pourcentage de vide est déterminé selon l'EN 12697-8 en se basant sur les masses volumiques déterminées selon l'EN 12697-5 et l'EN 12697-6 ou l'EN 12697-7;

b) ou bien en utilisant les niveaux d'énergie suivants :

- Compactage par impact (EN 12697-30) : 2 x 25 ou 2 x 35 coups,
- Compactage giratoire (EN 12697-31) : 25 ou 50 girations,

CHAPITRE II : SENSIBILITE A L'EAU DES ENROBES BITUMINEUX

- Compactage vibratoire (EN 12697-32) : (80 ± 5) s,
- Compacteur de plaque (EN 12697-33) : 24 passes (modalité de compactage au pneu),
- Compactage statique par application pendant (300 ± 5) s d'une charge constante avec les paramètres conformément au tableau 2.

Tableau II.2 : Paramètres de compression statique [10]

Diamètre des éprouvettes [mm]	80 ± 2	100 ± 3	120 ± 3	150 ± 3	160 ± 3
Masse d'enrobés [g]	$1\ 000 \pm 1$	$2\ 000 \pm 2$	$3\ 500 \pm 4$	$6\ 700 \pm 5$	$8\ 000 \pm 6$
Charge statique [kN]	$60 \pm 1 \%$	$120 \pm 1 \%$	$180 \pm 1 \%$	$280 \pm 1 \%$	$280 \pm 1 \%$

II.3.2.2.4 Examen visuel :

Les corps d'épreuve doivent être visuellement symétriques, leur face courbe régulière et circulaire.

II.3.2.2.5 Détermination des dimensions :

Les dimensions de chacun des corps d'épreuve doivent être déterminées conformément à l'EN 12697-29. Les points de mesure doivent être marqués afin de permettre la répétition des mesures des dimensions entre des points identiques pour les échantillons humides (6.3.2).

L'élanement des corps d'épreuve doit être d'au moins 0,5.

Calculer le volume conformément au 8.1 formule (1).

II.3.2.2.6 Détermination de la masse volumique apparente :

La masse volumique apparente doit être déterminée conformément à l'EN 12697-6 ou à l'EN 12697-7.

II.3.2.2.7 Division en lots :

Les corps d'épreuve doivent être divisés en deux lots ayant approximativement la même hauteur moyenne et la même masse volumique apparente moyenne. Les hauteurs moyennes ne doivent pas différer de plus de 5 mm. Les masses volumiques apparentes moyennes ne doivent pas différer de plus de $0,015 \text{ Mg/m}^3$. [10]

II.3.2.2.8 Mûrissement des éprouvettes :

Conserver les échantillons à la verticale sur une surface plane à une température de $(20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$, pendant une durée comprise entre 16 h et 24 h à compter du moment du compactage.

CHAPITRE II : SENSIBILITE A L'EAU DES ENROBES BITUMINEUX

II.3.2.3 Conservation :

II.3.2.3.1 Corps d'épreuve secs :

Conserver le lot de corps d'épreuve secs debout sur une surface plane à une température de (18 ± 1) °C et à une humidité de (50 ± 10) % à proximité des corps d'épreuve.

II.3.2.3.2 Corps d'épreuve humides

a) Placer le lot de corps d'épreuve humides sur la plaque perforée dans le récipient sous vide. Mettre sous vide pour atteindre une pression (résiduelle) absolue de (47 ± 3) kPa.

b) Maintenir le vide pendant (60 ± 5) min puis introduire l'eau en maintenant toujours la pression. Le niveau d'eau doit être supérieur d'au moins 20 mm à la face supérieure des corps d'épreuve. [10]

c) Laisser les corps d'épreuve immergés dans l'eau, la pression étant maintenue à (47 ± 3) kPa, pendant (120 ± 10) minutes supplémentaires.

d) Augmenter lentement la pression jusqu'à la pression atmosphérique.

e) Sortir les éprouvettes de l'eau. Mesurer les dimensions des corps d'épreuve conformément à l'EN 12697-29. Calculer le volume des éprouvettes selon la formule (1) donnée au paragraphe 8.1.

Noter dans le rapport d'essai tout corps d'épreuve dont le volume s'est accru de plus de 2 %. Procéder immédiatement à l'étape f.

f) Placer le lot de corps d'épreuve humides dans un bain d'eau à (18 ± 1) °C pendant une durée de (168 ± 2) h.

g) Durant les deux dernières heures, la température mesurée à proximité des éprouvettes du lot sec et du lot humide ne doit pas différer de plus de 1°C.

II.3.2.4 Procédure d'essai

a) Sécher la surface des corps d'épreuve humides avec un chiffon et effectuer immédiatement b.

b) Pour chaque corps d'épreuve, mesurer respectivement la force maximale pour le lot humide (F_w) et pour le lot sec (F_d) à ± 1 %. Déterminer respectivement les résistances à la compression C_w et C_d . [4]

L'essai de résistance à la compression doit être réalisé au plus tard 2 min après que le corps d'épreuve a été extrait du système de conservation de température.

II.3.3. Méthode C : Un échantillon de mélange bitumineux et d'eau est mélangé. La quantité de matériau qui s'est détachée est mesurée par filtration. La valeur d'adhésivité est la quantité sèche, mesurée en grammes, des fines et de bitume laissée sur le papier filtre. [10]

CHAPITRE II : SENSIBILITE A L'EAU DES ENROBES BITUMINEUX

II.3.3.1 Appareillage :

II.3.3.1.1 Bêcher en verre gradué :

Bêcher en verre gradué, ayant un diamètre de 80 mm, un volume de 2 500 ml environ, et une échelle de 2 000 ml. [10]

II.3.3.1.2 Bouchon en caoutchouc :

Bouchon en caoutchouc, adapté au bêcher en verre gradué.

II.3.3.1.3 Papier-filtre : Support pour tenir le papier-filtre.

II.3.3.1.4 Récipient-collecteur.

II.3.3.1.5 Balance : Balance de résolution $\pm 0,1$ g

II.3.3.1.6 Récipient pour sécher le papier-filtre :

II.3.3.1.7 Etuve : Etuve, capable de maintenir la température à (105 ± 5) °C.

II.3.3.2 Préparation de l'éprouvette :

Prélever un échantillon de $(1\ 000 \pm 10)$ g dans un mélange bitumineux homogène à l'âge de (60 ± 10) min.

Introduire l'échantillon de $(1\ 000 \pm 10)$ g dans le bêcher en verre gradué.

Mode opératoire de l'essai

- a) Sécher un papier-filtre propre dans le four pendant au moins 30 min à (105 ± 5) °C. Peser le papier filtre W_1 avec une précision de $\pm 0,1$ g.
- b) Plier deux fois le joint inférieur du papier-filtre. Placer le papier-filtre dans le support et le récipient-collecteur sous le support.
- c) Verser $(1\ 500 \pm 15)$ ml d'eau à la température de (25 ± 3) °C par-dessus l'échantillon d'essai dans le bêcher en verre gradué. Boucher le bêcher en verre gradué avec un bouchon de caoutchouc. Retourner le bêcher en verre gradué dix fois assez rapidement de sorte que la masse retombe vers le bas à chaque. Placer le bêcher en verre gradué sur une table pendant (60 ± 3) s. Répéter la série de dix rotations. [10]
- d) Secouer doucement le bêcher en verre gradué de manière à ce que toutes les petites particules de mélange bitumineux restent sur la surface de l'eau et sur la face interne du bêcher gradué retombent. Retirer le bouchon en caoutchouc et verser immédiatement le liquide sur le papier-filtre jusqu'à ce que son volume dans le bêcher en verre gradué atteigne 1 000 ml. Les morceaux de mélange bitumineux ne doivent pas être versés avec le liquide. La durée de coulée est comprise entre 15s et 30 s. [10]

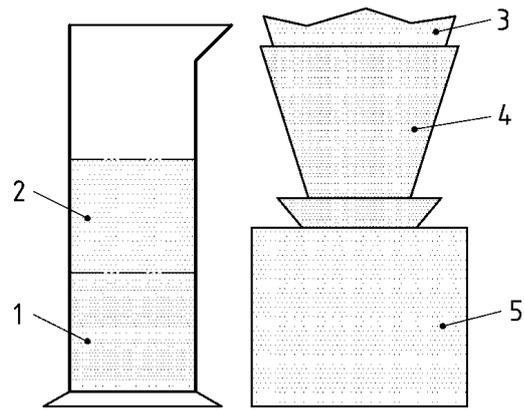


Figure II.2 : Dispositif d'essai Méthode C. [10]

Légende :

- 1- mélange
- 2- liquide
- 3- papier filtre
- 4- support
- 5- récipient

e) Placer le papier-filtre dans le récipient afin de le sécher. Sécher le papier-filtre à masse constante à (105 ± 5) °C. Déterminer la masse W_2 avec une précision de $\pm 0,1$ g.

II.4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous présentons les trois méthodes de mesures de l'impact de l'eau, et nous constatant quelque remarque :

- La méthode « C » n'est pas utilisable dans notre étude parce que notre liant est un liant dur,
- Il y'a plusieurs différents dans la phase de désaération entre les deux méthodes A et B
- Il y'a plusieurs méthodes de préparation des éprouvettes, nous prenons la méthodes PCG dans cette étude.

CHAPITRE III
RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présentons le plan expérimental de notre étude, qui contient :

- Source de Matériaux ;
- Essais réalisés ;
- Résultats et discussion.

III.2. Source de Matériaux :

L'essai sensibilité à l'eau réaliser par deux méthodes, traction et compression, sur le même matériau bitumineux, le matériau c'est un mélange de 0/3, 3/8 et 8/15 avec un bitume 40/50 pour formuler un béton bitumineux 0/14 au niveau de chantier.

Le mélange est prélevé de la post d'enrobage de ALCOGAZ, Metlili.- GHARDAIA.

III.3. L'essais Réalisés :

L'essai réaliser c'est la sensibilité par deux méthodes :

- Méthode traction ;
- Méthode compression.



a) Méthode traction

b) Méthode compression

Photo III.1 : Les Méthodes l'essais Réalisés

III.3.1. Préparation des éprouvettes :

On a préparé des éprouvettes par compaction giratoire, L'ensemble des éprouvettes est divisés en deux parties, une partie destinée à l'essai traction, et l'autre à la compression.

Les méthodes réalisées suivant, l'instruction de la norme NF EN 12697-12 (2018).



a) Les Moules compaction giratoire

b) Les éprouvettes

Photo III.2 : Préparation des éprouvettes

III.3.2. Conservation des éprouvettes :

Chaque partie est divisée en deux lots, un lot vers conservation dans l'eau et l'autre conserver à l'air, pour la méthode de traction les conditions d'essais sont :

- 40 °C à l'air pendant 3 jours.
- 25 °C à l'air pendant 3 jours.

Pour la compression simple les conditions d'essais sont :

- 18 °C, à l'eau 7 jours.
- 18 °C, 50% Humidité 7 jours.



Photo III.3 : Conservation des éprouvettes

III.3.3. Ecrasement :

Après la conservation normalisés, l'écrasement est réalisé à des vitesses de chargement de 50 mm/min pour traction, et à 60 mm/min pour la compression.

Concernant la température, les éprouvettes de traction sortent les milieux de conservation et conserver à 15 °C pendant 24 h plus (le quatrième jour) et écraser à 15 °C

Les éprouvettes de compression sortent directement de la chambre climatique vers la presse d'écrasement, et écraser dans un délai de 2 min maximum.



Photo III.4 : Ecrasement des éprouvettes

III.4. Résultats :

Dans cette section nous présentons les résultats des deux méthodes d'essai, compression et traction indirecte :

III.4.1. Méthode compression :

Nous réalisons l'essai sur les 06 éprouvettes en totale (03 immerger dans le bain d'eau) (03 conserver sans immersion dans la chambre humide) à une température de 18 °C.



Photo III.5 : Compression Par La presse Duriez

L'essai réaliser par la presse duriez à une vitesse de 60 mm/min, et la contrainte maximale sont enregistrer et la courbe de contrainte en fonction de déformation.



Photo III.6 : Résultats méthode compression

Les résultats trouvés sont comme suit :

Tableau. III.1. Résultat de Méthode compression.

Éprouvette N°	Lot Humide			Lot Sec		
	01	02	03	01	02	03
Masse (g)	1425.8	1425.01	1425.04	1425.2	1425.3	1424.9
Diamètre (mm)	100.08	100.08	99.715	100.075	100.06	100.005
Hauteur (mm)	86.98	87.052	86.337	82.33	81.22	82.0475
MVA (g/cm ³)	2.09	2.082	2.115	2.202	2.233	2.212
Résistance à la compression (kPa)	7574	7103	6430	11000	11002	11501
Résistance à la compression moyenne	Lot Humide (C _w) = 7035.7 kPa			Lot Sec (C _D) = 11167.7 kPa		
Rapport d'immersion	$i/C = 100 \times C_w/C_D = 63.0 \%$					

Les résultats de la sensibilité à l'eau sont hors fourchette de l'enrobé bitumineux 0/14, ce qui doit être supérieure à 70%.

III.4.2. Méthode de traction :

Nous réalisons l'essai sur les 06 éprouvettes en totale (03 immerger dans le bain d'eau) (03 conserver à température ambiante), et re-conserver à une température de 15 °C dans une chambre climatique avant d'écraser.



Photo III.7 : Traction indirect par la presse Duriez

L'essai réalisé par la presse duriez à une vitesse de 50 mm/min, et la contrainte maximale sont enregistrer et la courbe de contrainte en fonction de déformation.

La force maximale et la force en fonction de déformation.



Photo III.8 : Résultats méthode traction

Le tableau suivant présent les résultats :

Tableau. III.2. Résultats de Méthode Traction.

Éprouvette N°	Lot Humide			Lot Sec		
	01	02	03	01	02	03
Masse (g)	1425	1426.01	1424.9	1426.8	1426.6	1425.1
Diamètre (mm)	100.28	100.05	100.265	100	100.06	99.965
Hauteur (mm)	83.931	83.131	83.975	81.79	81.17	82.02
MVA (g/cm ³)	2.151	2.183	2.15	2.222	2.236	2.215
Résistance à la compression (kPa)	1249.5	1583.6	1237.7	1785.2	2276.7	2165.7
Résistance à la compression moyenne	ITS _w = 1356.3 kPa			ITS _D = 2075.9 kPa		
Rapport d'immersion	$ITSR = 100 \times ITS_w / ITS_D = 65.3 \%$					

Les résultats de la sensibilité à l'eau avec la méthode de traction sont aussi hors fourchette de l'enrobé bitumineux 0/14, ce qui doit être supérieure à 70%.

C'est-à-dire que ce enrobé est assez sensible à l'eau (saturation de l'eau).

III.4.3. Comparaison les méthodes :

Le but de ce travaille c'est de comparer les valeurs mesurant par deux méthodes de compactage donner par une norme de l'essai sensibilité à l'eau des enrobés bitumineux. de l'essai sensibilité à l'eau des enrobés bitumineux.

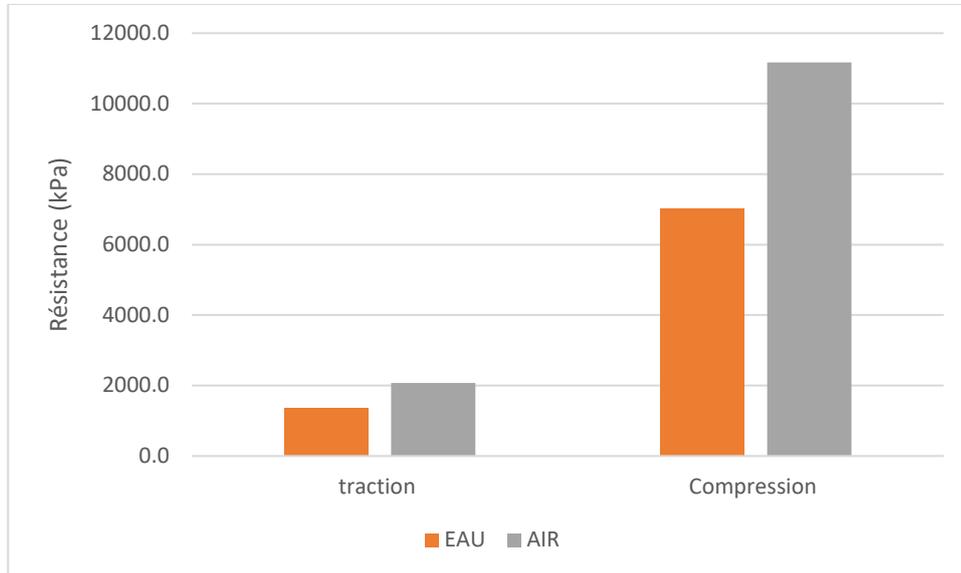


Figure III.1. Histogramme de la résistance pour les deux méthodes.

Nous notons que la résistance à la traction est nettement inférieure à la résistance à la compression, atteignant un cinquième de la résistance, ce qui est cohérent avec les recherches précédentes qui ont prouvé la faible résistance à la traction par rapport à la compression dans le béton bitumineux comme dans le béton hydraulique.

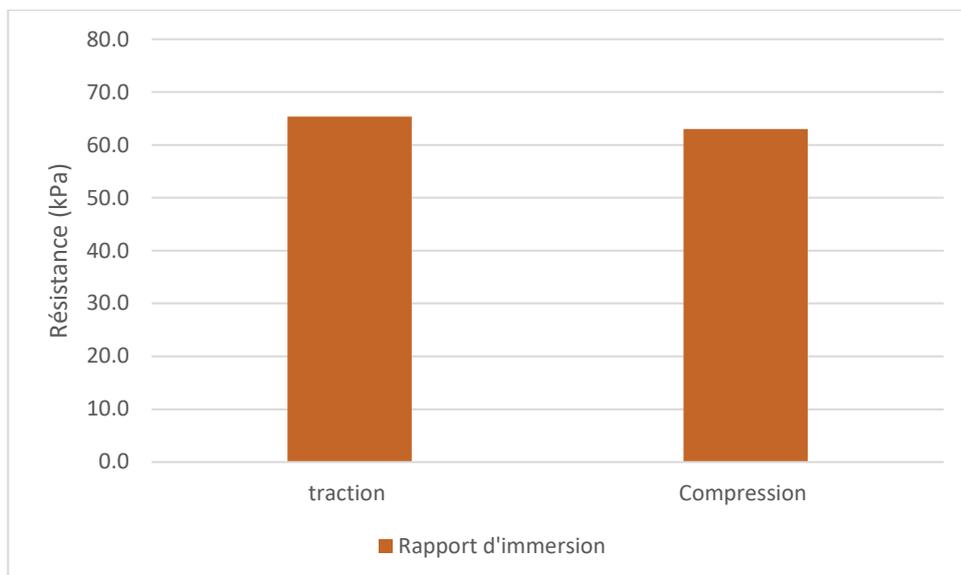


Figure III.2. Histogramme de rapport d'immersion pour les deux méthodes (i/C et ITSR).

Malgré la différence notable dans les valeurs de résistance entre les deux méthodes, il semble que l'effet de l'eau était proche, où la différence ne dépasse pas un pour cent (01%) entre les deux méthodes, et cela peut expliquer pourquoi ils existent comme deux méthodes similaires pour mesurer la sensibilité à l'eau du béton bitumineux dans la série de norme NF EN 12697.

III.5. Conclusion :

Comme conclusion on peut dire que :

- La méthode de préparation était les mêmes dans cette étude ce qui la PCG, ce qui considérer la meilleure méthode de préparation des éprouvettes de l'enrobe grâce à l'effet de pétrissage qui garde la structure granulaire durant le compactage.
- Les résistances à la traction sont inférieure à la résistance de compression des enrobés bitumineux,
- La sensibilité à l'eau dans les deux méthodes est proche à l'autre.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale

Ce travail réalisé, grâce au soutien des responsables du LTP Sud que nous remercions vivement, nous a permis de constater quelques points cela vaut la peine de la noter :

- 1) La méthode étudiée c'est la norme récente de la version 2018, la norme dit que les deux méthodes compression et traction ne donne pas les mêmes résultats de rapport d'immersion.
- 2) Il y'a une grande différence entre les deux méthodes durant quelque étape, parmi eux la phase de désaération de lot humide, la traction utilise une faible pression (6.7 kPa) et temps de désaération est 1 heure en totale, contrairement la compression qui utilise une pression assez élevée (47 kPa) et temps de désaération de 3 heures en totale.
- 3) Une autre différence c'est la vitesse d'écrasement, et aussi la conservation à l'air, la traction conserver ces éprouvettes à une température de $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ et l'autre conserver à 18°C .
- 4) La durée de conservation est aussi différente entre les deux essais, la traction c'est un essai accéléré de 04 jours et la compression c'est un essai qui durée plus long jusqu'à 09 jours.
- 5) La norme lui-même et autre document dis clairement que les deux méthodes nous ne donnons pas le même résultat de rapport d'immersion ($i/C \neq \text{ITSR}$). Nous trouvons l'inverse ($i/C \approx \text{ITSR}$). Ce dernier selon notre explication et différents documents qui parle de ça due au la phase de préparation, la norme donne plusieurs méthodes de préparation (PCG, compactage statique, dame Marshall, compacteur vibratoire et compacteur de plaque) et durant l'ancien étude nous trouvons une différents assez important dans la méthode de préparation sur le rapport d'immersion.
- 6) Nous pensons que nous arrivons à voir le même résultat parce que nous fixons la méthode de préparation et nous gardons les éprouvettes de chaque lot de la même hauteur et même MVA.
- 7) Nous recommandons de fixer la méthode de préparation pour minimiser l'impact sur rapport d'immersion.

Références Bibliographiques :

- [1] Nabil **KEBAILI**, (2017) : « l'asphalte caoutchouc valorisation de la poudrette de **Prato et Coll**, (2011) : « Rating of bituminous mixtures : Wheel trekking tests Campagneo analysais »,
- [2] **CTTP (2001)** : « *Contrôle Technique des Travaux Publics.* », Algérie.**De la Roche (1996)**: « Module de rigidité et comportement en fatigue des enrobés bitumineux »,Ecole Centrale de Paris, France.
- [3] **DJABRI Alla HAMMANA Abdelhalim**, CARACTERISATION DES ENROBES BITUMINEUX RECYCLES,2016.
- [4] Bitume Québec, GUIDE DE BONNES PRATIQUES, La mise en œuvre des enrobés, Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, Novembre 2008.
- [5] M.L. **NGUYNE**, L'action Des Rayonnements Sur Les Enrobés Bitume, 2009.
- [6] **DI BENEDETTO Hervé et CORTÉ Jean** , Matériaux routiers bitumineux 2 : constitution et propriétés thermomécaniques des mélanges,2004.
- [7] **KHENGAOUI Safia**, (2013) : « Valorisation du sable de dunes en couche de roulement sable –bitume », UKM Ouargla, Algérie.
- [8] **Said Laldji**,les enrobés bitumineux,cours ETS enrobés, hiver 2013.
- [9] **Azzouzi kheira**, **étude du comportement des enrobés**, mémoire magister génie civil, université djelfa,2012.
- [10] **NF EN 12697-12**, Mélanges bitumineux, Méthodes d'essai, Partie 12 : Détermination de la sensibilité à l'eau des éprouvettes bitumineuses, Juin 2018.

Liste des normes :

- EN 12697-5, Mélanges bitumineux — Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud —Partie 5 : masse volumique réelle (MVR) des matériaux bitumineux.
- EN 12697-6, Mélanges bitumineux — Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud —Partie 6 : détermination de la masse volumique apparente des éprouvettes bitumineuses.
- EN 12697-7, Mélanges bitumineux — Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud —Partie 7 : détermination de la masse volumique apparente des éprouvettes bitumineuses par les rayons gamma.
- EN 12697-8, Mélanges bitumineux — Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud —Partie 8 : détermination des pourcentages de vides caractéristiques des éprouvettes bitumineuses.

- EN 12697-23, Mélanges bitumineux — Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud —Partie 23 : détermination de la résistance à la traction indirecte des éprouvettes bitumineuses.
- EN 12697-27, Mélanges bitumineux — Méthodes d'essai — Partie 27 : prélèvements d'échantillonnage.
- EN 12697-29, Mélanges bitumineux — Méthode d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud —Partie 29 : détermination des dimensions des éprouvettes d'enrobés hydrocarbonés.
- EN 12697-30, Mélanges bitumineux — Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud —Partie 30 : confection d'éprouvettes par compacteur à impact.
- EN 12697-31, Mélanges bitumineux — Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud —Partie 31 : confection d'éprouvettes à la presse à compactage giratoire.
- EN 12697-32, Mélanges bitumineux — Méthodes d'essai — Partie 32 : compactage en laboratoire de mélanges bitumineux par compacteur vibratoire.
- EN 12697-33, Mélanges bitumineux — Méthodes d'essai — Partie 33 : confection d'éprouvettes au compacteur de plaque.