

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE

FACULTE DE GENIE CIVIL



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de **MAGISTER**

En Génie Civil

Spécialité : GEOTECHNIQUE

PAR

BENSAADA ABDELHALIM

Sujet :

ETUDE DE L'INFLUENCE DE L'ASSOCIATION (EVA-NBR) ET (EVA-DECHET PLASTIQUE ALIMENTAIRE) SUR LE VIEILLISSEMENT A COURT TERME DES BITUMES ET INFLUENCE DE L'ASSOCIATION (EVA-DECHET PLASTIQUE ALIMENTAIRE) SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DES ENROBES BITUMINEUX MODIFIES

Soutenu publiquement, le 21/04/2012, devant le jury composé de :

Mme F. KHARCHI	Professeur, à L'USTHB	Présidente
M. S. HADDADI	Maître de Conférences A à L'USTHB	Directeur de Mémoire
M. H.HOUARI	Professeur, à l'université de Constantine	Examineur
M. M. BELACHIA	Professeur, à l'université de Skikda	Examineur
M. M. OUDJIT	Maître de Conférences A à L'USTHB	Examineur

Remerciements

Tous d'abord, Nous tenons à remercier Dieu clément et miséricordieux de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur le Docteur **HADDADI SMAIL**, Maître de conférences à l'Université des Sciences et de Technologie Houari Boumediène, pour l'élaboration de ce mémoire, ses aides précieuses, conseils, son soutien permanent et pour tous ses efforts.

Je suis très honoré par la présence de Madame **F. KHARCHI**, Professeur à l'Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène, qui a bien voulu présider le jury de ce mémoire.

J'exprime ma gratitude à Monsieur **H. HOUARI**, Professeur à l'Université de Constantine qui m'a encouragé et guidé et qui a accepté d'examiner ce travail.

Je voudrais exprimer mes remerciements à Monsieur **M. BELACHIA**, Professeur à l'Université de Skikda, et à Monsieur **M.N. OUDJIT**, Maître de Conférences à l'Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène, qui m'ont fait l'honneur d'accepter de participer au jury de ce mémoire.

En fin, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, à la concrétisation de ce travail.

Dédicace

A mes très chers parents,
A mes frères,
A mes sœurs,
A toute ma famille,
A tous mes amis,
A tous mes enseignants.

Résumé

L'objectif du présent travail est de déterminer l'influence de la modification des bitumes par le déchet plastique, par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) et par l'association (NBR – EVA) sur le vieillissement des bitumes et sur les propriétés physiques et mécaniques du bitume et des enrobés.

L'étude montre que :

- La modification du bitume avec du déchet plastique et de l'association (déchet plastique - EVA) améliore ses caractéristiques rhéologiques (pénétrabilité, TBA, ductilité, susceptibilité thermique, etc.).
- Les bitumes modifiés par le déchet plastique, par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) et par l'association (NBR – EVA) résistent bien au vieillissement par rapport au bitume pur.

La modification des bitumes améliore le comportement des enrobés bitumineux. Cette amélioration se traduit par :

- Une augmentation de la stabilité, la compacité, et le quotient Marshall,
- Une diminution du fluage Marshall,
- Une augmentation de la résistance à la traction indirect des enrobés bitumineux.

En plus de l'amélioration des caractéristiques des liants bitumineux qui se répercutera sur la durabilité des structures bitumineuses, l'environnement sera ainsi préservé par la valorisation des déchets industriels notamment les emballages et les sacs....

Mots Clés : Bitume, déchet plastique alimentaire, NBR, EVA, vieillissement, Enrobés bitumineux, Marshall, traction indirect.

Abstract

The aim of this work is to determine the influence of the modification of the bitumen with the plastic waste and association of (plastic waste - EVA) and association (NBR - EVA) on the ageing of the bitumen and on the physical and mechanics properties of the bitumen and the bituminous concrete.

The study shows that:

- The modification of the bitumen with plastic waste or association of (plastic waste - EVA) improves its rheological characteristics (penetrability, TBA, ductility, thermal susceptibility, etc).
- Bitumen modified by plastic waste or association of (plastic waste - EVA) or association of (NBR- EVA) improve the ageing behaviour.

The modification of the bitumen improves the behavior of the bitumen binders. This improvement is observed by:

- An increase in stability, compactness and the Marshall quotient,
- A reduction in Marshall flow,
- An increase in the tensile strength indirect of the bitumen binders

Key Words: Bitumen, plastic waste, NBR, EVA, ageing, bitumen Binders, Marshall, strength indirect.

وبالإضافة إلى تحسين خصائص الإسفلت والتي ستؤثر على متانة الهياكل الإسفلتية، فإن البيئة هي المستفيد الثاني من إعادة معالجة النفايات الصناعية غذائيتو بما فيها العلب البلاستيكية المستعملة و الأكياس البلاستيكية.

الكلمات مفتاحية: الزفت، مسحوق البلاستيك، EVA, NBR , شبخوخة الإسفلت، مارشال، الشد الغير مباشر.

Liste Des Figures

Partie I: Etude Bibliographique

Figure I- 1: Section d'un chaussé souple.....	3
Figure I- 2: Schématisation de la structure colloïdale d'un bitume routier.....	5
Figure I- 3: Schématisation des sollicitations induites par le trafic.....	7
Figure I- 4: Stabilité et fluage Marshall (EVA aditif).....	9
Figure I- 5: Quotient Marshall (EVA aditif).....	10
Figure I- 6: Stabilité et fluage Marshall (PEHD aditif).....	10
Figure I- 7: Quotient Marshall (PEHD aditif).....	11
Figure I- 8: Variation de Quotient Marshall en fonction de déchet plastique alimentaire.....	11
Figure I- 9: La résistance a la traction indirecte en fonction de déchet plastique.....	12
Figure I- 10: Variation du taux de gonflement en fonction de la teneur en polymère.....	15
Figure I- 11: Stabilité Marshall de enrobe modifié par SBS.....	16
Figure I- 12: Fluage Marshall de enrobe modifié par SBS.....	16
Figure I- 13: La résistance a la traction indirecte en fonction de SBS.....	17
Figure I- 14: Composantes de la déformation dans l'enrobé bitumineux.....	18
Figure II- 1: Influence du vieillissement sur le comportement rhéologique au fluage d'un liant bitume/SBS.....	21
Figure II- 2: Essai RTFOT (NF T66032).....	22
Figure II- 3 : Essai PAV.....	23

Partie II: Etude Expérimentale Sur Les Bitumes

Figure I- 1 : Variation de la pénétrabilité des bitumes purs en fonction de la température.....	26
Figure II- 1 : Les granulâtes d'EVA FGC/USTHB.....	27
Figure II- 2 : Déchet plastique alimentaire FGC/USTHB.....	28
Figure II- 3 : Le déchet sous forme de poudrette (NBR).....	28
Figure II- 4 : L'association EVA – déchet plastique alimentaire à FGC/USTHB.....	28
Figure III- 1 : Appareillage de modification mis au point à la FGC/USTHB.....	29
Figure III- 2 : Variation de pénétrabilité en fonction de la teneur en déchet plastique.....	31
Figure III- 3 : Variation de la pénétrabilité des liants modifiés avec le bitume pur.....	31
Figure III- 4 : Variation de la température bille et anneau (TBA) en fonction de la teneur en déchet...32	
Figure III- 5 : Variation de la (TBA) des liants modifiés avec le bitume pur.....	33

Figure III- 6 : Variation de ductilité en fonction de la teneur en déchet plastique.....	33
Figure III- 7 : Variation de ductilité des liants modifiés avec le bitume pur.....	34
Figure III- 8 : Variation de pénétrabilité en fonction de la teneur en association (déchet plastique - EVA).....	35
Figure III- 9 : Variation de la pénétrabilité des liants modifiés par l'association (déchet plastique - EVA) avec le bitume pur.....	36
Figure III- 10 : Variation de la température bille et anneau (TBA) en fonction de la teneur en association (déchet plastique- EVA).....	36
Figure III- 11 : Variation de la température bille et anneau (TBA) des liants modifiés par l'association (déchet plastique -EVA) avec le bitume pur.....	37
Figure III- 12 : Variation de ductilité en fonction de la teneur en association (déchet plastique - EVA).....	37
Figure III- 13 : Variation de la ductilité des liants modifiés par l'association (déchet plastique -EVA) avec le bitume pur.....	38
Figure III- 14 : Variation de la pénétrabilité de bitume modifie par déchet plastique en fonction de la température.....	39
Figure III- 15 : Variation de la pénétrabilité de bitume modifie par l'association (déchet plastique - EVA) en fonction de la température.....	40
Figure IV- 1: Evolution de la pénétrabilité au vieillissement des bitumes modifiant par déchet plastique.....	41
Figure IV- 2 : Evolution de la température bille et anneau (TBA) au vieillissement des bitumes modifiant par déchet plastique.....	42
Figure IV- 3 : Evolution de la ductilité au vieillissement des bitumes modifiant par déchet plastique.....	43
Figure IV- 4 : Evolution de la pénétrabilité au vieillissement des bitumes modifiant par l'association (déchet plastique – EVA).....	44
Figure IV- 5 : Evolution de la température bille et anneau (TBA) au vieillissement des bitumes modifiant par l'association (déchet plastique – EVA).....	44
Figure IV- 6 : Evolution de la ductilité au vieillissement des bitumes modifiant par l'association (déchet plastique – EVA).....	45
Figure IV- 7 : Evolution de la pénétrabilité au vieillissement des bitumes modifiant par l'association (NBR – EVA).....	46
Figure IV- 8 : Evolution de la température bille et anneau (TBA) au vieillissement des bitumes modifiant par l'association (NBR – EVA).....	47
Figure IV- 9 : Evolution de la ductilité au vieillissement des bitumes modifiant par l'association (NBR – EVA).....	48

Partie III: Etude Expérimentale Sur Les Enrobés Bitumineux

Figure I- 1 : Courbes granulométriques du squelette granulaire.....	51
Figure II- 1 : Courbe granulométriques du fuseau et du mélange 0/14.....	53
Figure II- 2 : Stabilité Marshall en fonction de la teneur en déchet plastique.....	55
Figure II- 3 : Fluage Marshall en fonction de la teneur en déchet plastique.....	55
Figure II- 4 : Quotient Marshall en fonction de la teneur en déchet plastique.....	56
Figure II- 5 : Variation quotient Marshall en fonction de la teneur en déchet plastique.....	56
Figure II- 6: Compacité Marshall en fonction de la teneur en déchet plastique.....	57
Figure II- 7 : Stabilité Marshall en fonction de la teneur en l'association (déchet plastique +EVA).....	57
Figure II- 8 : Fluage Marshall en fonction de la teneur en association (déchet Plastique +EVA).....	58
Figure II- 9 : Quotient Marshall en fonction de la teneur en association (déchet plastique +EVA)	58
Figure II- 10 : Variation quotient Marshall en fonction de la teneur en association (déchet plastique- EVA).....	59
Figure II- 11 : Compacité Marshall en fonction de la teneur en association déchet plastique +EVA).....	59
Figure II- 12 : Quotient Marshall en de enrobe bitumineux modifie optimal 3% de déchet plastique et 5% d'EVA et BM(2).....	60
Figure II- 13 : La charge maximale de l'essai traction indirecte en fonction de la teneur en déchet plastique.....	61
Figure II- 14 : Déformation de l'essai traction indirecte en fonction de la teneur en déchet plastique .	61
Figure II- 15 : Résistance à la traction indirecte en fonction de la teneur en déchet.....	62
Figure II- 16 : Stabilité de l'essai traction indirecte en fonction de la teneur en association (déchet plastique – EVA).....	62
Figure II- 17 : Fluage de l'essai traction indirecte en fonction de la teneur en association (déchet plastique – EVA).....	63
Figure II- 18 : Résistance à la traction indirecte en fonction de la teneur en association (déchet plastique – EVA).....	63

Liste Des Tableaux

Partie I : Etude Bibliographique

Tableau I-1: Principaux agents modifiants des bitumes.....	8
--	---

Partie II : Etude Expérimentale Sur Les Bitumes

Tableau I- 1 : Caractérisation de bitume et spécification.....	25
Tableau III- 1 : Désignation des liants modifiés par déchet plastique alimentaire.....	30
Tableau III- 2 : Variation de pénétrabilité en fonction de la teneur en déchet plastique.....	30
Tableau III- 3 : Variation de TBA en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire.....	32
Tableau III- 4 : Variation de ductilité fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire.....	33
Tableau III- 5 : Désignation des liants modifie par l'association (déchet plastique-EVA).....	35
Tableau III- 6 : Température de l'essai pour les différentes classes de bitume.....	38
Tableau III- 7 : Indice de pénétrabilité par déchet plastique alimentaire.....	39
Tableau III- 8 : Indice de pénétrabilité de bitume modifie par l'association (déchet plastique-EVA).....	40
Tableau IV- 1 : Evolution de la pénétrabilité au vieillissement des bitumes modifiant par déchet plastique alimentaire.....	41
Tableau IV- 2 : Evolution de la température bille et anneau (TBA) au vieillissement des bitumes modifiant par déchet plastique alimentaire.....	42
Tableau IV- 3 : Evolution de la ductilité au vieillissement des bitumes modifiant par déchet plastique alimentaire.....	43
Tableau IV- 4 : Evolution de la pénétrabilité au vieillissement des bitumes modifiant par l'association (déchet plastique alimentaire – EVA).....	43
Tableau IV- 5 : Evolution de la température bille et anneau (TBA) au vieillissement des bitumes modifiant par l'association (déchet plastique alimentaire-EVA).....	44
Tableau IV- 6 : Evolution de la ductilité au vieillissement des bitumes modifiant par l'association (déchet plastique alimentaire – EVA).....	45
Tableau IV- 7 : Désignation des liants modifié par l'association (NBR - EVA).....	46
Tableau IV- 8 : Evolution de la pénétrabilité au vieillissement des bitumes modifiant par l'association (NBR – EVA).....	46
Tableau IV- 9 : Evolution de la température bille et anneau (TBA) au vieillissement des bitumes modifiant par l'association (NBR – EVA).....	47
Tableau IV- 10 : Evolution de la ductilité au vieillissement des bitumes modifiant par l'association (NBR – EVA).....	47

Partie III : Etude Expérimentale Sur Les Enrobés Bitumineux

Tableau I- 1 : Analyse chimique sommaire des différents types de granulats.....	51
Tableau I- 2 : Caractéristiques des granulats.....	52
Tableau II- 1 : Pourcentages pondéraux des différentes classes.....	53
Tableau II- 2 : Composition de la formule utilisé.....	54

Sommaire

Remerciements

Résumé

Abstract

□ □ □

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

Partie I : Etude bibliographique

I- Les mélanges bitumineux.....	3
I-1 Structure de chaussée.....	3
I- 2 Les enrobés bitumineux.....	4
I-2-1 Les granulats.....	4
I-2-2 Le bitume.....	4
I-2-2-1 Composition chimique du bitume.....	5
I-2-2-2 Structures colloïdales du bitume.....	5
I-3 Teneur en liant.....	5
I-4 Sollicitation des couches en enrobes bitumineux.....	6
I-4-1 Effet du trafic	7
I-4-2 Effet de la température.....	7
I-5 Les procèdes de modification des enrobés bitumineux.....	8
I-5-1 Les différents agents modifiants.....	8
I-5-2 Modification des enrobés bitumineux par voie sèche.....	9
I-5-3 Modification des enrobés bitumineux par voie humide.....	12
I-5-3-1 Les objectifs de la modification des bitumes.....	12
I-5-3-2 Le mécanisme de la modification du bitume.....	12
I-5-3-3 La notion de compatibilité.....	13
I-5-3-4 La Solubilité.....	14
I-5-3-5 La Convenance	15
I-5-3-6 La teneur en polymères.....	16
I-6 Classement des types de comportement des matériaux bitumineux	17
II- Etude du vieillissement des bitumes.....	18
II-1 Biodégradabilité du bitume.....	19
II-2 Définitions du vieillissement	20
II-3 Influence du vieillissement sur le comportement des bitumes.....	20
II-4 Essais de vieillissement accéléré des bitumes.....	21
II-4-1 Essai (RTFOT) Rolling Thin Film Oven Test (NF T 66-032)	21
II-4-2 Autres essais de vieillissement du bitume.....	22
II-4-2-1 L'essai Thin Film Oven Test (TFOT) - EN 12607-2.....	22
II-4-2-2 Essai PAV « Pressure Aging Vessel » (AASHTO PP1).....	24
III- Conclusion de la première partie.....	24

Partie II : Etude expérimentale sur les bitumes

I- Bitume pur	25
I-1 Caractérisation de bitume	25
I-2 Susceptibilité thermique	26
II- Polymère	27
II-1 L'EVA	27
II-2 Le déchet plastique alimentaire	27
II- 3 Poudrette de caoutchouc NBR	27
II- 4 L'association (Déchet Plastique alimentaire – EVA)	28
III- Bitumes modifiés	29
III-1 Fabrication du bitume modifié	29
III-2 Etude expérimentales sur les liants modifiés	30
III-2-1 Etude expérimentales sur les liants modifiés par déchet plastique alimentaire	30
III-2-1-1 Identification de mélange	30
III-2-1-2 Influence du déchet plastique alimentaire sur la pénétrabilité	30
III-2-1-3 Influence du déchet plastique alimentaire sur la température bille et anneau (TBA)	32
III-2-1-4 Influence du déchet plastique alimentaire sur la ductilité	33
III-2-2 Etude expérimentales sur les liants modifiés par l'association (déchet plastique-EVA)	34
III-2-2-1 Identification de mélange	34
III-2-2-2 L'influence de l'association (déchet plastique alimentaire-EVA) sur la pénétrabilité	35
III-2-2-3 L'influence de l'association (déchet plastique alimentaire-EVA) sur TBA	36
III-2-2-4 Influence du l'association (déchet plastique alimentaire-EVA) sur la ductilité	37
III-3 Susceptibilité Thermique	38
III-a) Déchet Plastique alimentaire	39
III-b) L'association (Déchet Plastique alimentaire-EVA)	39
IV- Etude des bitumes modifiant au vieillissement	40
IV-1 Déchet plastique alimentaire	41
IV-2 L'association (déchet plastique alimentaire-EVA)	43
IV- 3 L'association (NBR – EVA)	45
IIV- Conclusion de la deuxième partie	48

Partie III : Etude expérimentale sur les enrobés bitumineux

I - Etude des granulats	50
I-1- Origine des granulats	50
I-2- Analyse chimique	50
I-3 Analyse granulométrique	51
I-4 Les caractéristiques intrinsèques	52
II- Enrobés bitumineux	52
II-1 Formulation de l'enrobé	52
II-1-1 Courbe granulométrique du mélange	52

II-1-2 Détermination de la teneur optimale en liant.....	53
II-2 Les essais sur l'enrobé bitumineux.....	54
II-2-1 Essai Marshall.....	54
II-2-1-1 essai Marshall sur enrobé à base de bitume modifié par déchet plastique alimentaire.....	54
a) Stabilité Marshall « SM » et fluage Marshall « FM ».....	54
b) Quotient Marshall « QM ».....	55
c) Les compacités.....	55
II-2-1-2 Essai Marshall sur enrobé à base de bitume modifié par l'association (déchet plastique- EVA)	57
a) Stabilité Marshall « SM » et fluage Marshall « FM ».....	57
b) Quotient Marshall « QM ».....	58
c) Les compacités.....	59
II-2-1-3 Quotient Marshall des enrobés bitumineux modifiés optimum (3% de déchet plastique alimentaire et 5% d'EVA et le mélange M(2)).....	60
II-2-2 Essai de traction indirecte (NF EN12697-23).....	60
II-2-2-1 Essai de traction indirecte sur les enrobés à base de bitume modifié par déchet plastique.....	61
a) La charge maximale et la déformation de l'essai de traction indirect.....	61
b) La résistance à la traction indirecte.....	61
II-2-2-2 Essai de traction indirecte sur les enrobés à base de bitume modifié par l'association (déchet plastique alimentaire-EVA).....	62
a) La charge maximale et la déformation De L'essai Traction de traction indirect.....	62
b) La résistance à la traction indirecte.....	63
III- Conclusion de la troisième partie.....	64
Conclusion générale.....	65
Référence bibliographique	

Introduction générale

Introduction générale

La durabilité et les performances des chaussées dépendent principalement des matériaux dont les caractéristiques ne sont pas constantes, mais évoluent avec le temps comme toutes autres substances organiques. Ils sont soumis à des changements notables dus aux conditions environnementales durant leurs différentes phases d'utilisation.

Les bitumes sont soumis, en effet à des phénomènes de vieillissement qui entraînent des modifications de leurs paramètres mécaniques et rhéologiques et de leur structure chimique.

Dans le but de prédire l'évolution de leurs propriétés, in situ, aussi précisément que possible, deux types de tests de vieillissement sont exploités par les professionnels : RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) dans lequel la haute température à laquelle est soumis l'échantillon, reproduit le processus d'oxydation à court terme avec une perte des éléments volatils comme cela est observé dans les phases initiales d'enrobage, et le PAV (Pressure Ageing Vessel) qui simule alors le vieillissement à long terme englobant différents facteurs comme la nature du bitume, les conditions climatiques...

Ce vieillissement des bitumes, fait perdre aux revêtements bitumineux leur flexibilité, engendre une augmentation de la rigidité de l'enrobé et provoque la dégradation de l'enrobé lui-même causée par le phénomène de fatigue structurale. Ce phénomène est du essentiellement à des mécanismes suivants :

- La volatilisation (évaporation) des huiles présentes dans le bitume à cause des températures élevées au cours de la fabrication des enrobés bitumineux;
- La dégradation de certaines huiles par l'effet de la lumière (la photo dégradation) ;
- L'oxydation produite par les réactions avec l'oxygène de l'air ambiant ;

Outre les matériaux routiers, il est bien connu que de nombreux autres facteurs (climat, fatigue de l'enrobé dû au trafic, qualité du bitume, formulation du complexe bitumineux) conditionnent la durée de vie des chaussées. Les chaussées sont souvent affectées par des désordres de fissurations, arrachements,... qui sont en partie liés aux effets du vieillissement du bitume, qui selon sa nature, va plus ou moins durcir avec le temps.

Devant l'intérêt croissant d'améliorer la durabilité des chaussées, il est nécessaire de connaître les phénomènes qui engendrent les évolutions du comportement des liants et leurs effets sur les performances mécaniques des bétons bitumineux.

Le développement des liants bitumineux nécessite une étude approfondie des propriétés rhéologiques, adhésives et cohésives; propriétés qui influencent directement le comportement et la durabilité des revêtements [Olg1998].

Pour réduire la portée de ces phénomènes, diverses techniques ont été entreprises; parmi lesquelles, la modification des liants avec des polymères s'avère une technique prometteuse. Cette opération permet d'améliorer les performances des liants bitumineux et de réduire la fréquence de réparation des routes.

La modification des bitumes peut-être réalisée par les procédés de raffinage (oxydation, dés asphaltage, soufflage) ou par ajouts d'additifs (polymères, pneus recyclés, produits chimiques et autres). L'utilisation industrielle routière de bitumes modifiés par des copolymères thermoplastiques comme les élastomères tel que le styrène butadiène- styrène (SBS) ou les

plastomères tel que l'éthylène acétate de vinyle (EVA) dans les enrobés spéciaux remonte au début des années 70.

La modification des bitumes par adjonction de polyéthylène a fait l'objet de plusieurs études. Ces études ont révélé que l'addition du poly éthylène améliore la plasticité des bitumes, augmente leur cohésivité et leur adhésivité et diminue leur susceptibilité thermique.

La présente étude essaye de présenter les premiers résultats d'une recherche Bibliographiques et d'une étude de laboratoire menée à la faculté de génie civil à USTHB (Algérie) pour éclaircir l'effet de vieillissement sur:

- La pénétrabilité, la TBA et la ductilité des bitumes ;
- La cohésion du bitume,
- la stabilité,...

Notre travail « étude de l'influence de l'association (EVA-NBR) et (EVA- déchet plastique alimentaire) sur le vieillissement à court terme des bitumes et influence de l'association (EVA- déchet plastique alimentaire) sur le comportement mécanique des enrobés bitumineux modifiés », est alors un début de recherche, espérant qu'il permettra de dégager des conclusions intéressantes.

Ce travail fait suite à une étude déjà réalisée concernant l'association (EVA-NBR). Cette étude s'est limitée à suivre l'évolution de la pénétrabilité, la TBA et la ductilité. Ce présent travail concerne l'évolution après RTFOT de l'association (EVA-NBR) et (EVA- Déchet plastique alimentaire) des bitumes et des bitumes modifiés ainsi que l'évolution des caractéristiques mécaniques à travers les essais Marshall et de traction indirecte des enrobés bitumineux modifiés. L'objectif de cette étude est de formuler des enrobés bitumineux modifiés à partir des produits locaux pour améliorer la durabilité et les performances par des nouveaux matériaux.

Trois parties essentielles composent cette mémoire

Après avoir fait le point de la connaissance actuelle sur les bitumes et les bitumes modifiés, une deuxième partie expérimentale importante du travail est consacrée à l'étude, juste après fabrication. Des propriétés classiques et mécaniques des liants modifiés, élaborés au laboratoire par mélange physique, par ajout d'un déchet plastique alimentaire ou l'association (déchet plastique alimentaire- EVA) ou association (NBR – EVA) et son influence sur le vieillissement et le comportement des bitumes ;

Cependant, la fabrication du liant n'est qu'une première étape de la mise en œuvre des enrobés ; il convient alors de s'interroger sur les propriétés réelles des enrobés préparés à partir de ces liants, il nous a semblé indispensable d'étudier dans la troisième partie expérimentale l'influence des bitumes modifiés sur les caractéristiques mécaniques des enrobés bitumineux par le biais des essais mécaniques.

Au terme de ce travail, des conclusions ont été établies quant à l'effet des polymères cités ci-dessus sur les caractéristiques du bitume et des enrobés bitumineux.

Partie I :

Etude bibliographique

Etude bibliographique

Dans cette partie nous allons présenter quelques généralités sur les enrobés bitumineux, les liants hydrocarbonés et les polymères. Ainsi que quelques travaux de recherches sur le vieillissement des bitumes, et des enrobés bitumineux.

I- Les mélanges bitumineux

Les chaussées bitumineuses, sous l'effet conjugué du trafic en poids lourds croissant et d'une température élevée, subissent des dégradations de type déformation.

La résistance aux déformations permanentes est un paramètre important qui rentre dans la conception des mélanges bitumineux appelé « stabilité », et il se définit comme étant l'aptitude d'un mélange bitumineux à résister aux déformations permanentes excessives sous l'effet des facteurs suivants :

- La charge : importance, fréquence, et vitesse d'application des charges,
- La température : importance et gradient thermique,
- Les granulats : type, forme et dimension,
- Le liant : type et teneur, et la qualité de la mise en œuvre.

I- 1 Structure de chaussée

Les chaussées souples sont largement utilisées dans le monde [Sim 2001]. Le corps de la chaussée souple est constitué de trois types de couches : la couche de surface, la couche d'assise et la couche de plate-forme support. La couche de surface est composée d'une couche de roulement et d'une couche de base de enrobé bitumineux. La couche d'assise peut comporter une couche de fondation (sub-base) et une couche de base (figure I-1).

Les chaussées peuvent être classifiées selon l'importance du trafic dans les catégories Suivantes [Gid 2001]: les chaussées souples pour les trafics faibles ; les chaussées bitumineuses épaisses, pour des trafics importants; les chaussées semi-rigides (couches d'assise traitées aux liants hydrauliques ou carbonique) pour des trafics très élevés.

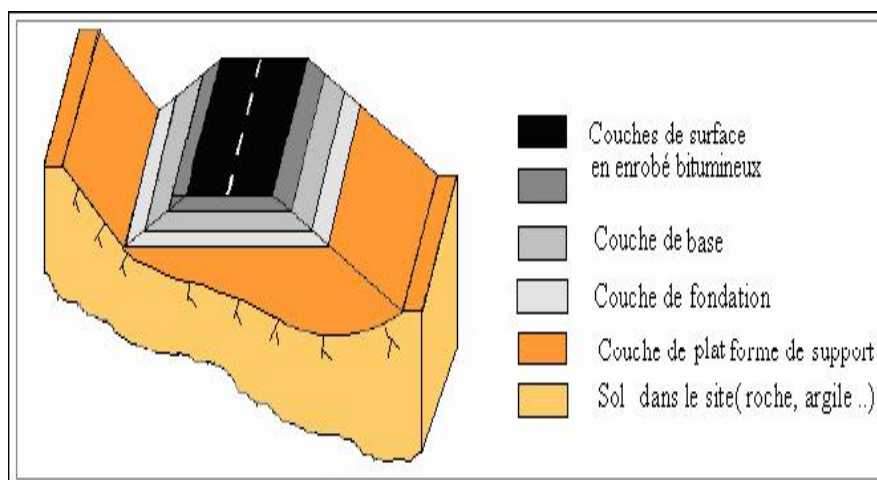


Figure I-1: Section d'un chaussé souple

I- 2 Les enrobés bitumineux

L'enrobé bitumineux est un mélange de granulats minéraux et de liant hydrocarboné (bitume pur) dosé dans des proportions convenables. C'est aussi un corps hétérogène auquel le bitume confère un caractère visqueux, alors que sa partie minérale est responsable de sa résistance.

Un enrobé bitumineux est défini comme un mélange de liant bitumineux (5 à 7 % en masse), d'agrégats et de fines (passant à 80 μm). L'obtention des enrobés par mélange des granulats et du bitume fait appel à des propriétés bien spécifiques aux liants hydrocarbonés en général et donc au bitume en particulier :

- un pouvoir d'adhésion aux granulats,
- une consistance variable avec la température.

Dans leur domaine d'utilisation, les enrobés présentent des caractéristiques mécaniques variables selon leur sollicitation par le climat et le trafic routier.

Les mélanges hydrocarbonés sont constitués de deux matériaux :

- Les granulats qui constituent le squelette minéral ;
- Le bitume qui a pour rôle d'assurer la liaison entre ces derniers,

I-2-1 Les granulats

Les granulats représentent près de 95 % d'un enrobé bitumineux. Il est donc important de bien les caractériser afin de faire un choix optimal lors de la formulation et de la fabrication d'un enrobé performant.

On distingue deux catégories de granulats :

- Naturels, lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives, extraites in situ, et qu'ils ne subissent aucun traitement autre que mécanique,
- Artificiels, lorsqu'ils proviennent soit de la transformation thermique de roches, minerais et déchets, soit de la démolition d'ouvrages divers.

I-2-2 Le bitume

Le bitume représente près de 5 % d'un enrobé bitumineux. Le bitume est un hydrocarboné complexe. Les caractéristiques physiques sont influencées par la source de pétrole brut, le procédé de fabrication, sa composition moléculaire et sa sensibilité à la température. Un liant hydrocarboné est un matériau thermoplastique, c'est-à-dire un matériau qui conserve ses propriétés après chauffage, et dont la consistance varie avec la température. D'autre part, une propriété fondamentale exigée d'un liant hydrocarboné est son pouvoir adhérent à la majorité des matériaux usuels : pierre, béton, bois, métal, verre. Il est insoluble dans l'eau, mais soluble dans de nombreux solvants organiques [She1991].

Concernant les principaux modes de fabrication des bitumes on cite :

- La distillation en raffinerie des pétroles bruts,
- Le soufflage,
- Le dé asphaltage,

- Le craquage.

I-2-2-1 Composition chimique du bitume

Le bitume est constitué des composés insolubles dans le n-heptane appelés « asphaltes » (représentant j'us qu'à 20% en masse pour les bitumes routiers), et des composés solubles dans le n-heptane appelés « maltènes » regroupement trois espèces chimique (saturés, aromatiques et résines), les bitumes sont constitués de quatre famille principales connues sous l'appellation de fraction SARA (saturés, aromatiques, résines et asphaltes) [She1991].

I-2-2-2 Structures colloïdales du bitume

Le bitume se présente sous l'aspect d'un système colloïdal dans lequel les « asphaltes » peptisés par les « résines » constituent les micelles, tandis que les huiles représentant la phase inter micellaire [Seb 2007].

Storm et collaborateurs ont proposé que l'épaisseur de la couche des résines autour des particules d'asphaltes évolue avec la température [Les 2002].

La schématisation de la structure colloïdale d'un bitume routier est représentée dans la figure I-2:

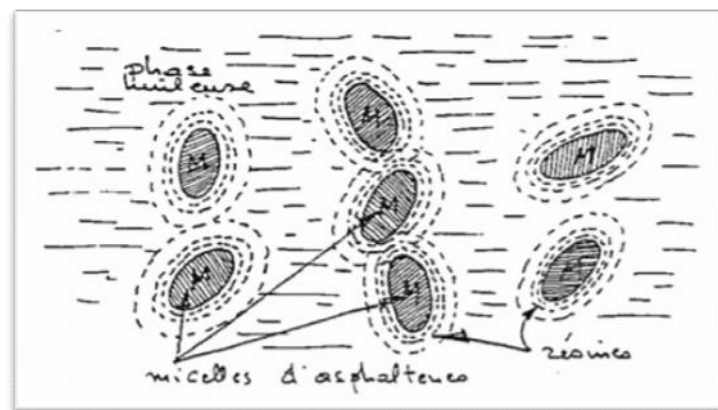


Figure I-2: Schématisation de la structure colloïdale d'un bitume routier

L'école SOVIETIQUE et notamment KOLBANVSKAJA définissent à la température ordinaire trois types structuraux du bitume associés à trois familles de composition [Hak 2001] :

- Structure de type I « état élastoplastique »,
- Structure de type II « état visqueux »,
- Structure de type III « état viscoplastique ».

I-3 Teneur en liant

Dans un mélange bitumineux, la teneur en liant et les caractéristiques du liant sont des paramètres cruciaux qui déterminent les performances d'un enrobé bitumineux. C'est pourquoi des exigences sur le liant sont fixées dans le cahier des charges.

Tant pour la teneur en liant que pour ses caractéristiques, des tolérances sont à respecter. La teneur en liant est vérifiée lors de la production de l'enrobé et sur des carottes prises à la réception du chantier tandis que les caractéristiques du liant sont contrôlées lors de sa production en raffinerie et parfois lors de la réception.

Le liant bitumineux transmet naturellement son comportement viscoélastique à l'enrobé. Il faut donc définir une teneur en liant optimale afin d'assurer la cohésion du mélange et le bon enrobage de tous les grains du mélange par un film mince de bitume, et ce, tout en évitant des problèmes de fluage et d'orniérage trop prononcés à haute température (dans le cas d'une trop forte teneur en bitume).

Pour déterminer cette teneur en liant optimale, on introduit la notion de surface spécifique des granulats, notée Σ et exprimée en m^2/kg , c'est-à-dire la surface développée qu'auraient les granulats assimilés à des sphères.

Pour un mélange granulométrique donné, la formule suivante permet d'avoir une approximation de la surface spécifique Σ [Dur 1962] :

$$100 \Sigma = 0,17 G + 0,33g + 2,3 S + 12s + 135f$$

Avec:

G : pourcentage de gros gravillons ($\phi > 11$).

g : pourcentage de petits gravillons ($\phi < 6/11$).

S : pourcentage de gros sable ($\phi ! 0,3/6$).

s : pourcentage de sable fin ($\phi 0,08/0,3$).

f : pourcentage de filler ($\phi ! 0,08$).

On voit que le pourcentage de filler est prépondérant en ce qui concerne la surface spécifique et donc la teneur en liant. Dans certains cas, on utilise la formule simplifiée suivante :

$$\Sigma = 2,5 + 1,3f$$

La teneur en liant optimale, fonction de la surface spécifique des granulats, est donnée par la formule expérimentale suivante :

$$P = \alpha k \sqrt{\Sigma}$$

Avec :

p : teneur en liant (%).

α : facteur dépendant du type de granulats (2,65/masse volumique des granulats).

Σ : surface spécifique des granulats (m^2/kg).

k : module de richesse (k variant de 2,75 pour les enrobés donnant le maximum de résistance à la déformation, à 3,5 pour les enrobés les plus souples).

I-4 Sollicitation des couches en enrobes bitumineux [Dan 2006]

Les principales sollicitations externes imposées sur les enrobes bitumineux sont les chargements mécaniques dus aux trafics et les sollicitations climatiques. Sous ces

sollicitations, des phénomènes complexes, couplant mécanique, thermique, physique et chimie se produisent.

I-4-1 Effet du trafic

L'effet du trafic est issu du passage des véhicules qui imposent un chargement sur la surface de la chaussée sous forme de chargements surfaciques répétés. Les amplitudes de chargement sont faibles, produisant des déformations de l'ordre de 10^{-3} . Le calcul des efforts et des déformations, effectuées par un modèle multicouche élastique linéaire isotrope, donne une bonne approximation des modes de fonctionnement de chaque couche suivant sa position en profondeur dans la structure figure I-3 :

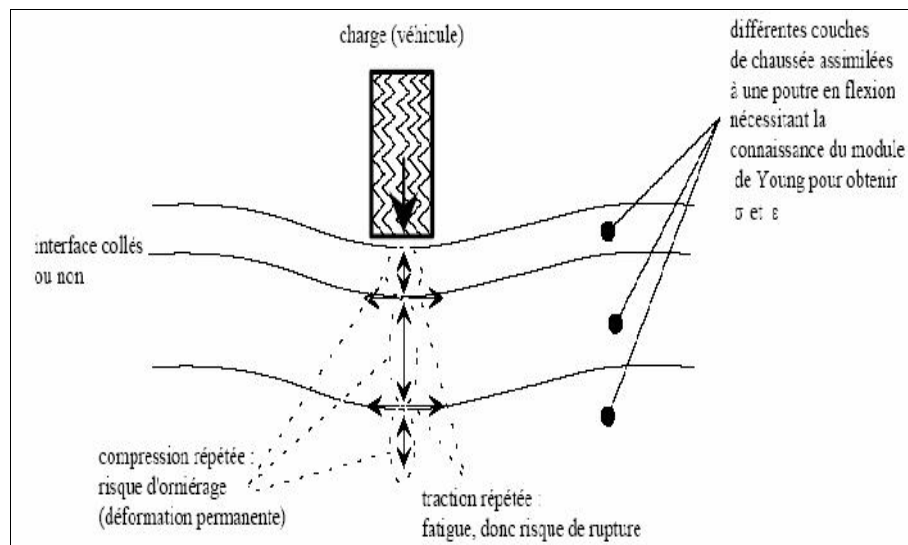


Figure I-3: Schématisation des sollicitations induites par le trafic [Dan 2006]

Sous les sollicitations cycliques du trafic, la base des couches structurales subit une traction répétée qui peut créer des micros dégradations et entraîner la ruine des couches. Ce phénomène de fatigue peut entraîner des fissures au travers de la chaussée. Dans le même temps, la partie supérieure de chaque couche est soumise aux efforts de compression répétée qui peuvent entraîner des déformations permanentes induisant un orniérage à la surface de la chaussée.

I-4-2 Effet de la température

Outre les chargements mécaniques, les chaussées subissent des chargements consécutifs aux variations de la température. Ces variations thermiques entraînent des changements de la rigidité du mélange : à température basse le mélange bitumineux est rigide et fragile tandis qu'à haute température la rigidité du mélange chute et que sa ductilité augmente. D'autre part, le changement de température peut entraîner des contraintes et des déformations au sein des matériaux en raison des contractions-dilatations thermiques. Ce phénomène est particulièrement important : il peut provoquer des fissures dues aux cycles thermiques à basses températures ou des dégradations aux interfaces entre des couches.

I-5 Les procédés de modification des enrobés bitumineux

L'obtention des enrobés bitumineux par mélange des granulats et du bitume fait appel à des propriétés bien spécifiques aux liants hydrocarbonés en général et donc au bitume en particulier :

- un pouvoir d'adhésion aux granulats ;
- une consistance variable avec la température.

La modification des enrobés bitumineuse avec des polymères compatibles peut s'avérer bénéfique. La modification des enrobés peut-être réalisée par deux procédés (par voie sèche et par voie humide).

I-5-1 Les différents agents modifiants

Les polymères thermoplastiques constituent la famille d'agents modifiants chimiques la plus utilisée pour la modification des bitumes.

Ils sont subdivisés en deux familles : les élastomères et les plastomères qui se distinguent, aux températures d'usage, par des comportements différents du point de vue, en particulier, de leur rigidité, de leur déformabilité et de leur résilience.

Pour les plastomères, la déformation élastique s'accompagne d'une déformation permanente qui peut être relativement importante.

Une liste des principaux agents modifiants du bitume employés en technique routière classés par catégorie est donnée dans le tableau I- 1 :

Tableau I-1 : Principaux agents modifiants des bitumes

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

NBR	Acrylonitrile butadiène rubber
-----	--------------------------------

D'autres additifs ont montré leur apport plus ou moins bénéfique sur le comportement rhéologique des bitumes, il s'agit en l'occurrence de la lignine, le noir de carbone, le soufre et la résine époxyde.

I-5-2 Modification des enrobés bitumineux par voie sèche

Cette procède permet de modifié l'enrobé bitumineux par ajouts des additifs (polymère, pneus recyclés, produits chimiques et autre) par la méthode sèche, elle consiste à injecter l'additif directement dans le malaxeur en même temps que le bitume et les granulats. L'enrobé est fabrique selon les proportions de l'étude de formulation en granulats et en bitume, la quantité de l'additif est choisie comme un pourcentage en poids du squelette granulaire.

Saoula [Sao 2010] a étudié la modification de enrobé bitumineux par voie sèche, Ils sont utilisés pour la fabrication de ce béton bitumineux un bitume de classe 80/100.

a) Modification à l'EVA (Procédé sec)

L'EVA est introduit en même temps que le bitume dans le malaxeur durant l'étape de la fabrication de l'enrobé à des teneurs de 5, 7 et 10 %. Les stabilités et les fluages obtenus sont représentés sur la (figure I-4) :

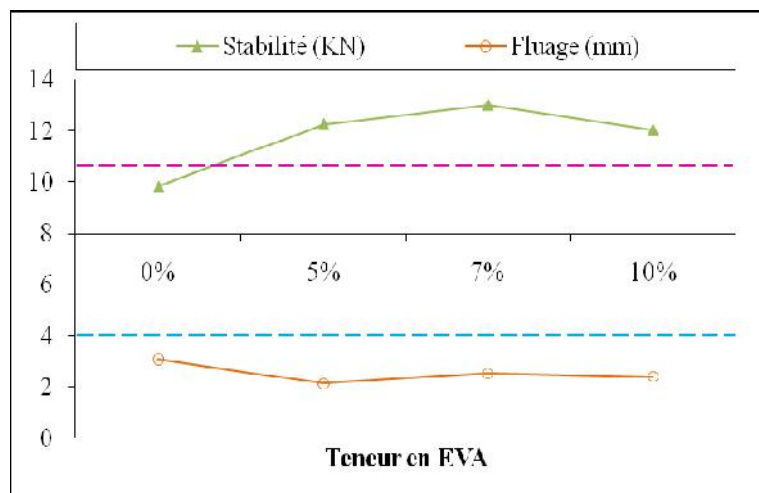


Figure I-4 : Stabilité et fluage Marshall (EVA additif)

L'examen de la figure montre une amélioration de la stabilité et du fluage des d'enrobés modifiés quelque soit la teneur d'EVA. En effet on enregistre une augmentation de la stabilité de l'ordre de 22 jusqu'à 32% par rapport à la formule pur. Par ailleurs, on note que pour ces formules le fluage diminue considérablement (entre 18 et 31%) par rapport à la l'enrobé témoin.

Par cette augmentation de la stabilité et la diminution du fluage, les enrobés modifiés par l'EVA additif atteignent des résistances très satisfaisantes. Ceci est confirmé par le calcul du

quotient Marshall (figure I-5) où la résistance initiale est améliorée respectivement de 86, 65 et 61% par les formules à 5, 7 et 10% d'EVA.

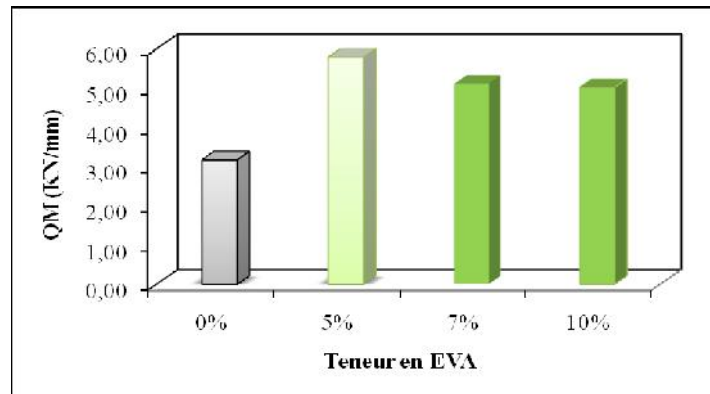


Figure I-5: Quotient Marshall (EVA additif)

L'action de l'EVA comme agent additif peut se traduire par un effet bloquant provoqué par les EVA thermoformés lors du compactage pour remplir les vides du squelette granulométrique rendant ainsi l'enrobé moins sensible aux déformations par fluage. En effet, la mise en contact de l'EVA avec le bitume et les granulats chauffés à une température de 180°C entraîne sa fusion et sa bonne dispersion dans l'enrobé.

b) Modification a l'PEHD (Procédé sec)

La variation des caractéristiques Marshall en fonction de la teneur en PEHD est donnée sur la figure I-6. Bien que la stabilité augmente pour toutes les formules, le fluage quant à lui n'est amélioré que par l'enrobé à 6% à raison de 1% par rapport à l'enrobé pur. La formule à 10% de PEHD présente un fluage médiocre augmentant de 97%.

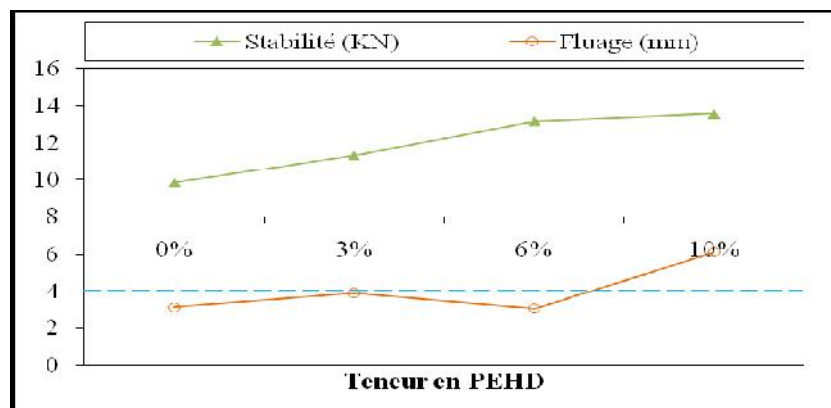


Figure I-6 : Stabilité et fluage Marshall (PEHD)

Par l'ajout du PEHD, on obtient une seule bonne formule (celle à 6%) assurant une résistance meilleure que celle de l'enrobé témoin (à raison de 39%) comme le montre la figure I-7. Dans ce cas, le PEHD a un effet bloquant des granulats les uns par rapport aux autres et il diminue la susceptibilité thermique de l'ensemble.

Les faibles performances obtenues pour le mélange à forte teneur en PEHD (10%) sont dues au fait que le polyéthylène haute densité, à fortes teneurs, conduit à un durcissement et à un

retrait excessif en phase de refroidissement. Par ailleurs, il a été montré que le caractère viscoélastique de tels enrobés peut être assuré par l'addition d'élastomère de type SBS.

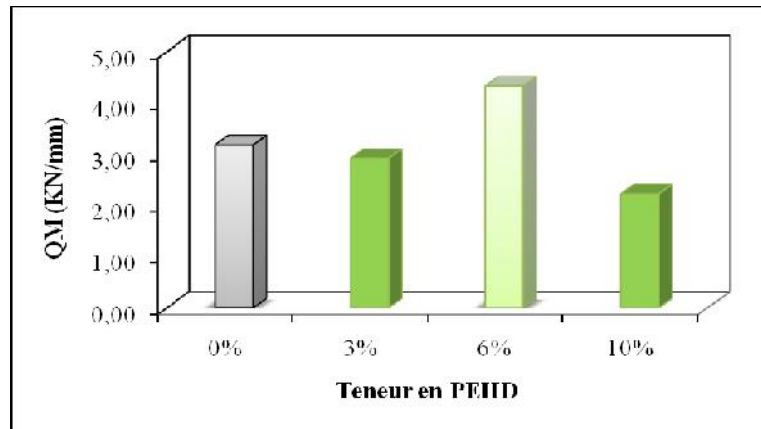


Figure I-7 : Quotient Marshall (PEHD)

Guessabi [Gue 2011] a étudié la modification des enrobés bitumineux par voie sèche. Il a utilisé pour la fabrication de ce béton bitumineux un bitume de classe 35/50. Le déchet plastique alimentaire est introduit en même temps que le bitume dans le malaxeur durant l'étape de la fabrication de l'enrobé à des teneurs allant de 0,2 à 1% (voire la figure I-8).

La variation du quotient Marshall en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire est représentée sur la figure I-8 :

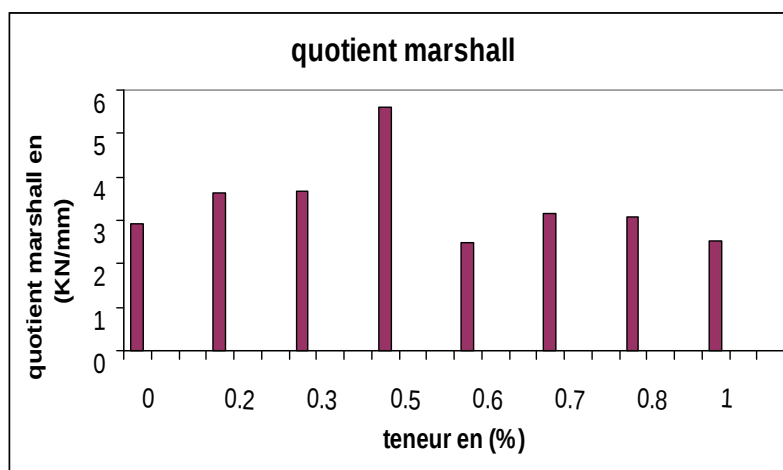


Figure I-8 : Variation du quotient Marshall en fonction de la teneur en déchet plastique

Il conclut que :

A 30 min : le quotient Marshall est minimum pour les teneurs 0.0% 0.8%,1% puis augmente à 0.5 %, et 0.7 %, Donc les enrobés bitumineux modifiés à 0.5 % et 0.7 % sont les plus résistants aux déformations permanentes.

La figure I-9 représente la résistance à la traction indirecte ITS en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire :

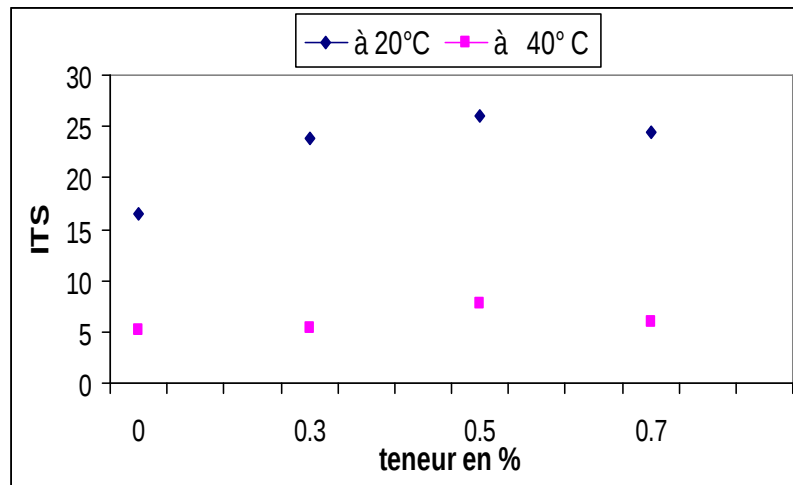


Figure I-9: La résistance a la traction indirecte en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire

Le béton bitumineux modifié à 0.5 % donne la meilleure résistance à la traction indirecte, à 20°C et 40°C.

I-5-3 Modification des enrobés bitumineux par voie humide

Dans ce procédé on modifie le bitume. Il s'agit des liants bitumineux dont les propriétés ont été modifiées par emploi d'un agent chimique qui, introduit dans le bitume de base et mélange à haute température entre (150°C et 200°C), en modifie la structure chimique et/ou les propriétés physiques et mécaniques.

Il s'agit de liants préfabriqués soit dans une usine séparée du lieu d'utilisation, soit immédiatement avant l'emploi par une unité mobile spécialisée. Le liant ainsi modifié peut être caractérisé en tant que tel séparément du mélange bitumineux.

I-5-3-1 Les objectifs de la modification des bitumes

Les modifications apportées visent à améliorer plusieurs caractéristiques des bitumes et ainsi s'approcher, le plus possible, du liant "idéal"[Ruo 1999] on peut citer:

- Un accroissement de l'adhésivité aux granulats ;
- Une diminution de sa susceptibilité thermique ;
- Un élargissement de son intervalle de plasticité ;
- Un comportement élastométrique assurant une bonne déformabilité ;
- L'amélioration de son comportement élastique c.-à-d. de la réversibilité des déformations ;
- Donne une bonne résistance au vieillissement à l'enrobage, puis en place.

I-5-3-2 Le mécanisme de la modification du bitume

Différentes procédures ont été développées pour produire les bitume-polymères. Les principaux facteurs influençant le taux de dispersion des polymères dans la matrice bitumineuse sont les dimensions des particules de polymère, la température et le cisaillement appliqué aux mélanges.

La température de mélange est généralement comprise entre 150°C et 200°C ou plus. La durée de malaxage varie de quelques minutes à quelques heures. La durée optimale de malaxage est atteinte quand les propriétés désirées du bitume-polymère, telles que le point de ramollissement, la pénétration et la viscosité deviennent constantes. Les liants modifiés par des polymères (BMP) ne sont pas produits dans les raffineries à l'aide de moyens spéciaux, mais par des compagnies spécialisées dans la construction des routes [Mal 1982].

La modification des propriétés des bitumes par l'addition de polymère est souvent expliquée par le gonflement du polymère par les huiles du bitume. Pour qu'un polymère soit utilisable dans la modification d'un bitume, il doit être au moins gonflable, éventuellement soluble, dans les fractions hydrocarbonées de faibles masses moléculaires du liant [Brû 1986]. Cela induit qu'un liant bitume-polymère peut être considéré comme un système à deux phases [Don 1991] :

- une phase polymère gonflé par les huiles ;
- une phase bitume plus riche en résines et en asphaltènes (ceux-ci n'intervenant pas dans la solvation) que le bitume de base.

Ceci permet une augmentation de la viscosité et le développement du caractère « GEL » du liant. Le polymère gonflé rend donc, même à faible teneur, le bitume plus élastique et plus résistant à l'écoulement. L'augmentation progressive de la teneur en polymère conduit, au-delà d'une concentration critique, à des liants pour lesquels la phase polymère devient la phase continue. Cette transition s'accompagne d'une modification importante des propriétés physiques du système qui tendent alors vers celles du polymère. L'inversion est observée vers 4 à 6% de polymère [Brû 1986a]. La dispersion du polymère dans le bitume est également expliquée en tenant compte de trois paramètres influant [Kra 1980] :

- La taille des particules : plus elles sont petites, plus la surface d'échange est importante et plus grande est la vitesse de diffusion du bitume dans les particules (étapes 1 et 2) ;
- Le cisaillement : malgré le gonflement, les molécules deviennent d'autant plus mobiles (étapes 3 et 4) qu'elles ont été rompues ;

La température : la vitesse de diffusion du bitume dans les particules de polymère augmente avec la température et modifie le moment où le cisaillement devient efficace.

I-5-3-3 La notion de compatibilité

Comme précisé en introduction, le choix de polymères pour modifier les bitumes est restreint à quelques familles chimiques, essentiellement les plastomères et les élastomères [Ass 1999]. 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 [Lav 1973] :

- 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.

La compatibilité peut en effet être définie de deux façons [Rou 1999]:

- **En terme thermodynamique** la compatibilité se définit comme une situation où le bitume et le polymère forment une seule phase. Nous nous référerons à cette définition de la compatibilité en parlant de solubilité d'un polymère dans le bitume est qu'il n'y aura pas de séparation de phases et qu'un tel mélange peut être stocké sans agitation.

- **En terme pratique** la compatibilité se définit comme une situation où le bitume et le Polymère peut se combiner pour former un produit dont les propriétés se trouvent améliorées et où ce mélange peut être manipulé sans précautions excessives. Nous considérons alors que la compatibilité a le sens de convenance. L'implication pratique pour un tel mélange bitume/polymère est qu'il peut y avoir séparation de phase si le mélange est stocké sans agitation.

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.

I-5-3-4 La Solubilité

La solubilité des polymères dans les bitumes dépend de nombreux paramètres dont les plus importants sont :

- la différence des paramètres de solubilité du polymère et de la fraction « maltènes » du bitume ;
- la quantité et le type des asphaltènes présents dans le bitume.

Ceci est cohérent avec l'explication du rôle de solvant attribué à la fraction « maltènes » du bitume vis-à-vis du polymère et avec le fait que les asphaltènes se trouvent en compétition avec le polymère pour rester en solution.

I-5-3-5 La Convenance

Qualifier d'incompatibilité un bitume qui ne conduirait pas à un mélange à une seule phase impliquerait trop rapidement que ces bitumes ne sont pas adaptés pour être modifiés par des polymères. L'appréciation de compatibilité est en partie attachée aux performances du produit, mais principalement à des problèmes pratiques.

Les mélanges de bitume et d'élastomères du type styrène-butadiène-styrène (SBS) ou de plastomères de type éthyle-vinyle-acétate (EVA) sont à l'échelle de la microstructure, des systèmes à deux phases qui sont composées [Had 1998] :

- d'une phase riche en polymère qui contient le polymère et une partie des maltènes du bitume absorbée par le polymère ;

- d'une phase riche en asphaltènes contenant tous les constituants du bitume qui n'ont pas été absorbés par le polymère, en particulier les asphaltènes.

Concernant le volume des deux phases : les polymères tels que SBS et EVA peuvent absorber des constituants du bitume jusqu'à environ 9 fois leur volume, mais cette capacité d'absorption décroît avec l'augmentation de la concentration figure I-10:

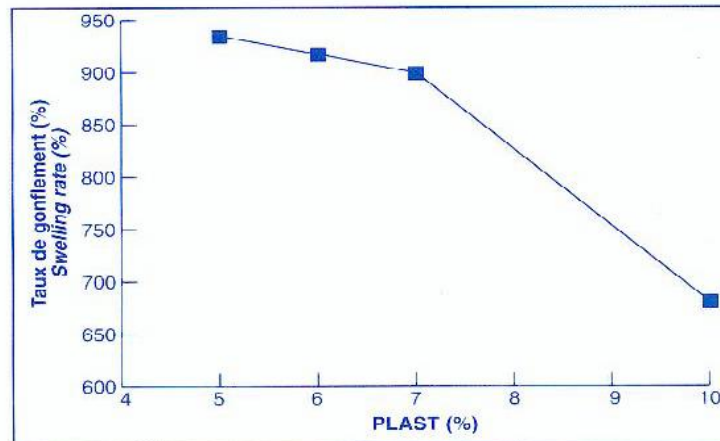


Figure I-10: Variation du taux de gonflement en fonction de la teneur en polymère

[Rou 1999]

I-5-3-6 La teneur en polymères

L'augmentation progressive de la teneur en polymérie conduit à une phase polymère continue, cette transition s'accompagne d'une modification importante de la propriété physique qui tend vers celle du polymère. Cette inversion est observée lors de dépassement de la concentration critique qui est comprise entre 4 à 6% de polymère [Bru 1986].

Haddadi [Had 2007] a étudié l'influence d'un polymère (déchet industriel de type NBR sous forme de poudrette) sur le bitume et les caractéristiques Marshall des bétons bitumineux. Le béton bitumineux testé est composé par les matériaux suivants :

- Un bitume de classe 35/50,
- Un bitume modifié par NBR à des teneurs 2,3 et 4%.
- Trois fractions granulaires (0/3, 3/8, 8/15).de carrière algérienne.

A l'essai de cette étude, il conclut que :

- la susceptibilité diminue avec la teneur en polymère.
- la température de ramollissement augmente avec la teneur en polymère. La tendance est linéaire.

- la ductilité en fonction de la teneur en NBR. Elle montre que la ductilité augmente d'une manière linéaire à 25°C avec la teneur en NBR ce qui se traduit par une résistance à la traction.

- Le quotient Marshall est maximal pour 2 % de NBR.

BURAK et al [Bur 2008] L'expérimentation a été faite avec un bitume de classe 50/70. Ce bitume est de fabrication de TURQUE. Le bitume a été modifié aux teneurs 1, 2, 3, 4, 5 et 6% de SBS.

A l'essai de cette étude, il arrive aux conclusions suivantes :

Il y a une grande diminution significative des valeurs de pénétration et d'une augmentation considérable des températures de point de ramollissement des échantillons des bitumes modifiés basés par SBS à la teneur en polymère de 3% et de 5%, respectivement. L'augmentation au point de ramollissement est favorable puisque le bitume avec un point de ramollissement plus élevé peut être moins susceptible à la déformation permanente.

Les valeurs de stabilité Marshall augmentent avec l'augmentation de la teneur en SBS jusqu'à 5% puis diminuer.

5% peut être évalué en tant que la teneur optimal de SBS dans cette étude.

- Les valeurs du fluage Marshall pour les enrobés bitumineux à base de SBS sont dans les limites de spécifications (2-4 millimètres) et augmentent avec la teneur en polymère. Ce qui indique des capacités une résistance aux déformations permanents comme présenté dans figure I-11 et I- 12 :

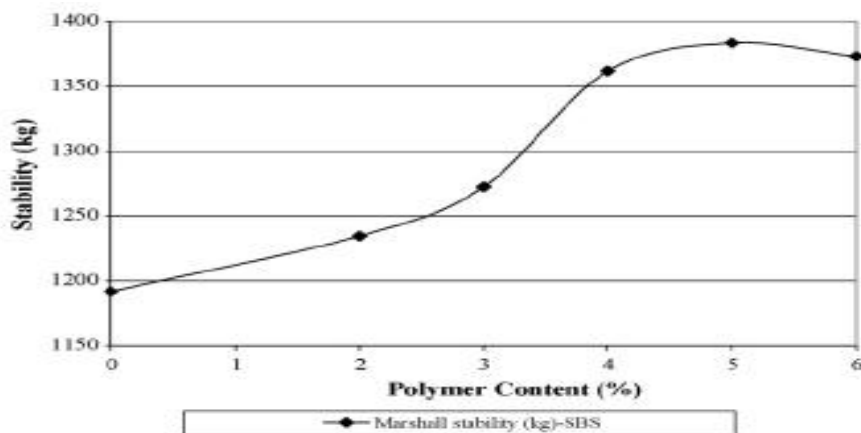


Figure I-11 : Stabilité Marshall des enrobés bitumineux modifiés par SBS

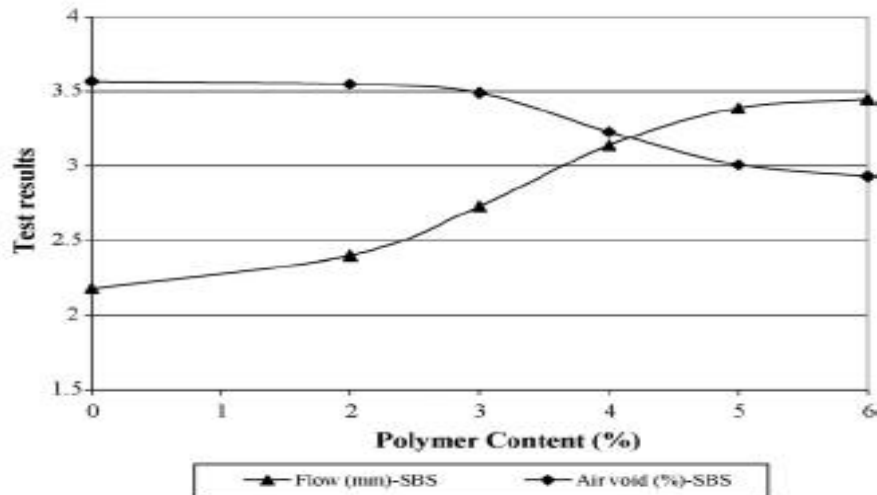


Figure I-12 : Fluage Marshall et vide aire des enrobés bitumineux modifiés par SBS

Les résultats de l'essai de traction indirect des enrobés bitumineux modifiés par SBS sont représentés dans la figure I-13 :

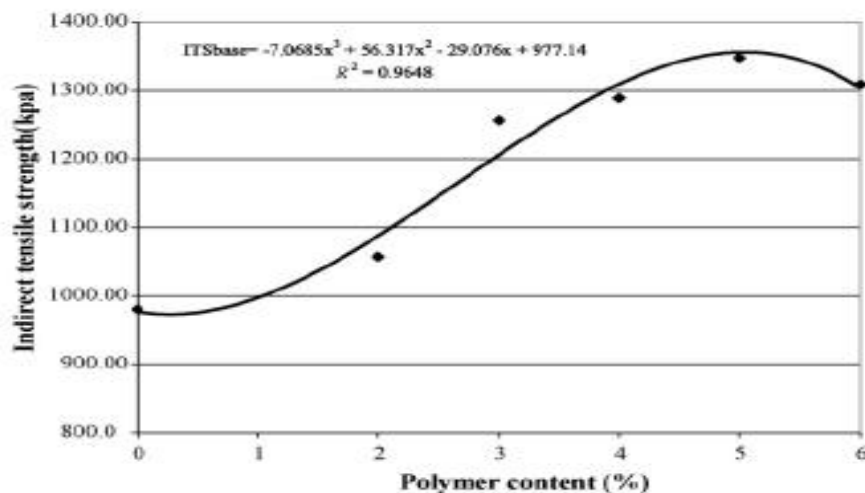


Figure I-13 : La résistance à la traction indirect des enrobés bitumineux modifiés par SBS

La résistance à la traction indirecte des mélanges modifiés est plus grande que pour les mélanges non modifiés. L'augmentation de la résistance à la traction indirecte des mélanges peut être attribuée à la plus grande rigidité du bitume modifié par SBS. Plus la résistance à la traction des mélanges modifiés par rapport au mélange non modifié indique également une plus grande force cohésive des mélanges modifiés est grande. La plus grande résistance à la traction indirecte dans cette étude est de teneur 5% de SBS.

I-6 Classement des types de comportement des matériaux bitumineux

La structure de l'enrobé bitumineux est complexe en raison de la distribution non uniforme de ses constituants (granulats, bitume, vides). La forme, la taille et les propriétés mécaniques des granulats sont variées. Le liant est un matériau élastique, visqueux et plastique. Bien que les

vides ne possèdent aucune force mécanique appréciable, leur distribution et leur nombre influencent d'une manière importante la réponse globale de l'enrobé bitumineux [Mas 2003]. La déformation totale d'enrobé bitumineux s'écrit figure I-16 [Bah2000, Che 2002] :

$$\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^p + \varepsilon^{ve} + \varepsilon^{vp}$$

Avec :

ε^e = déformation élastique ;

ε^p = déformation plastique ;

ε^{ve} = déformation viscoélastique ;

ε^{vp} = déformation viscoplastique.

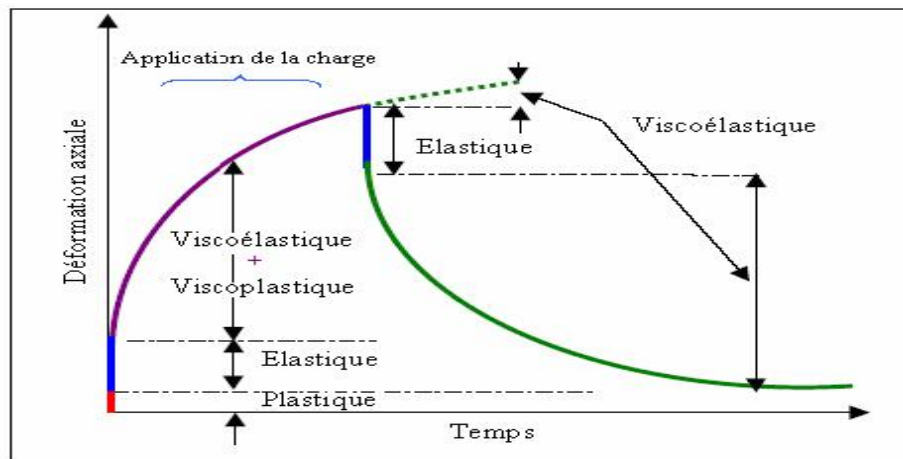


Figure I-14: Composantes de la déformation dans l'enrobé bitumineux

La contribution relative de chaque composante de la déformation totale de l'enrobé bitumineux dépend de la température et du taux de chargement.

les chercheurs ont utilisé différents modèles pour modéliser l'enrobé bitumineux. Dans les 40 dernières années, la majorité des modèles proposés pour analyser l'enrobé bitumineux sont basées sur le comportement viscoélastique. Cependant, peu de travaux ont été réalisés pour la modélisation des déformations permanentes [Bah 2006].

II- Etude du vieillissement des bitumes

Le bitume, de par sa nature organique, est exposé à des phénomènes d'évolution et d'altération depuis sa production jusqu'au stade ultime de la vie de l'enrobé dans la chaussée [Mar 2010].

C'est lors de sa mise en œuvre que ces évolutions peuvent être les plus marquées. En outre, plus le matériau sera proche de la surface, plus les évolutions seront fortes. Il évolue dans le sens d'un durcissement associé d'une fragilité remarquable.

La vitesse d'évolution du bitume dépend de différents paramètres: la température, la lumière (ultraviolets), l'épaisseur du film de bitume, l'humidité des granulats. Ce phénomène peut également être influencé par la nature des granulats, certains types de granulat absorbant les fractions huileuses du bitume, ce qui provoque son évolution.

Le vieillissement est un phénomène lié au degré de modification de la structure chimique du bitume. Dans la pratique, le vieillissement s'effectue en deux étapes : à court terme lors de l'enrobage et à long terme, sur la chaussée. Pouvoir prédire l'évolution du comportement d'un bitume dans un enrobé, revient toujours à décrire son vieillissement : le vieillissement par oxydation chimique et le durcissement en fonction du temps. Il est donc impératif de préciser les principales évolutions d'un bitume.

L'effet de stockage du bitume conduit au vieillissement par durcissement qui se caractérise par un changement de classe (modification de la pénétrabilité et de la TBA). Dans l'étude effectuée par Haddadi S. sur les bitumes algériens, le bitume stocké est passé de la classe initiale 80/100 à la classe 40/50. On a constaté que l'utilisation d'un bitume âgé conduit à une diminution de la stabilité et de la compacité et à une augmentation du fluage de l'enrobé, quel que soit le contrôle de calibrage et de propreté effectué sur les granulats. Néanmoins la différence est plus importante dans le cas des matériaux non lavés et non calibrés [Had 1995].

II-1 Biodégradabilité du bitume

En présence d'eau et d'éléments nutritifs et énergétiques, les micro-organismes peuvent se développer et biodégrader le bitume. Si certaines conditions de salinité, de pH (<12), de température ($<70^{\circ}\text{C}$) et de pression sont respectées dans un stockage profond, il ne faut pas exclure le développement de bactéries.

d'un point de vue terme-source matière organique, les bactéries peuvent, en attaquant l'enrobé bitumé :

- accélérer la lixiviation des radionucléides en dégradant la matrice bitume,
- entraîner la formation de sous-produits organiques susceptibles de complexer ces radioéléments et donc d'augmenter leur solubilité et leur cinétique de solubilisation,
- dégrader la matière organique soluble lixiviée par l'eau mise au contact de la matrice bitume et donc diminuer son potentiel complexant vis-à-vis des radionucléides.

La survie des micro-organismes dépend de la présence :

- d'une source de carbone : matière organique dissoute, carbonates, CO_2 dissous,
- de donneurs d'électrons : H_2 , CH_4 , Fe^{2+} ,
- d'accepteurs d'électrons : O_2 , SO_4^{2-} , NO_3 .

Toutes les molécules constitutives du bitume ne sont pas également biodégradables. Les Chaînes aliphatiques sont très facilement biodégradés alors que les molécules polycycliques présentent une résistance plus importante à la biodégradation même si les conditions de développement sont favorables.

L'altération du bitume par les micro-organismes se traduit par une oxydation et une polymérisation qui entraîne un durcissement du matériau. Cette dégradation sera toutefois limitée par la diffusion de l'oxygène, de l'eau et des nutriments, nécessaires à la survie des micro-organismes.

Nous avons vu que le bitume, dans des conditions appropriées, pouvait être biodégradé. En fait, la bio-oxydation des molécules organiques du bitume correspond en grande partie à l'oxydation de la matière organique solubilisée et dans une moindre mesure à l'oxydation directe de la matière organique de la matrice bitume elle-même.

La cinétique de cette oxydation va dépendre :

- de la disponibilité des molécules oxydées et réduites,
- des conditions physico-chimiques du milieu :
 - pH : à pH très alcalins (12-13), l'activité microbienne reste limitée,
 - irradiation : les conditions d'irradiation à un débit de dose proche du débit initial d'un colis standard autorisent l'activité bactérienne,
 - présence d'oxygène : l'activité bactérienne en présence d'enrobés bitumés est 7 à 10 fois plus élevée en présence d'oxygène qu'en conditions anaérobies, ce qui signifie une quantité plus importante de matière organique biodégradée.

Compte tenu des quantités très importantes de bitume susceptibles d'être stockées en site géologique profond, la caractérisation de la matière organique issue de la lixiviation de bitume irradié et saine est indispensable, de même que l'évaluation de sa biodégradabilité.

II-2 Définitions du vieillissement

On appelle vieillissement toute altération lente et généralement irréversible des propriétés d'un matériau, résultant de son instabilité propre ou d'effets de l'environnement. Cette altération peut concerner la structure chimique des molécules (vieillissement chimique), la composition du matériau (pénétration ou départ de petites molécules) ou son état physique [Ver 1984].

Les bitumes vieillissent et perdent leur caractéristique, Il devient moins élastique et finissent par se fissurer sous les contraintes, le vieillissement des bitumes est dû principalement à l'oxydation par l'air, accéléré par le rayonnement solaire (ultraviolet) [Mar 2004].

Un liant d'enrobé à chaud subit deux sorts de vieillissement au cours de son existence [Ber 2005] :

- un vieillissement très rapide « **court terme** » à la construction (enrobage, mise en œuvre et refroidissement en température ambiante) ;
- un vieillissement plus lent « **long terme** » mais progressif une fois en place dans le revêtement.

Le vieillissement des bitumes est le résultat de la variation des qualités du bitume en fonction du temps, Il se manifeste le plus couramment par un durcissement du liant indiqué par une diminution de la pénétrabilité ou un accroissement de la viscosité, Le durcissement du liant est la conséquence de plusieurs phénomènes dont le principal est l'action chimique de l'oxygène de l'air, En général, on considère le vieillissement sous deux formes:

- durcissement physique ;
- durcissement chimique.

II-3 Influence du vieillissement sur le comportement des bitumes

Des études sur le comportement des mélanges bitumes –polymères au vieillissement ont été effectuées et montrent notamment (voir la figure II- 1) [Don 1991]:

- une perte de souplesse à froid ;
- une perte d'élasticité à température ambiante ;

- une baisse générale de l'allongement à la rupture à température ambiante ;
- un abaissement des points de ramollissement ainsi que curieusement une diminution de la pénétrabilité.

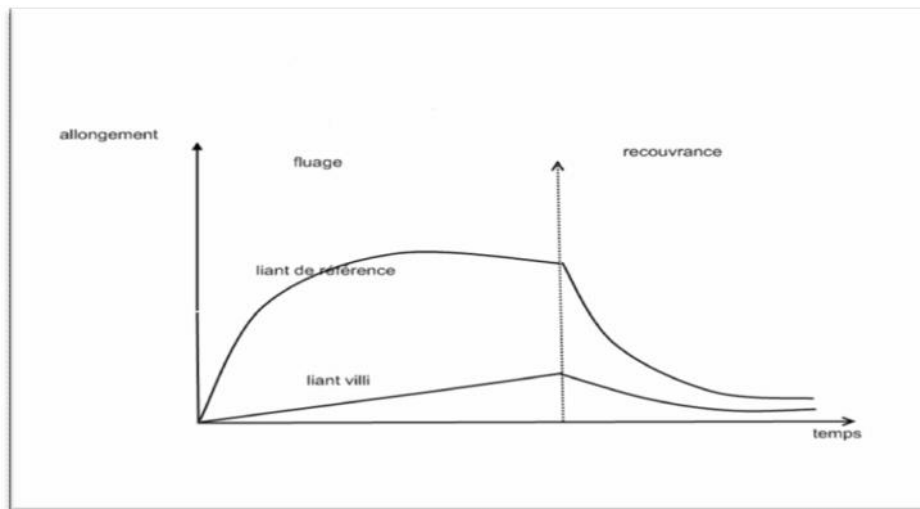


Figure II-1: Influence du vieillissement sur le comportement rhéologique au fluage d'un liant bitume/SBS [Don 1991]

MARECHAL [Mar1983] a notamment montré, sur des mélanges bitumes/SBS, que par dégradation thermique :

- le taux d'asphaltenes du bitume augmente ;
- la structure du polymère se modifie : sa masse moléculaire diminue constamment en fonction de temps, les groupes styrène sont peu affectés mais les liaisons éthyléniques des maillons butadiènes disparaissent ;
- les propriétés rhéologiques sont affectées : ce qui se manifeste notamment par une perte progressive de l'élasticité prise par la contribution visqueuse.

Par contre, la dégradation sous l'action du rayonnement ultra-violet se traduit essentiellement par une diminution de la masse moléculaire du SBS, mais le taux d'asphaltenes du bitume ne varie pratiquement pas.

II-4 Essais de vieillissement accéléré des bitumes

La nécessité de comprendre, pour mieux en maîtriser les effets, les mécanismes de vieillissement des bitumes et des enrobés a conduit à développer des essais qui reproduisent l'essentiel des phénomènes intervenant, en particulier au cours de la fabrication des enrobés en centrale.

II-4-1 Essai Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) (NF T 66-032)

A l'enrobage, les granulats chauffés aux environs de 160°C sont mis en contact avec le bitume chaud qui se répartit en film mince autour du granulat favorisant ainsi un vieillissement du liant. L'oxydation chimique est violente car l'apport énergétique est intense (température et oxygène de l'air). L'essai RTFOT est employé pour permettre de caractériser ce type de vieillissement des bitumes car il reproduit assez bien l'oxydation et les pertes de matières volatiles qui, apparaissent dans la centrale d'enrobage et lors de la mise en œuvre.

Pour l'essai RTFOT, dans des conditions d'essai précises, le bitume placé en film mince, est régulièrement exposé à un flux d'air chaud dont le débit est contrôlé par la mesure en suite les propriétés habituelles sur le liant vieilli : pénétrabilité et température de ramollissement Bille et Anneau (TBA). Ces valeurs, dites après RTFOT, sont alors comparées aux valeurs initiales. Sont plus proche de celle du liant extrait de l'enrobé, que de celles obtenues sur le bitume d'origine.

La figure suivante présente une schématisation d'appareillage :

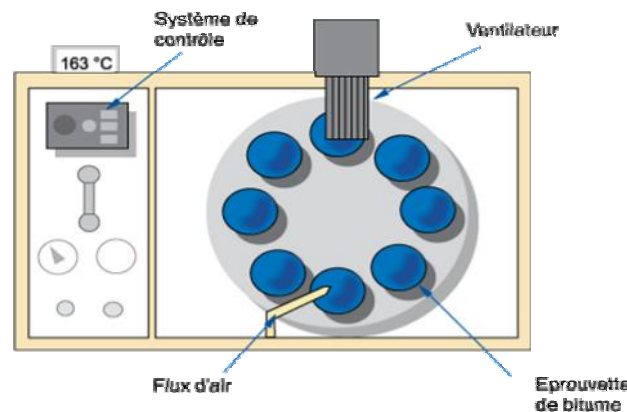


Figure II-2: Essai RTFOT (NF T66032)

L'essai RTFOT n'est cependant pas capable de reproduire toute la complexité des phénomènes intervenant en centrale d'enrobage. D'autres paramètres interviennent aussi en centrale et ne sont pas pris en compte par cet essai: la présence de vapeur d'eau, la division de l'état de surface au malaxage, le choc thermique de granulats à plus haute température et la brièveté du temps de séjour dans le malaxeur.

II-4-2 Autres essais de vieillissement du bitume

II-4-2-1 L'essai Thin Film Oven Test (TFOT) - EN 12607-2

Deux autres essais similaires ont été normalisés en Europe, suite aux travaux effectués par un groupement de laboratoires routiers publics européens.

Dans le TFOT [Cen 1999], un échantillon de bitume de 50 ml est placé dans un récipient plat de 140 mm de diamètre pour former un film d'épaisseur de 3,2 mm. Deux ou plusieurs de ces récipients sont ensuite placés dans une enceinte tournant à la vitesse de 5 à 6 tours/mn dans un four à la température de 163°C pendant 5h.

Le TFOT a été adopté par l'administration américaine AASHTO en 1959 et par l'ASTM en 1969, comme un moyen pour évaluer le durcissement du bitume pendant le mélange en usine. Néanmoins la principale critique portée au TFOT est que le durcissement ne porte que sur la "peau" de l'échantillon de bitume, car le bitume n'est pas agité ni mis en rotation pendant le test (contrairement au RTFOT).

II-4-2-2 Essai Pressure Aging Vessel (PAV) (AASHTO PP1)

Après un vieillissement « de construction », les liants subissent in situ un vieillissement (en service ou à long terme) après 3 à 5 années de service, dans les conditions climatique régnant sur la chaussées, l'un des essais pertinent pour rendre compte de cette évolution est l'essai PAV (figure II-3).

Le résidu de l'essai RTFOT est chauffé et versé dans de plateaux métalliques (coupelles contenant environ 50g de liant) qui, constituent les éprouvettes de l'essai PAV.

Ces plateaux sont rangés dans un rack qui sera placé dans un récipient dans une enceinte thermique, à la température de l'essai (100°C), une pression d'aire de 300psi (20 bars = 2 MPa) est appliquée dans le récipient. Après une durée de vingt heures (qui constitue un avantage important de l'essai), la pression est diminuée lentement (8 à 10 minutes). Les plateaux d'éprouvettes sont placés en suite dans un four à 163°C pendant 30 minutes. On mesure alors les propriétés habituelles du liant : pénétrabilité et température de ramollissement Bille et Anneau « TBA », ces valeurs, dits après PAV, sont alors comparées aux valeurs initiales et aux valeurs obtenue après RTFOT.

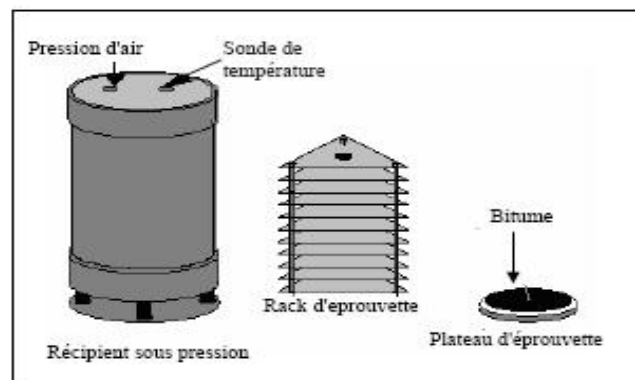


Figure II-3: Essai PAV

BRION [Bri 1986] a effectué une étude de vieillissement artificiel sur des liants bitumes/polymères à 10% de SBS et à notamment montré une évolution brutale de la micromorphologie des liants au cours des deux premiers mois : elle devient plus grossière ; ceci s'accompagne d'une diminution importante des possibilités d'allongement, d'autant plus importante que la micro-hétérogénéité initiale est plus forte. Cette dégradation est uniquement due à un effet thermique non oxydant.

Haddadi et al [Had 2008] ont été effectuée une étude de vieillissement de bitume de grade 70/100 et sur les bitumes modifiés par l'EVA à des teneurs 3, 5 et 7%.

Ila testé donc le vieillissement des liants modifiés avec l'essai RTFOT.

Il ressort de l'examen de l'essai RTFOT que tous les bitumes subissent un vieillissement. Ce vieillissement s'exprime par un durcissement qui est du à l'oxydation et engendre :

- la diminution de la pénétrabilité,
- L'augmentation de la température bille et anneau (TBA).

III- Conclusion de la première partie

Nous avons donné dans cette étude bibliographique, quelques résultats de la littérature sur les liants modifiés par les polymères et enrobés bitumineux modifiés.

Nous nous sommes donc limités dans cette synthèse à des résultats utilisable pour :

- la connaissance du bitume et des agents modifiés,
- la compatibilité entre le bitume et le polymère,
- le mécanisme de modification actuellement assez bien connu,
- les principales conclusion concernant l'évolution des propriétés et structures de mélanges déterminés.

Partie II :

Etude expérimentale sur les
bitumes

Dans cette partie nous allons présenter la campagne d'essais effectuée sur le bitume, et le mélange bitumineux en associant un polymère (déchet plastique alimentaire - EVA) afin de suivre son influence sur le comportement et le vieillissement des liants modifiés. Cette partie fait suite aux travaux réalisés par Saibou Dodo et Tamzait [Sai 2010] sur étude de l'influence de l'association NBR et EVA sur le bitume. A l'issue de étude, les optimums sont obtenus pour les teneurs de 2% pour le NBR et 5% pour l'EVA. L'association EVA-NBR concernera donc les teneurs totales de 2% et 5%. Les pourcentages seront de 50% EVA-50% NBR et 25% EVA-75% NBR. Ces pourcentages ont été choisis pour valoriser le déchet industriel NBR. L'EVA étant une matière première. L'incorporation du déchet d'emballage alimentaire n'a pas encore fait l'objet de travaux.

I - Bitume pur

L'expérimentation a été faite avec un bitume de classe 35/50, ce bitume est de fabrication algérienne à partir de bruts importés provenant de l'entreprise des travaux publics EGCR de BOUMERDES. Pour les caractériser nous avons effectué les analyses suivantes au niveau de FGC/USTHB :

- Pénétrabilité à l'aguille (NF T66-004)
- Le point de ramollissement bille et anneau (NF T66-008)
- Densité (NF T66-007)
- Essai RTFOT (NF T66-032)
- Ductilité (NF T66-006).

I-1 Caractérisation de bitume

Les résultats des essais d'analyse et de caractérisation qui ont été effectué sur le bitume pur, sont représentés dans le tableau I-1:

Tableau I-1: Caractérisation de bitume pur et spécification

Grade de bitume pur		35/50	Spécifications
Essai			
Pénétrabilité à 25°C (1/10 mm)		38	35 à 50
Température bille et anneau «TBA» (°C)		51	50 à 58
Densité relative (g/cm ³)		1.03	-
Ductilité à 25°C (mm)		> 1000	> 1000
IP _{LCPC}		0,47	-
Après RTFOT	Pénétrabilité à 25C° [1/10]	25	-
	Température bille anneau [C°]	58	-
	Pénétrabilité restant [%]	65,78	≥ 53
	ΔTBA	7	≤ 8

- ❖ L'ensemble des résultats de bitume étudié concorde avec les spécifications recommandées pour la classe 35/50.

I-2 Susceptibilité thermique

En 1889, il a été mis au point la méthode d'essai par pénétration en fonction de la température qui après quelques modifications, a été longtemps d'usage courant en raison de sa simplicité et de sa rapidité. En 1936, Pfeffier et Van Doormaal ont montré l'existence d'une relation Linéaire I-1 entre le logarithme décimal de la pénétration et la température :

$$\text{Log (Pen)} = AT + C \quad \text{I-1}$$

Où :

A : est la susceptibilité thermique,

C : est une constante.

La valeur de A varie entre 0,015 et 0,06, ce qui montre l'existence des différences considérables en termes de susceptibilité thermique.

La susceptibilité thermique des bitumes routiers est représentée par un indice appelé indice de pénétrabilité (IP) exprimé par les relations suivantes :

$$50A = (20 - IP) / (10 + IP) \quad \text{I-2}$$

Où :

$$IP = (20 - 500A) / (IP + 501) \quad \text{I-3}$$

La valeur de l'indice de pénétration varie de (-3) pour les bitumes très susceptibles à la température, jusqu'à environ (+7) pour les bitumes moins susceptibles. Les valeurs de A et d'IP peuvent être calculées à partir des mesures de pénétration à deux températures T_1 et T_2 , à l'aide de la relation I-4 :

$$IP = \log (\text{Pen } T_1) - \log (\text{Pen } T_2) / (T_1 - T_2) \quad \text{I-4}$$

Sur la figure I-1, nous représentons le graphe semi-logarithmique de la pénétrabilité en fonction de la température comme préconisé par la méthode LCPC.

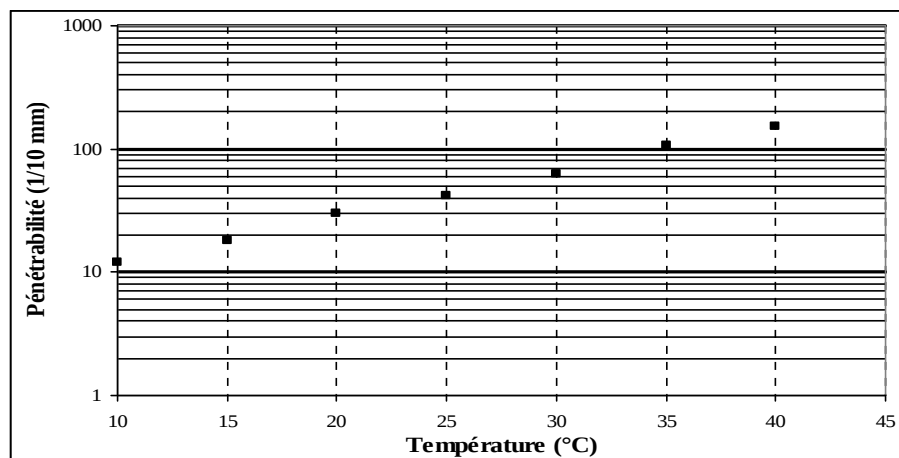


Figure I-1: Variation de la pénétrabilité des bitumes purs en fonction de la température

Le bitume que nous avons utilisé est un bitume routier car la valeur de « $A = 0,0366$ » est comprise entre 0,015 et 0,06 (intervalle des bitumes routiers).

L'ensemble des résultats obtenus sur les caractéristiques du notre bitume, a permis de:

- Vérifier qu'il répond aux spécifications.
- Confirmer la classe du bitume 35/50.
- Conclure que le bitume utilisé n'est pas susceptible à la température ($IP = 047$).

II- Polymère

Dans nos travaux nous avons utilisé un polymère de synthèse (EVA) ainsi qu'un déchet plastique alimentaire et déchet industrielle (NBR) en forme des déchets.

II-1 l'EVA

L'acétate de vinyle et d'éthylène EVA est l'un des plastomères les plus utilisés en technique routière. Il est composé du copolymère d'éthylène et du comonomère acétate de vinyle.

En technique routière, il est conseillé d'utiliser des copolymères dont la teneur en acétate de vinyle varie entre 18 et 33 et dont l'indice de fluidité (en g/10 min) varie de 40 à 160 environ. La température maximale de mise en œuvre de ces polymères est estimée à 200 C° voir la figure II-1:



Figure II-1: les granulâtes d'EVA FGC/USTHB

II-2 Le déchet plastique alimentaire

Les déchets en matière plastique utilisés pour ce travail sont principalement constitués de polyéthylène téréphtalate, et sont obtenus à partir de sacs d'emballage de la pomme de terre. La préparation du déchet plastique est faite au laboratoire route de faculté de génie civil de l'USTHB, La procédure est de couper les sacs plastique en petits morceaux de longueurs variant de 2 à 5mm, La figure II-2 montre le déchet plastique alimentaire utilisé dans cette étude.

La densité du déchet plastique alimentaire est de 0,89 mesurée par rapport à l'éthanol dont la densité est de 0,79.

II-3 Poudrette de caoutchouc NBR

Le polymère qui a été étudié dans ce présent travail est un déchet industriel de couleur noirâtre provenant de la société d'application d'élastomère (SAEL). Il est utilisé sous forme de poudrette. La figure II-3 montre son aspect.



**Figure II-2 : Déchet plastique alimentaire
FGC/USTHB**



**Figure II- 3: Le déchet sous forme de
poudrette (NBR)**

L'analyse granulométrique montre que la poudrette de caoutchouc est constituée de grains inférieurs à 0,8 mm. La densité de la poudrette est de 1,22 mesurée par rapport à l'éthanol dont la densité est de 0,79.

II-4 L'association (déchet plastique alimentaire – EVA)

Dans notre étude on modifie le bitume en première par le déchet plastique seul puis par l'association (déchet plastique alimentaire – EVA). La figure II-4 représente l'association (EVA – déchet plastique alimentaire) :

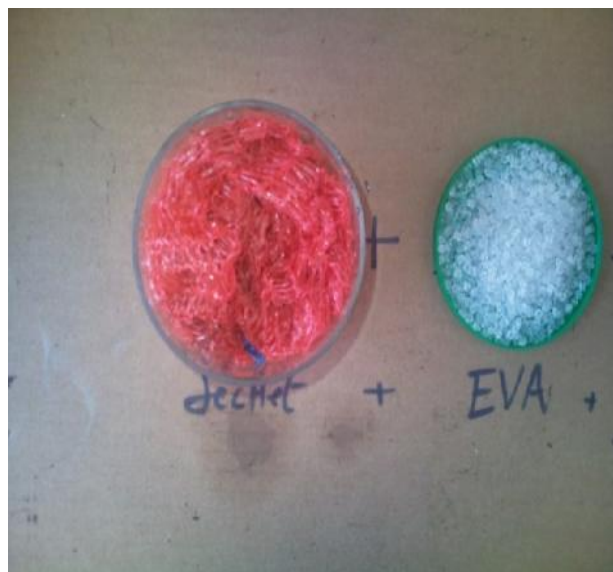


Figure II-4: L'association (déchet plastique alimentaire – EVA)

III- Bitumes modifiés

III-1 Fabrication du bitume modifié

La modification du bitume s'opère par la mise en contact du bitume et du polymère en poudre à une température supérieure à la température de fusion du polymère avec un malaxage approprié pour provoquer un mélange intime des différentes phases.

L'influence des paramètres de fabrication sur la propriété d'un liant bitume-polymère est importante (vitesse de malaxage, temps et température de mélange).

Le réglage de la vitesse du malaxeur et de la température sont les paramètres essentiels à contrôler soigneusement pour obtenir une bonne dispersion tout en minimisant le temps de malaxage.

Pour le réglage de la température, si elle est trop basse, la dispersion devient difficile, tandis que si elle dépasse 200 °C, elle peut amener l'amorçage de l'oxydation du bitume et/ou du polymère.

Dans notre cas la modification a été réalisée au laboratoire de routes et aérodromes de la faculté de génie civil de l'USTHB (Algérie). Nous avons pour cela utilisé, un appareillage se composant figure III-1:

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

Nos essais ont été réalisés selon les conditions suivantes :

- une vitesse de rotation de 600 tr/mn,
- une température de 180°C ± 5°C,
- un volume de 500 g de bitume,
- un temps de malaxage de 2 heures.



Figure III-1: Appareillage de modification mis au point à la FGC/USTHB

III-2 Etudes expérimentales sur les liants modifiés

Ce travail fait suite à une étude déjà réalisée concernant l'association (EVA-NBR). Cette étude s'est limitée à suivre l'évolution de la pénétrabilité, la TBA et la ductilité. Ce présent travail concerne l'évolution après RTFOT de l'association (EVA-NBR) et (EVA-Déchet plastique alimentaire) des bitumes et des bitumes modifiés

Dans notre travail la modification est effectuée comme suit :

- la modification du bitume par déchet plastique alimentaire ;
- la modification du bitume par l'association (déchet plastique alimentaire -EVA) ;
- la modification du bitume par l'association (NBR – EVA).

L'étude consiste à apprécier le comportement des liants modifiés à des températures d'utilisation pratique.

Nous avons réalisé les essais suivants :

- essai de pénétrabilité à 25C° (NF T66 004) ;
- essai de température de ramollissement bille et anneau (NF T66 008) ;
- essai de ductilité à 25C° (NF T66 006).

III-2-1 Etude expérimentale sur les liants modifiés par déchet plastique alimentaire

III-2-1-1 Identification de mélange

Notre travail dans cette partie consiste à étudier la modification de ce liant par un modifiant (déchet plastique alimentaire) à base polyéthylène téréphtalate à différentes teneurs, voire le tableau III-1:

Tableau III- 1: Désignation des liants modifié par le déchet plastique alimentaire

Grade du bitume	35/50					
Teneur en déchet plastique alimentaire (%).	0	1	2	3	4	5

III-2-1-2 Influence du déchet plastique alimentaire sur la pénétrabilité

Les résultats de la variation de pénétrabilité en fonction de la teneur en déchet plastique sont donnés par le tableau III-2 et schématisé par la figure III-2 :

Tableau III-2: Variation de pénétrabilité en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire

Teneur en déchet plastique (%)	0	1	2	3	4	5
Pénétrabilité à 25C°	38	33	29	19	24	25

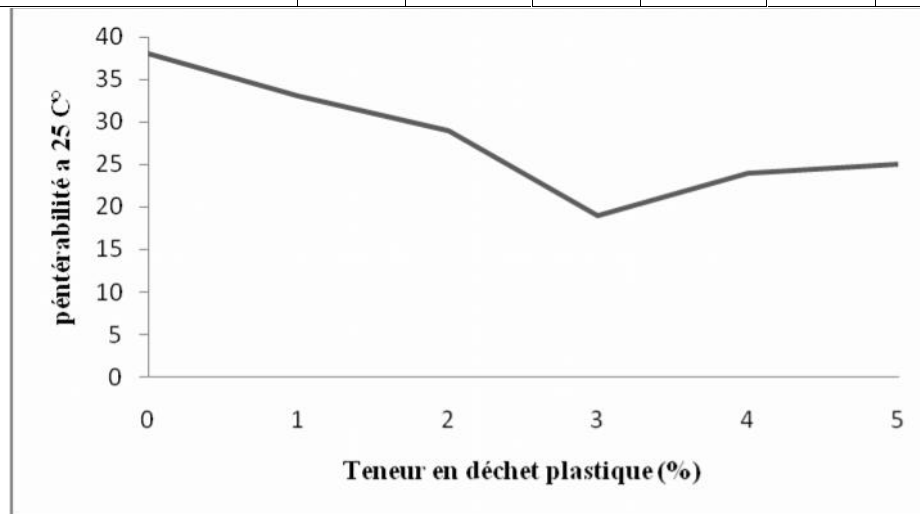


Figure III-2: Variation de pénétrabilité en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire

La figure III-2 montre que pour les liants modifiés par le déchet plastique alimentaire, la pénétrabilité diminue rapidement avec l'augmentation de la teneur en déchet plastique alimentaire;

- la teneur de déchet plastique qui donne la faible pénétrabilité est de 3%.
- A partir de 3% de déchet plastique alimentaire la pénétrabilité augmente à nouveau mais d'une manière lente. Elle tend à se stabiliser entre 4 et 5% de déchet plastique.

Les résultats de la variation de la pénétrabilité des liants modifiés par rapport au bitume de base sont donnés par la figure III-3:

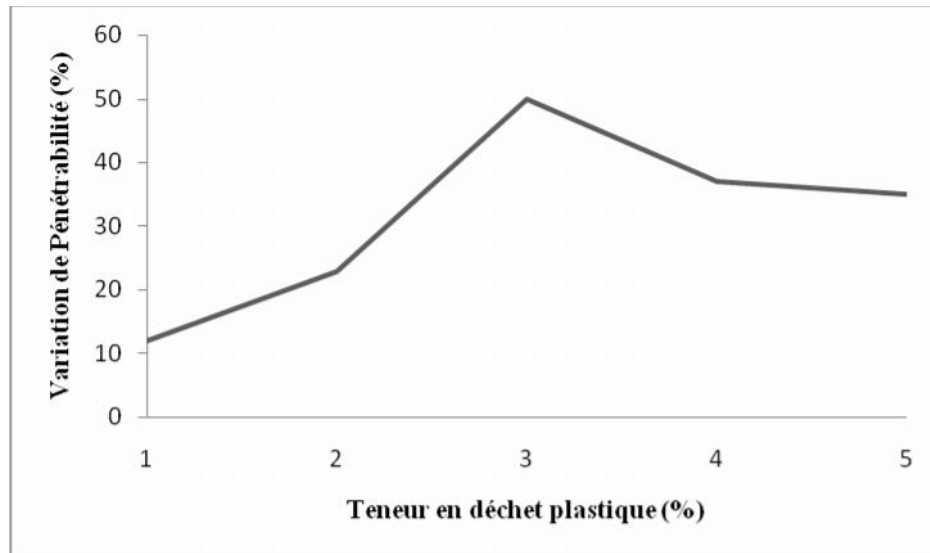


Figure III-3: Variation de la pénétrabilité des liants modifiés par rapport au bitume pur

D'après la figure III-3, pour toute les teneurs en déchet plastique alimentaire il ya un gain en consistance ;

- Le gain de pénétrabilité du liant modifie à 3% de déchet plastique alimentaire est de 50%.

III-2-1-3 Influence du déchet plastique sur la température bille et anneau (TBA)

Les résultats de la variation de température (TBA) en fonction de la teneur en déchet plastique sont donnés par le tableau III-3 et schématisé par la figure III-4:

Tableau III-3: Variation de la température bille et anneau (TBA) en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire

Teneur en déchet plastique(%)	0	1	2	3	4	5
TBA C°	51	52	54	59	54	55

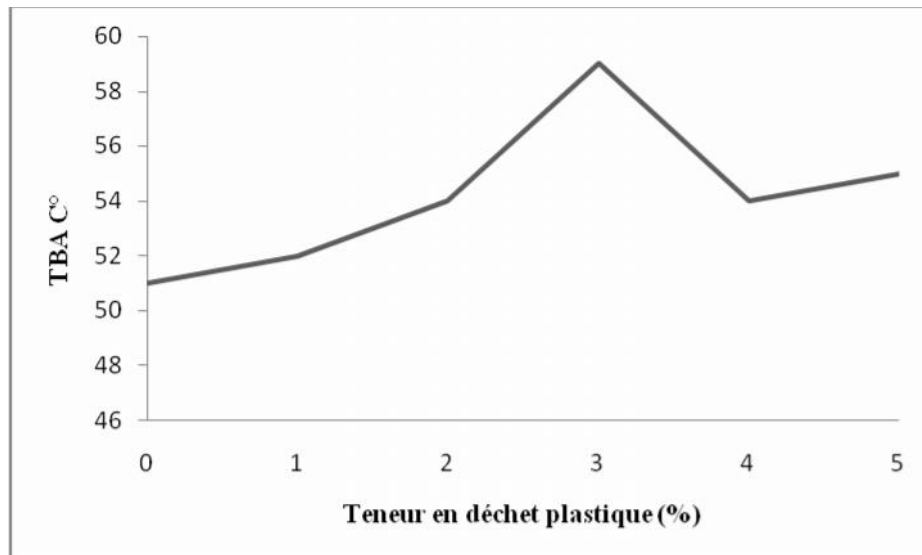


Figure III-4: Variation de la température bille et anneau (TBA) en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire

Nous remarquons que le courbe de figure III-4 passe par un maximum.

- La température bille anneau augmente avec l'augmentation de la teneur en déchet plastique ;
- La température bille et anneau (TBA) obtenu avec la teneur 3% est plus importante ;
- Les teneures 2% et 4% donnent même résultat de la température (TBA).

Les résultats de la variation de la température bille et anneau (TBA) des liants modifiés avec leur bitume de base sont donnés par la figure III-5:

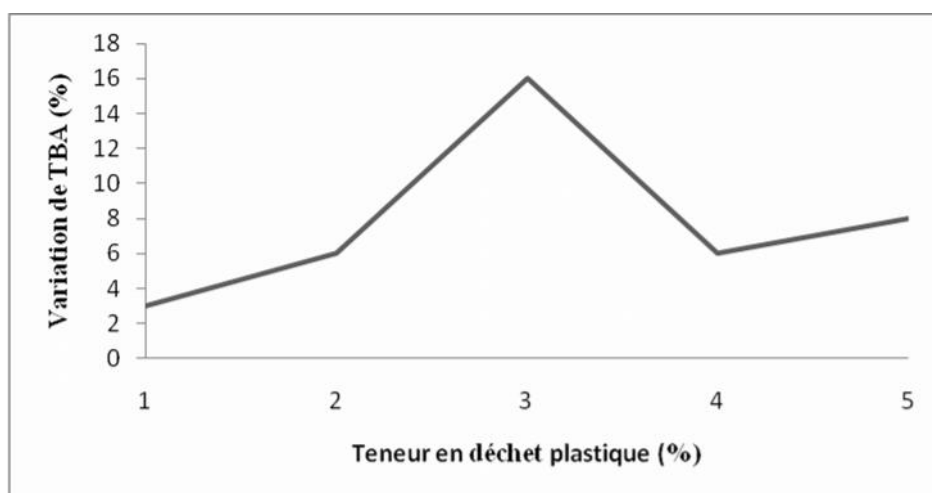


Figure III-5: Variation de la température bille et anneau (TBA) des liants modifiés par rapport au bitume pur

- La température bille et anneau (TBA) obtenu à 3% est plus important. Elle est de l'ordre de 16%.

III-2-1-4 Influence du déchet plastique sur la ductilité

Les résultats de la variation de ductilité en fonction de la teneur en déchet plastique sont donnés par le tableau III-4 et schématisé par la figure III-6:

Tableau III-4: variation de ductilité fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire

Teneur en déchet plastique alimentaire (%)	0	1	2	3	4	5
Ductilité à 25° C	>100	87	78,5	41	69	77

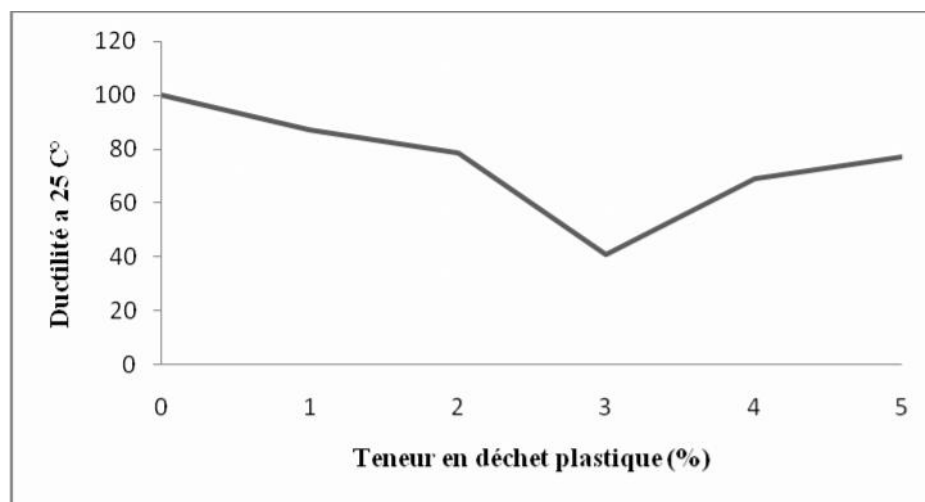


Figure III-6: Variation de ductilité en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire

La figure III-6 montre que :

- La ductilité décroît avec l'augmentation du déchet plastique alimentaire à partir de 1% jusqu'à 3% ;

- A partir de teneur 3% de déchet plastique alimentaire la ductilité croît.

Les résultats de la variation de ductilité des liants modifiés avec leur bitume de base sont donnés par la figure III-7:

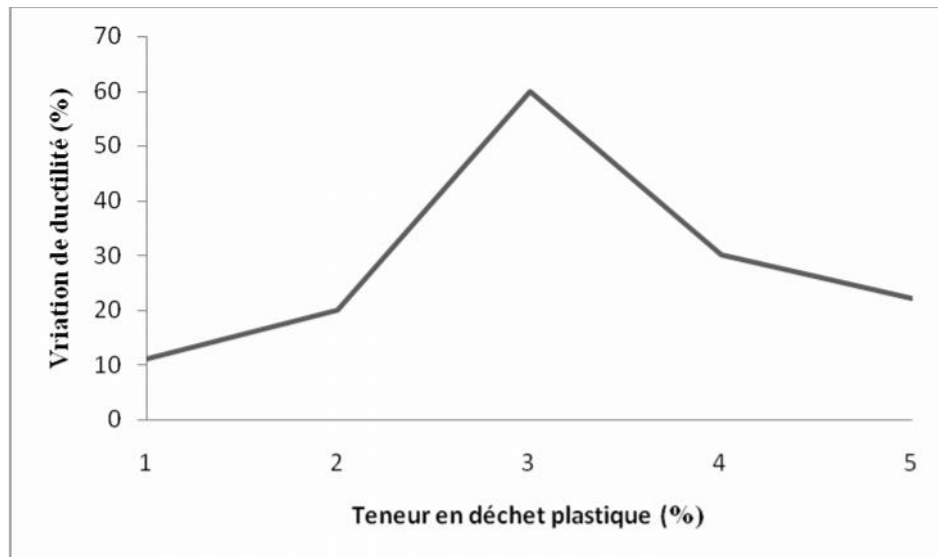


Figure III-7: Variation de ductilité des liants modifiés par rapport au bitume pur

Nous constatons d'après le figure III-7 que :

- La variation de la ductilité croît avec l'augmentation du déchet plastique alimentaire;
- La chute de la ductilité à 3% de déchet plastique est très importante, elle est de 60% environ.

Conclusion

Dans cette étude nous constatons que le teneur 3% de déchet plastique alimentaire est la teneur optimum.

III-2-2 Etude expérimentale sur les liants modifiés par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA)

III-2-2-1 Identification de mélange

Après avoir étudié l'influence du déchet plastique alimentaire et de l'EVA séparément, nous nous sommes intéressés à l'influence de l'association (déchet plastique alimentaire- EVA) sur le bitume pur. Sachant que l'étude précédente a donné comme optimum :

- 5% pour l'EVA,
- 3% pour le déchet plastique alimentaire.

L'association (déchet plastique alimentaire - EVA) a été effectuée pour différentes teneurs reportées sur le tableau III-2:

Tableau III-5 : Désignation des liants modifié par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA)

Mélanges	Teneurs totales des modifiants (Déchet plastique alimentaire - EVA) (%)	Déchet plastique alimentaire (%)	EVA (%)	Temps de malaxage
M(0)	0	0	0	-
M(1)	5	50	50	2h
M(2)	5	75	25	2h
M(3)	3	50	50	2h
M(4)	3	75	25	2h

III-2-2-2 L'influence de l'association (déchet plastique alimentaire – EVA) sur la pénétrabilité

Les résultats de la variation de pénétrabilité en fonction de la teneur en association (déchet plastique alimentaire – EVA) sont schématisés par la figure III-8:

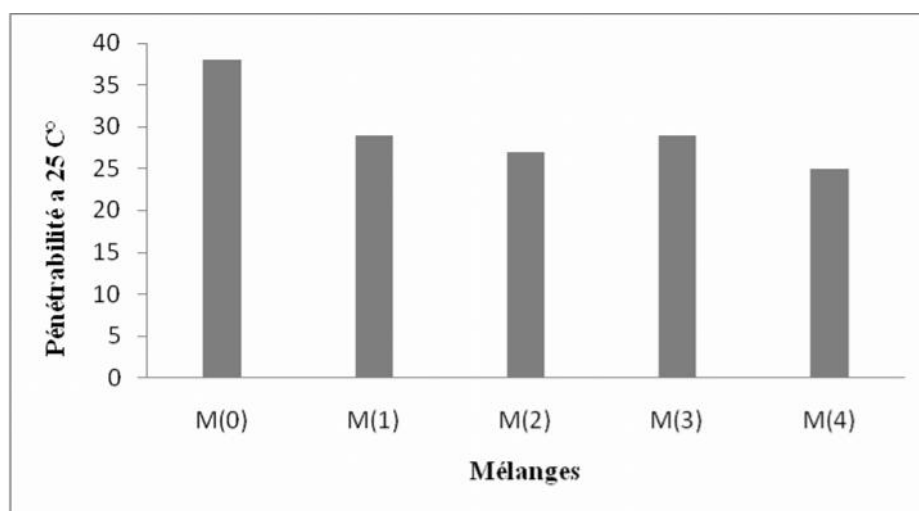


Figure III-8 : Variation de pénétrabilité en fonction de la teneur en association (déchet plastique alimentaire- EVA)

Nous constatons d'après la figure III- 8 que:

- La pénétrabilité diminue rapidement pour tous les mélanges ;
- Les pénétrabilités des mélanges M(1) et M(3) sont les mêmes.
- les mélanges M(2) et M(4) améliorent la consistance, M(4) étant le plus consistant.

Les résultats de la variation de la pénétrabilité des liants modifiés par rapport au bitume de base sont donnés par la figure III-9:

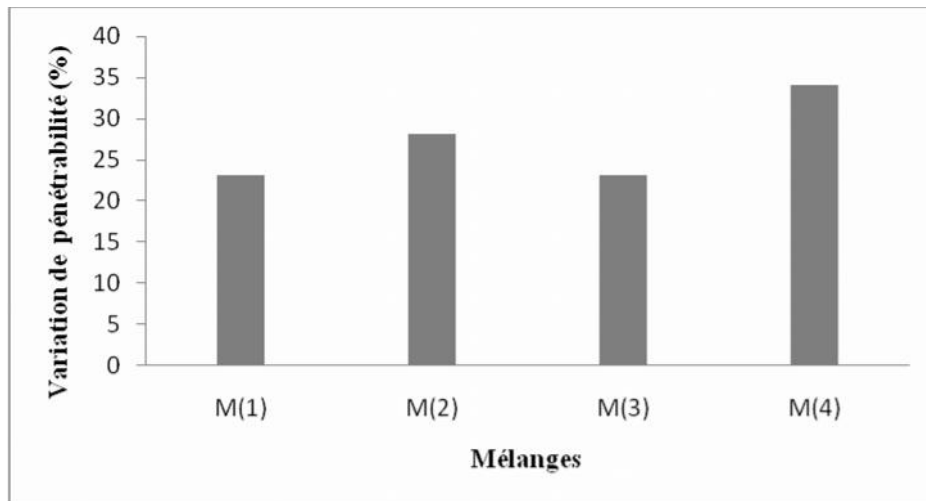


Figure III- 9: Variation de la pénétrabilité des liants modifiés par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) par rapport au bitume pur

La figure III-9 montre que:

Le gain en consistance pour tous les mélanges 24% pour M(1) et M(3) ; 28% pour M(2) et 34% pour M(4).

III-2-2-3 L'influence de l'association (déchet plastique alimentaire –EVA) sur la température bille et anneau (TBA)

Les résultats de la variation de la température bille et anneau (TBA) en fonction de la teneur en association (déchet plastique alimentaire – EVA) sont schématisés par la figure III-10 :

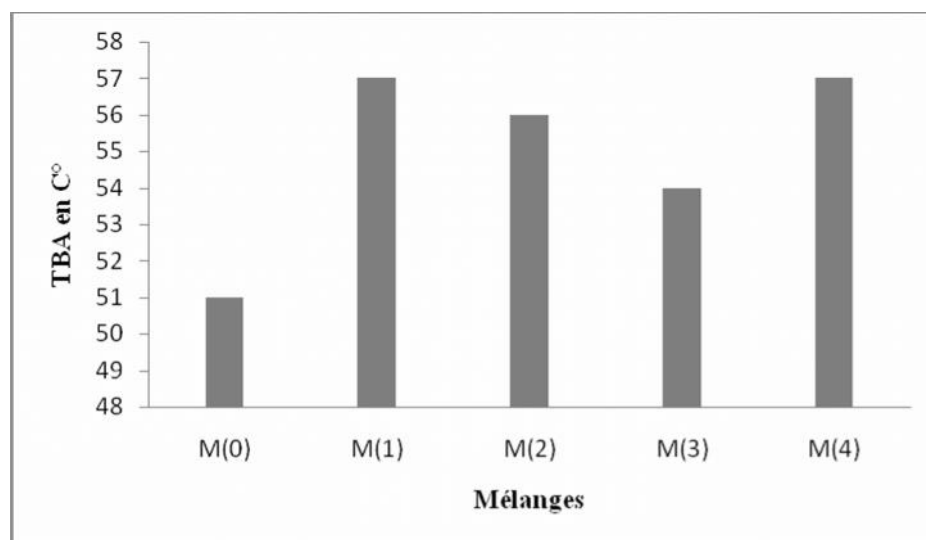


Figure III-10 : Variation de la température bille et anneau (TBA) en fonction de la teneur en association (déchet plastique alimentaire - EVA)

La figure III-10 montre que :

- La température bille anneau augmente pour tous les mélanges ;
- Les mélanges M(1) et M(4) ont les mêmes températures de bille et anneau (TBA).

Les résultats de la variation de la température bille et anneau (TBA) des liants modifiés avec leur bitume de base sont donnés par la figure III-11 :

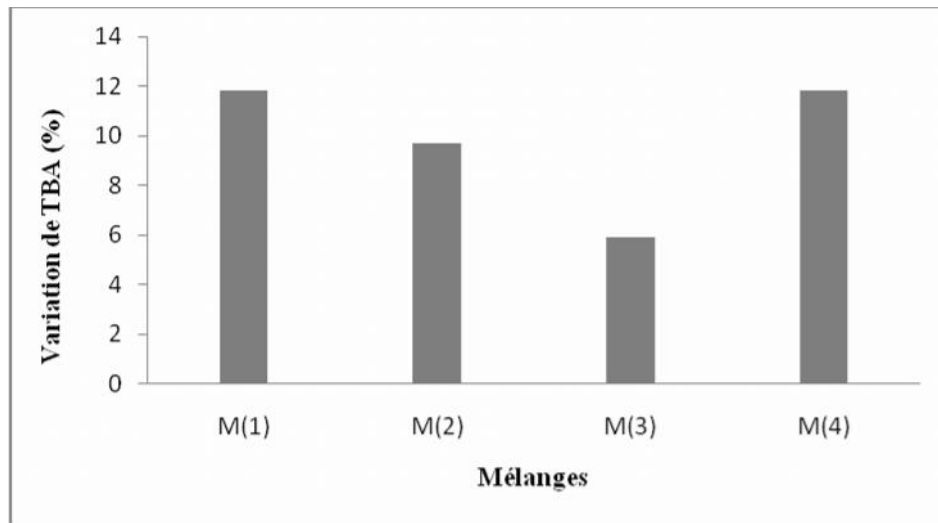


Figure III-11 : Variation de la température bille et anneau (TBA) des liants modifiés par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) par rapport au bitume pur

Nous constatons d'après le figure III-11 que :

Le gain en température bille et anneau variant selon les mélanges. Ils sont de 6% pour M(3) ; 10% pour M(2) et de 12% pour M(1) et M(4).

III-2-2-4 Influence du l'association (déchet plastique alimentaire – EVA) sur la ductilité

La figure III-12 montre Les résultats de la variation de ductilité en fonction de la teneur en association de (déchet plastique alimentaire - EVA).

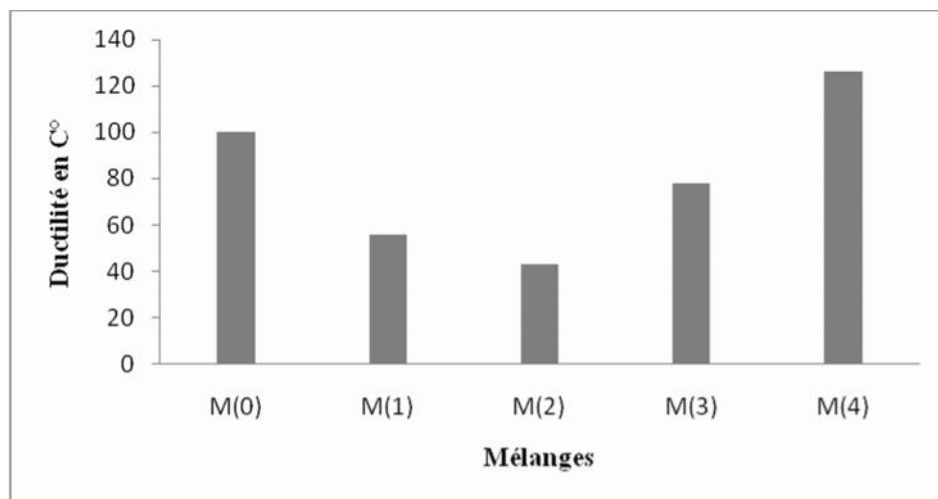


Figure III-12 : variation de ductilité en fonction de la teneur en association (déchet plastique alimentaire- EVA)

Nous constatons d'après le figure III-12 que :

- La ductilité décroît dans tous les mélanges sauf pour le mélange M(4), (passe par un minimum à M(2)).
- Le mélange M (2) est le moins ductile par rapport aux autres mélanges,
- Le mélange M (4) est plus ductile que le bitume pur.

Les résultats de la variation de ductilité des liants modifiés avec leur bitume de base sont donnés par la figure III-13 :

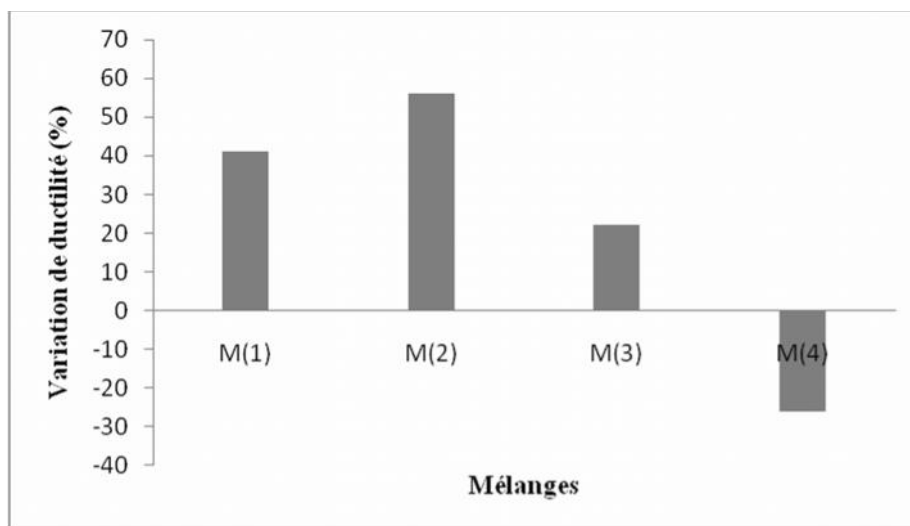


Figure III-13 : Variation de la ductilité des liants modifiés par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) par rapport au bitume pur

Nous constatons d'après le figure III-13 que :

- La variation de ductilité croît dans tous les mélanges ;
- La variation de ductilité de mélange M(4) est plus importante.

III-3 Susceptibilité thermique

La susceptibilité des bitumes à la température, c'est à dire la mesure de la variation de leur consistance en fonction de la température, est généralement caractérisée par un nombre dénommé « indice de pénétrabilité (IP) » dans le domaine ou la pénétrabilité est mesurable. Nous avons utilisé la méthode LCPC dite « à 5 températures ». Les cinq températures d'essais pour les différentes classes de bitume sont données dans le tableau III- 6 :

Tableau III- 6 : Température de l'essai pour les différentes classes de bitume

Classe de bitume	Température de l'essai (°C)
20-30	25 – 30 – 35 – 40 - 45
35-50	20 – 25 – 30 – 35 - 40
50-70	15 – 20 – 25 – 30 - 35
70-100	10 – 15 – 20 - 25 - 30

Dans notre étude on a étudié la susceptibilité thermique pour les deux modifications : le déchet plastique alimentaire et l'association (déchet plastique alimentaire - EVA).

III-a) Déchet plastique alimentaire

Les résultats sont représentés par la figure III- 14 :

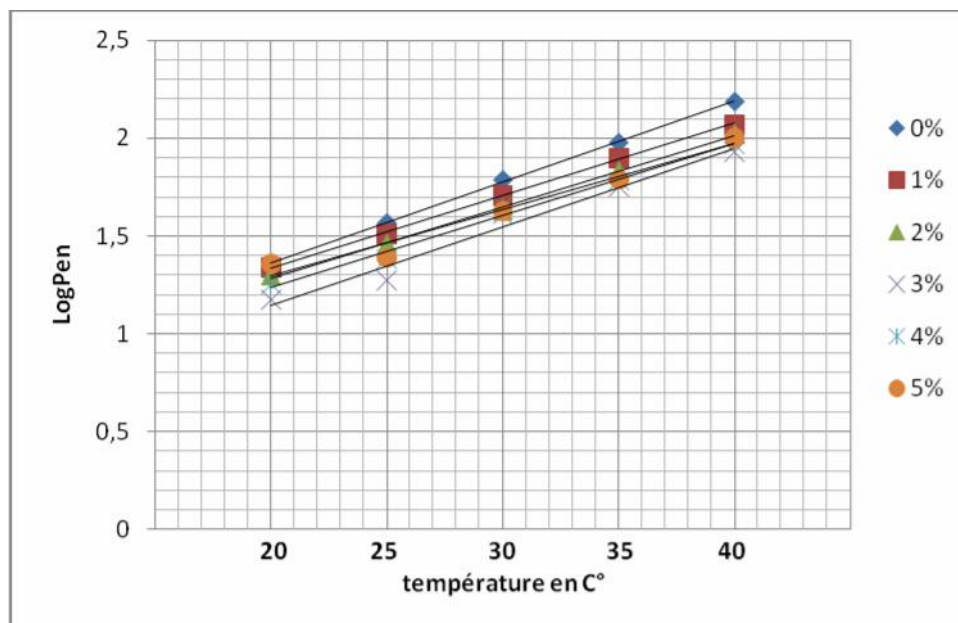


Figure III- 14 : Variation de la pénétrabilité de bitume modifié par déchet plastique alimentaire en fonction de la température

Le calcul de l'indice de pénétration IPest effectué comme pour le bitume pur et les résultats sont donnés dans le tableau III-7 :

Tableau III- 7 : Indice de pénétrabilité par déchet plastique alimentaire

% déchet plastique	A	IP(LCPC)
0	0,043	0,47
1	0,035	0,90
2	0,032	1,53
3	0,025	3,33
4	0,024	3,63
5	0,019	5,38

III-b) L'association (déchet plastique alimentaire – EVA)

Les résultats sont représentés par la figure III- 15 :

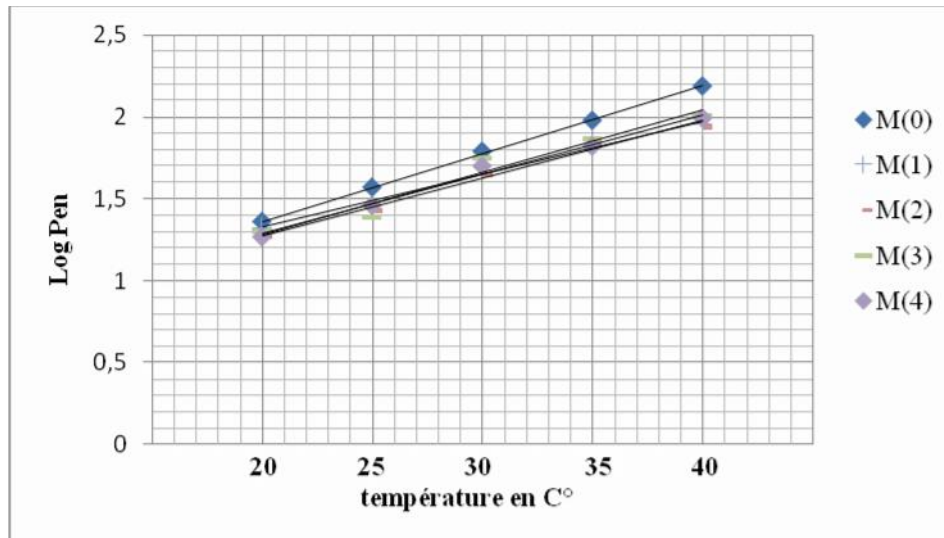


Figure III-15 : Variation de la pénétrabilité de bitume modifié par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) en fonction de la température

Le calcul de l'indice de pénétration IPest effectué comme pour le bitume pur et les résultats sont donnés dans le tableau III- 8 :

Tableau III- 8 : Indice de pénétrabilité de bitume modifié par l'association (déchet plastique alimentaire – EVA)

% déchet plastique	A	IP (LCPC)
M(0)	0,043	0,47
M(1)	0,028	2,5
M(2)	0,030	2
M(3)	0,019	5,38
M(4)	0,036	0,71

Les résultats des tableaux III- 7 et III- 8 montrent que :

- les valeurs de A sont comprises entre 0,015 et 0,06 (intervalle des bitumes routiers), donc les bitumes modifiés dans notre étude sont des bitumes routiers ;
- la susceptibilité thermique des bitumes modifiés diminue par rapport au bitume de base avec l'augmentation de polymère, c'est -à- dire que le polymère a amélioré sa susceptibilité.

IV- Etude des bitumes modifiés au vieillissement

L'oxydation étant due à l'action chimique de l'oxygène de l'air, c'est principalement un phénomène de surface. On conçoit alors que pour une quantité de bitume donné, plus la surface du bitume en contact avec l'air sera importante, plus l'oxydation sera intense, surtout si la température est élevée.

C'est précisément ce qui se produit dans une centrale d'enrobage, au cours du malaxage : le bitume est en film mince, la fine pellicule de liant oxydé à la surface est sans cesse brisée

pendant la durée du malaxage et l'oxygène est présent en abondance puisque l'enrobé n'est pas en cour compacter. Afin d'appréhender le vieillissement des bitumes lors du malaxage, l'essai Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT) permet de simuler un enrobage sévère.

Nous avons testé donc dans notre étude le vieillissement des bitumes modifiés par déchet plastique et par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) et par l'association (NBR – EVA) avec l'essai RTFOT :

IV-1 Déchet plastique alimentaire

a) Pénétrabilité

Les résultats sont donnés par le tableau IV- 1 et schématisés par la figure IV- 1 :

Tableau IV- 1 : Evolution de la pénétrabilité au vieillissement des bitumes modifiés par déchet plastique alimentaire

Teneur en déchet Plastique (%)	0	1	2	3	4	5
pénétrabilité à 25 C°						
Avant RTFOT (1/10mm)	38	33	29	19	24	25
Après RTFOT (1 /10mm)	25	26	22	15	17	19
Pénétrabilité restant (%)	65,78	78,78	75,86	78,94	70,83	76

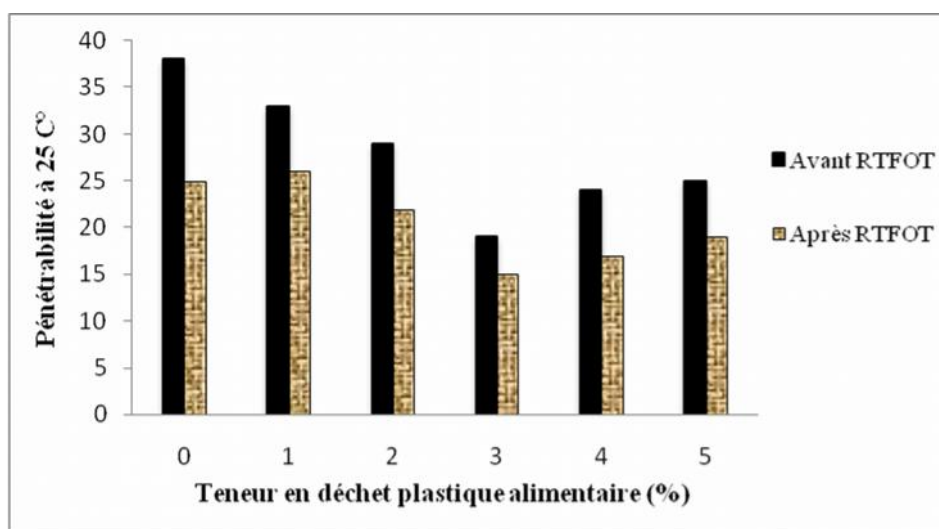


Figure IV- 1: Evolution de la pénétrabilité au vieillissement des bitumes modifiés par déchet plastique alimentaire

La figure IV-1 montrant que les pénétrabilités du bitume pur et des bitumes modifiés par le déchet plastique alimentaire après RTFOT diminuent ;

Nous remarquons aussi que (voir le tableau IV- 1), la pénétrabilité restante augmente avec l'augmentation de la teneur en déchet plastique alimentaire. La même tendance est observée après RTFOT.

b) Température bille et anneau (TBA)

Les résultats sont donnés par le tableau IV- 2 et schématisés par la figure IV- 2 :

Tableau IV- 2 : Evolution de la température bille et anneau (TBA) au vieillissement des bitumes modifiés par déchet plastique alimentaire

Teneur en déchet Plastique (%)	0	1	2	3	4	5
Température bille et anneau (TBA) C°						
Avant RTFOT	51	52	54	59	54	55
Après RTFOT	58	57	57	63	58	59
ΔTBA	7	5	3	4	4	4

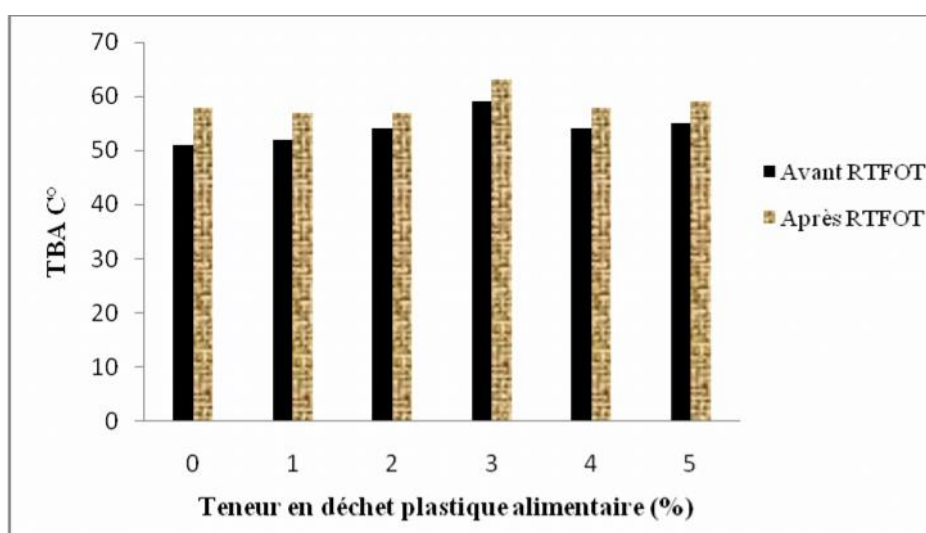


Figure IV- 2 : Evolution de la température bille et anneau (TBA) au vieillissement des bitumes modifiés par déchet plastique

La figure IV- 2 montre que la température bille et anneau (TBA) après RTFOT augmente avec l'augmentation de la teneur en déchet plastique alimentaire;

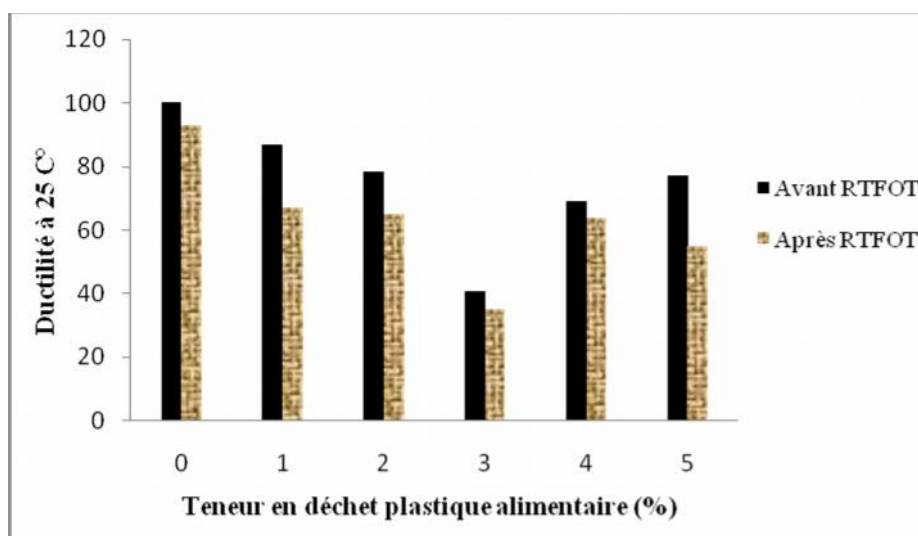
Nous constatons que (voir le tableau IV- 2), les variations de la température bille et anneau (ΔTBA) de bitume modifié par déchet plastique sont inférieures à la variation donnée par le bitume pur. Nous constatons que la teneur 2% de déchet plastique alimentaire donne la faible variation, et les variations des teneurs 3%, 4% et 5% donne la même variation ΔTBA . La même tendance est observée après RTFOT.

c) Ductilité

Les résultats sont donnés par le tableau IV- 3 et schématisés par la figure IV- 3 :

Tableau IV- 3 : Evolution de la ductilité au vieillissement des bitumes modifiés par déchet plastique

Teneur en déchet Plastique (%) Ductilité à 25 C°	0	1	2	3	4	5
Avant RTFOT	100	87	78,5	41	69	77
Après RTFOT	93	67	65	35	64	55

**Figure IV- 3 : Evolution de la ductilité au vieillissement des bitumes modifiés par déchet plastique alimentaire**

La figure IV- 3 montre que les ductilités du bitume pur et des bitumes modifiés par déchet plastique alimentaire après RTFOT diminuent.

IV-2) Association (déchet plastique alimentaire – EVA)

a) Pénétrabilité

Les résultats sont donnés par le tableau IV- 4 et schématisés par la figure IV- 4 :

Tableau IV- 4 : Evolution de la pénétrabilité au vieillissement des bitumes modifiés par l'association (déchet plastique alimentaire – EVA)

Mélanges pénétrabilité à 25 C°	M(0)	M(1)	M(2)	M(3)	M(4)
Avant RTFOT (1/10mm)	38	29	27	29	25
Après RTFOT (1 /10mm)	25	21	21	22	17
Pénétrabilité restant (%)	65,78	72,41	77,77	75,86	68

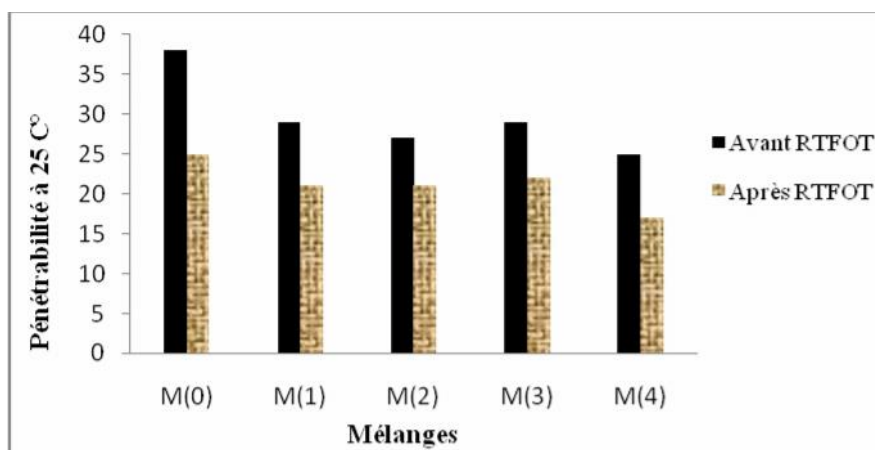


Figure IV- 4 : Evolution de la pénétrabilité au vieillissement des bitumes modifiés par l'association (déchet plastique alimentaire – EVA)

La figure IV- 4 montre que les pénétrabilités du bitume pur et des bitumes modifiés par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) après RTFOT diminuent.

Nous remarquons aussi que la pénétrabilité restante augmente dans tous les mélanges modifiés (voir le tableau IV- 4).

b) Température bille et anneau (TBA)

Les résultats sont donnés par le tableau IV- 5 et schématisés par la figure IV- 5 :

Tableau IV- 5 : Evolution de la température bille et anneau (TBA) au vieillissement des bitumes modifiés par l'association (déchet plastique alimentaire – EVA)

Mélanges Température bille et anneau (TBA) C°	Mélanges				
	M(0)	M(1)	M(2)	M(3)	M(4)
Avant RTFOT	51	57	56	54	57
Après RTFOT	58	59	60	58	60
ΔTBA	7	2	4	4	3

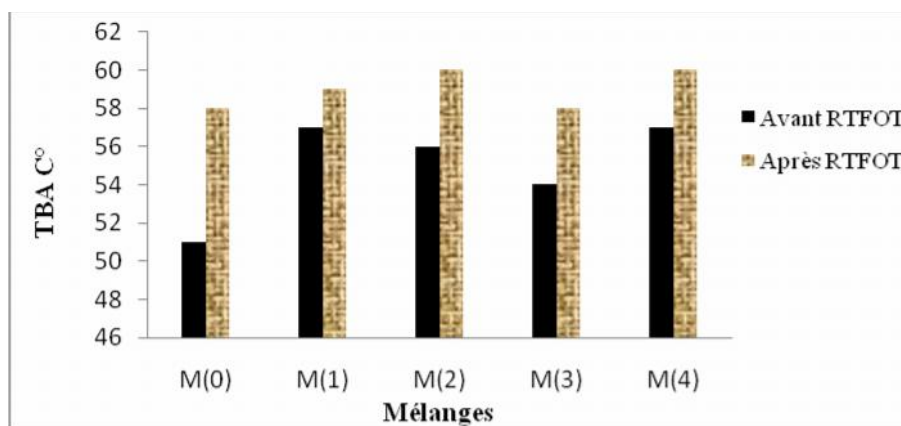


Figure IV- 5 : Evolution de la température bille et anneau (TBA) au vieillissement des bitumes modifiés par l'association (déchet plastique alimentaire – EVA)

La figure IV- 5 montre que la température bille et anneau (TBA) après RTFOT augmente dans tous les mélanges. Nous constatons que (voir le tableau IV- 5), les variations de la température bille et anneau (ΔTBA) de bitume modifié par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) sont inférieures à la variation donnée par le bitume pur, la teneur M(1) donne la faible variation, et les variations des mélanges M(2) et M(3) donne même variation (ΔTBA).

c) Ductilité

Les résultats sont donnés par le tableau IV- 6 et schématisés par la figure IV- 6 :

Tableau IV- 6 : Evolution de la ductilité au vieillissement des bitumes modifiés par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA)

Mélanges Ductilité à 25 C°	M(0)	M(1)	M(2)	M(3)	M(4)
Avant RTFOT	100	56	43	78	126
Après RTFOT	93	37	27	33	53

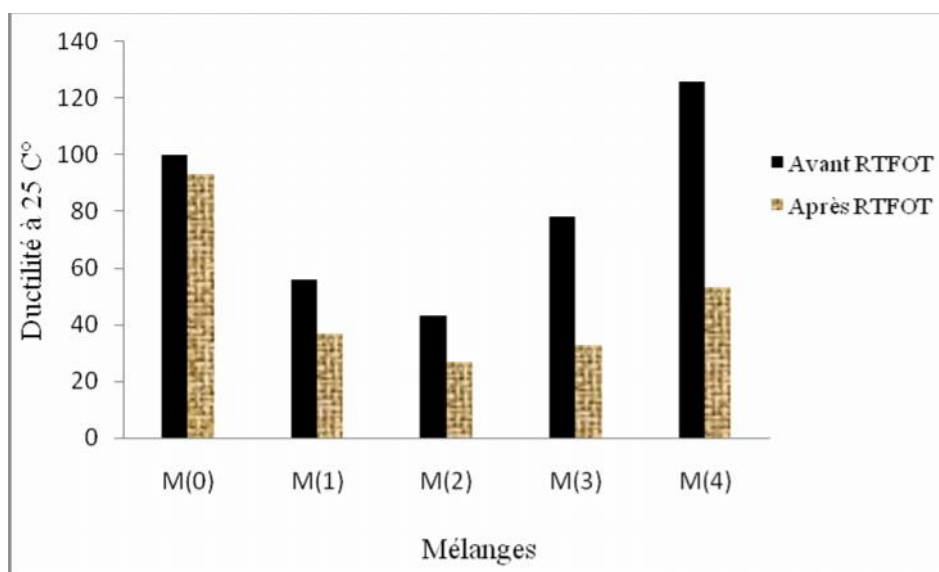


Figure IV- 6 : Evolution de la ductilité au vieillissement des bitumes modifiés par l'association (déchet plastique – EVA)

La figure IV- 6 montre que la ductilité de bitume pur et modifié par l'association (déchet plastique - EVA) après RTFOT diminue. La plus grande variation est obtenue pour M (4).

IV-3 Association (NBR – EVA)

L'association (NBR - EVA) a été effectuée (selon le tableau IV- 7):

Tableau IV- 7 : Désignation des liants modifié par l'association (NBR - EVA)

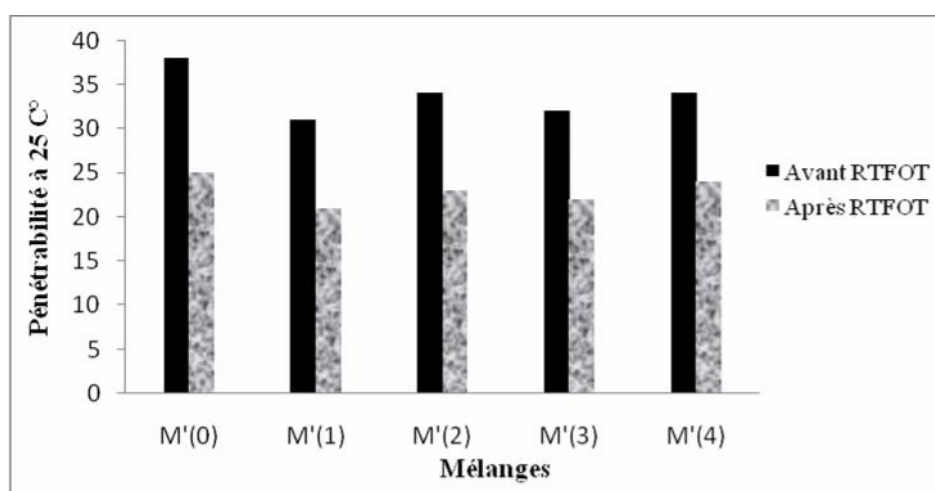
Mélanges	Teneurs totales des modifiants (NBR - EVA) (%)	NBR (%)	EVA (%)	Temps de malaxage
M'(0)	0	0	0	-
M'(1)	5	50	50	2h
M'(2)	5	75	25	2h
M'(3)	2	50	50	2h
M'(4)	2	75	25	2h

a) Pénétrabilité

Les résultats sont donnés par le tableau IV- 7 et schématisés par la figure IV- 7 :

Tableau IV- 8 : Evolution de la pénétrabilité au vieillissement des bitumes modifiés par l'association (NBR – EVA)

Mélanges pénétrabilité à 25 C°	M'(0)	M'(1)	M'(2)	M'(3)	M'(4)
Avant RTFOT (1/10mm)	38	31	34	32	34
Après RTFOT (1 /10mm)	25	21	23	22	24
Pénétrabilité restant (%)	65,78	67,74	67,64	68,75	70,58

**Figure IV- 7 : Evolution de la pénétrabilité au vieillissement des bitumes modifiés par l'association (NBR – EVA)**

La figure IV- 7 montre que les pénétrabilités du bitume pur et des bitumes modifiés par l'association (NBR -EVA) après RTFOT diminuent, la pénétrabilité restante augment pour tous les mélanges (Voir le tableau IV- 8). La même tendance est observée après RTFOT.

b) Température bille et anneau (TBA)

Les résultats sont donnés par le tableau IV- 8 et schématisés par la figure IV- 8 :

Tableau IV- 9 : Evolution de la température bille et anneau (TBA) au vieillissement des bitumes modifiés par l'association (NBR – EVA)

Mélanges	M'(0)	M'(1)	M'(2)	M'(3)	M'(4)
Température bille et anneau (TBA) C°					
Avant RTFOT	51	56	53	52	51
Après RTFOT	58	59	57	55,5	55
ΔTBA	7	3	4	2,5	4

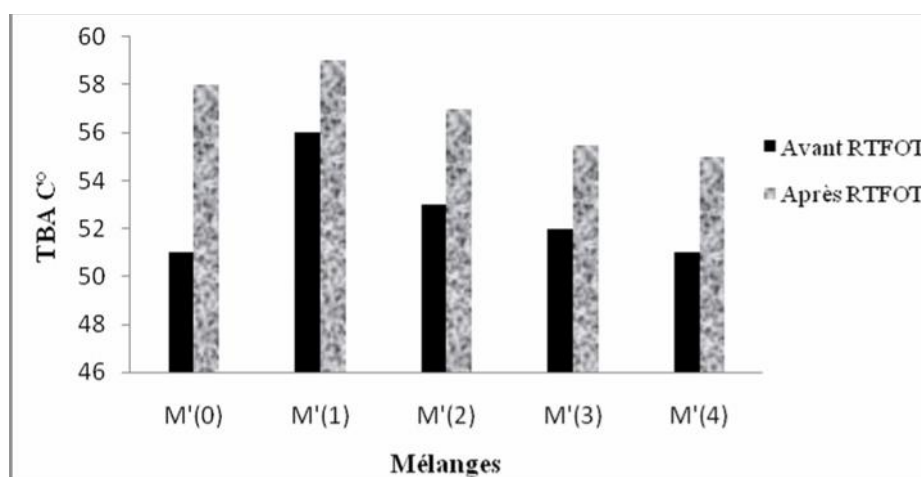


Figure IV- 8 : Evolution de la température bille et anneau (TBA) au vieillissement des bitumes modifiés par l'association (NBR – EVA)

La figure IV- 8 montre que la température bille et anneau (TBA) après RTFOT augmente dans tous les mélanges.

Les variations de la température bille et anneau (ΔTBA) des bitumes modifiés par l'association (NBR - EVA) sont inférieures à la variation obtenues par le bitume pur (voir le tableau IV- 9).

c) Ductilité

Les résultats sont donnés par le tableau IV- 9 et schématisés par la figure IV- 9 :

Tableau IV- 10 : Evolution de la ductilité au vieillissement des bitumes modifiés par l'association (NBR - EVA)

Mélanges	M'(0)	M'(1)	M'(2)	M'(3)	M'(4)
Ductilité à 25 C°					
Avant RTFOT	100	18	20	36	36

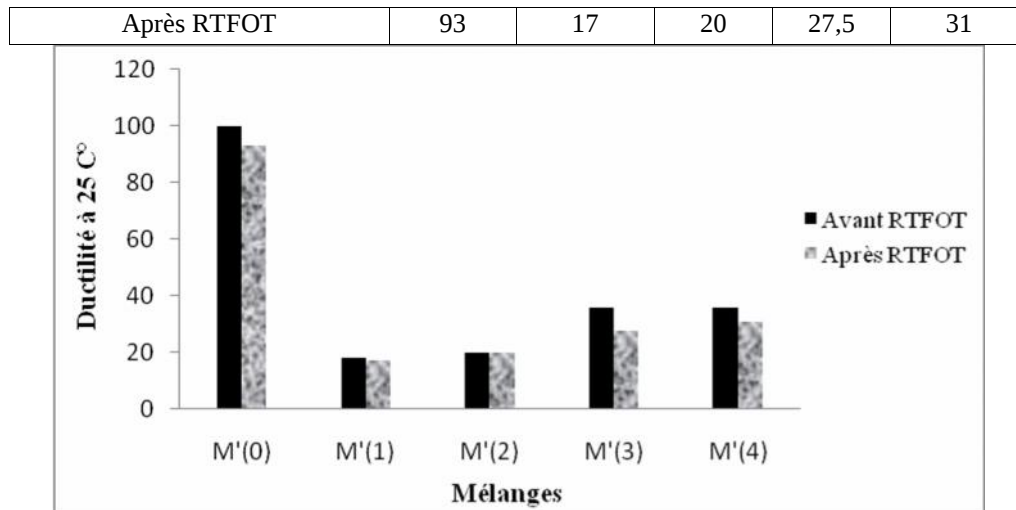


Figure IV- 9 : Evolution de la ductilité au vieillissement des bitumes modifiés par l'association (NBR – EVA)

La figure IV- 9 montre que la ductilité du bitume pur et des bitumes modifiés par l'association (NBR - EVA) après RTFOT diminuent faiblement.

V- Conclusion sur l'étude expérimentale des liants modifiés

L'incorporation du déchet plastique ou l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) dans le bitume améliore les caractéristiques du bitume modifié :

Pour les bitumes:

- diminue la pénétrabilité,
- augmente la température de ramollissement,
- diminue la susceptibilité thermique, bitume moins vulnérabilité thermique,
- augmente la ductilité, ce que traduit par une augmentation de la résistance à la traction.

Le bitume modifié par la teneur 3% de déchet plastique donne le meilleur résultat, c'est – à – dire une faible pénétrabilité et une grande température de ramollissement (TBA) dans notre étude;

Par contre le bitume modifié par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) et surtout le mélange M(4) [3% (75% de déchet plastique alimentaire +25% d'EVA)] donne une bonne ductilité c'est - à – dire une grande résistance à la traction de bitume modifié.

Pour le vieillissement des bitumes :

De l'examen de vieillissement des bitumes, il ressort que tous les bitumes modifiés par déchet plastique alimentaire ou par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) ou par l'association (NBR - EVA) ou le bitume pur subissent un vieillissement après leur passage à l'essai RTFOT, ce vieillissement s'exprime par :

- Une diminution de la pénétrabilité ;

- Une augmentation de la température bille et anneau (TBA);
- Une diminution de la ductilité.

Mais les bitumes modifiés par déchet plastique alimentaire ou par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) ou par l'association (NBR- EVA) ont donné des résultats mieux que ceux obtenues par le bitume pur, donc la résistance au vieillissement augment avec l'augmentation de la teneur en polymère ;

Nous remarquons que les résultats de ΔTBA et pénétrabilité restant des bitumes modifiés par déchet plastique alimentaire ou par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) ou par l'association (NBR – EVA) concordent avec les spécifications préconisées pour le bitume de classe 35/50.

A fin Les caractéristiques des bitumes modifiés subissent un grand changement par rapport à la caractéristique du bitume pur.

Partie III :

Etude expérimentale sur les
enrobés bitumineux

La qualité d'une route dépend essentiellement de la qualité du bitume et des granulats et la mise en œuvre. Les mélanges hydrocarbonés sont constitués de deux matériaux :

- Les granulats qui constituent le squelette minéral ;
- Le bitume qui a pour rôle d'assurer la liaison entre ces derniers,

Dans cette partie nous exposons l'origine des matériaux des granulats, les essais de caractérisations ainsi que des essais mécaniques de formulation (Marshall) et de la traction indirecte.

I - Etude des granulats

Les granulats représentent près de 95 % d'un enrobé bitumineux. Il est donc important de bien les caractériser afin de faire un choix optimal lors de la formulation et de la fabrication d'un enrobe performant.

I-1- Origine des granulats

Le granulat est un matériau granulaire utilisé en construction ou bien est un ensemble des grains, qui participe intimement aux performances et à la durabilité des ouvrages.

On distingue deux catégories de granulats :

- Naturels, lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives, extraites in situ, et qu'ils ne subissent aucun traitement autre que mécanique,
- Artificiels, lorsqu'ils proviennent soit de la transformation thermique de roches, minerais et déchets, soit de la démolition d'ouvrages divers.

Dans notre étude nous avons utilisé les granulats suivants :

- Fraction 0/3, provenant de la carrière d'ELHACHIMIA de la wilaya de BOUMERDES (Algérie) ;
- Fraction 3/8 et 8/15, provenant de la carrière d'ELHACHIMIA de la wilaya de BOUMERDES (Algérie).

I-2- Analyse chimique

Les minéraux jouent un rôle important, sur la qualité de l'adhésivité avec les liants hydrocarbures.

Les résultats de l'analyse chimique sont donnés par le tableau I- 1:

Tableau I- 1: Analyse chimique sommaire des différents types de granulats

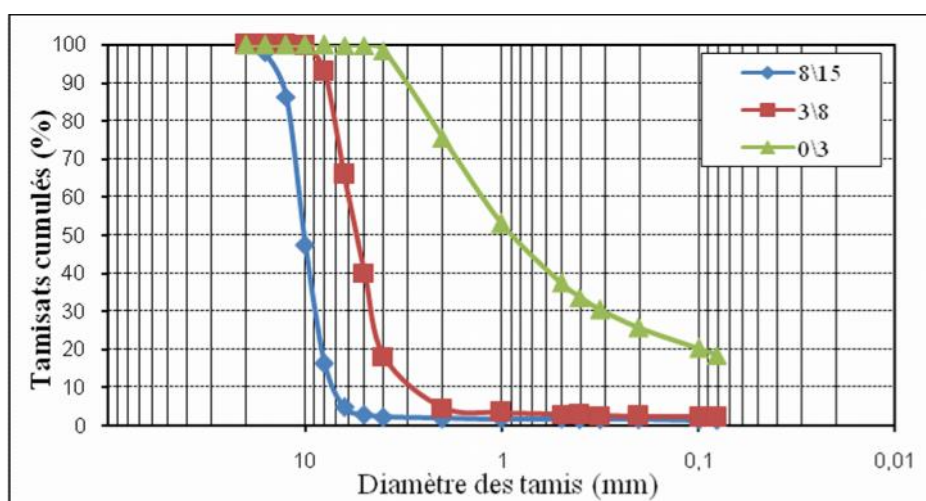
Échantillon	Sable 0/3	Gravier 3/8	Gravier 8/15
Insolubles (SiO_2 +Silicates)	4,8	6,3	5,2
Oxyde de fer et d'Al (Fe_2O_3 + Al_2O_3)	1,83	1,75	2,6
Gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$)	Traces	Traces	Traces
Chlorures (NaCl)	0,29	0,47	0,41
Carbonates (CaCO_3)	94,78	92,04	91,65
Anhydride Carbonique CO_2	41,70	40,50	40,32
Perte au feu	42,66	41,68	41,98
Eau de constitution	0,96	1,18	1,66
Bilan chimique pondéral	102,66	101,74	101,52

Le tableau I- 1 de L'analyse chimique montre que :

- Le sable d'ELHACHMIA à une forte teneur en carbonates (CaCO_3), il s'agit d'un sable calcaire.
- Les gravillons d'ELHACHIMIA sont de nature calcaire.

I-3 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est un essai qui permet de déterminer les dimensions des grains. La figure I- 1 représente les courbes granulométriques.



Les trois fractions présentent des granularités continues.

I-4 Les caractéristiques intrinsèques et de fabrication

Les caractéristiques des différentes classes de granulats sont données par Le (tableau I- 2) :

Tableau I- 2: Caractéristiques des granulats

Essais	classe	0/3	3/8	8/15	Observation
Propreté (%)		/	4,97	0,91	< 2 Bon à moyen
Los Angeles (%)		/	22,18	21,61	20<LA<30 Moyen
Micro-Deval (%)					
• Humide	/	18,9	18,7		13<MDE<20 Bon à
• Sec		5,2	5,1		Moyen
					MDS<13 Très bon
Aplatissement	/	14,18	9,23		≤ 20%
Équivalent de sable(%)	72	Sable propre			
Densité spécifique	2,55	2,65	2,60	/	

Les résultats du tableau I- 2 indiquent que les deux fractions 3/8 et 8/15 ont des caractéristiques mécaniques moyennes à bonnes, donc les différents essais effectués (LA, MDE, ES, etc.) sur les granulats montrent que les matériaux choisis présentent, de bonnes caractéristiques en qualités intrinsèques.

Conclusion

L'analyse des granulats utilisés pour la fabrication des enrobés bitumineux a conduit aux caractéristiques suivantes :

- Sable calcaire propre ;
- Gravier calcaire ;
- Poids spécifique satisfaisants ;
- Gravier de bonnes caractéristiques mécaniques ;

Les granulats ont donc de bonnes caractéristiques pour être utilisés dans la fabrication des enrobés bitumineux.

II- Enrobés bitumineux

L'enrobé bitumineux est un mélange de granulats minéraux et de liant hydrocarbonés dosés dans des proportions convenables. C'est aussi un corps hétérogène dont le bitume lui confère son caractère visqueux, alors que sa partie minérale est responsable de sa résistance.

Dans leur domaine d'utilisation, les enrobés présentent des caractéristiques mécaniques variables selon leur sollicitation par le climat et le trafic routier.

II-1 Formulation de l'enrobé

II-1-1 Courbe granulométrique du mélange

Selon les méthodes de formulation en vigueur dans le différent laboratoire de travaux publics de notre pays, nous avons choisi un mélange granulaire composé de trois fractions granulométrique concernées (0/3, 3/8 et 8/15) s'insérant parfaitement dans un fuseau de référence (Fuseau SETRA/LCPC BB 0/14). La courbe granulométrique qui s'insère dans le fuseau de spécification est obtenue pour les proportions suivantes tableau II- 1:

Tableau II- 1: Pourcentages pondéraux des différentes classes

Fraction	Provenance	Pourcentages Pondéraux (%)
0/3	ELHACHIMIA	35
3/8	ELHACHIMIA	30
8/15	ELHACHIMIA	35

La figure II- 1 montre le mélange 0/14 et le fuseau de spécification :

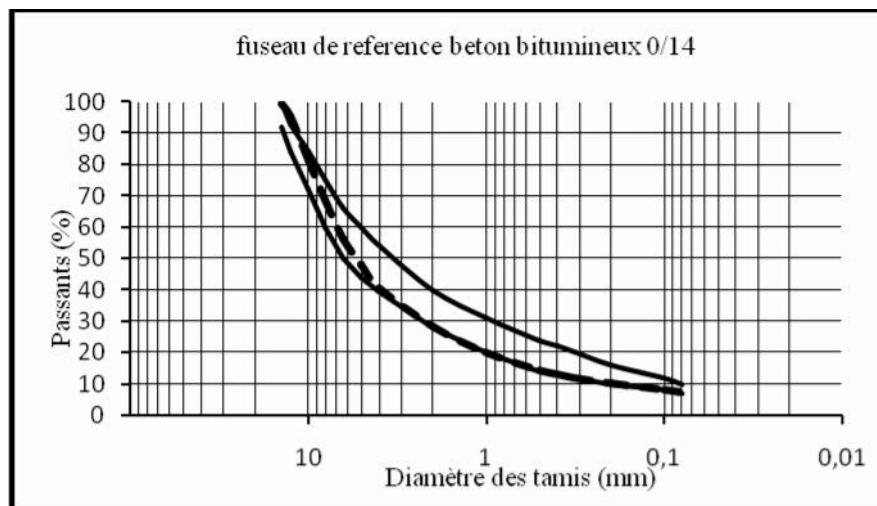


Figure II- 1 Courbe granulométriques du fuseau et du mélange 0/14

II-1-2 Détermination de la teneur optimale en liant

La teneur en liant pour un béton bitumineux semi-grenu 0/14 est déterminée en pourcentage du poids des agrégats par la méthode basée sur le module de richesse et la surface spécifique [Arr 1959, Dur 1962], donnée par la formule II- 1:

$$L = \alpha \cdot K \cdot \sqrt{\Sigma} \quad \text{II- 1}$$

Avec

$$\alpha = 2,65 / P_i \cdot 6_i \quad \text{II- 2}$$

et

$$\Sigma = (0,25G + 2,30S + 12s + 135f)/100 \quad \text{II- 3}$$

- P_i : Pourcentage de la fraction i.
 ρ_i : Poids spécifique de la fraction i.
 K : module de richesse.
 G : Pourcentage de refus supérieur ou égal à 6.3 mm.
 S : Pourcentage de refus compris entre 0.315 mm et 6.3 mm.
 s : Pourcentage de refus compris entre 0.08 mm et 0.315 mm.
 f : Pourcentage de passant à 0.08 mm.

Conformément à la spécification, l'étude de formulation des bétons bitumineux a donné les résultats suivant le tableau II- 2, pour les matériaux utilisés (bitume 35/50, sable calcaire et gravier siliceux) :

Tableau II- 2: composition de la formule utilisé

Fraction granulaire	0/3	3/8	8/15
% du mélange	35	30	35
Teneur en liant (%)	5,8		

II-2 Les essais sur les enrobés bitumineux

II-2-1 Essai Marshall

L'essai Marshall permet de déterminer la « stabilité » et le « fluage » Marshall d'une éprouvette cylindrique soumise à une compression exercée suivant sa génératrice et ce, pour un compactage énergétique donné (50 coups de marteau appliqués en 55 secondes environ sur chaque face de l'éprouvette).

Cette compression est appliquée sur l'éprouvette à une vitesse de 0,86mm/s après une demi-heure d'immersion à 60°C.

Les mesures effectuées à partir de l'essai Marshall sont :

- La « stabilité » Marshall (SM) est la charge maximale atteinte au moment de la rupture de l'éprouvette, exprimée en (kN).
- Le « fluage » Marshall (FM) est l'affaissement de cette même éprouvette à sa rupture par compression exprimé en (mm).

A l'issue de l'essai, nous avons mesuré la force maximale ainsi que le fluage correspondant. Avant l'essai nous avons déterminé les compacités et le volume des vides d'air des différentes éprouvettes.

Dans notre étude on a effectué l'essai de Marshall sur deux type d'enrobés bitumineux:

- Enrobé à base de bitume modifié par déchet plastique alimentaire ;
- Enrobé à base de bitume modifié par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA).

II-2-1-1 Essai Marshall sur enrobé à base de bitume modifié par déchet plastique alimentaire

a) Stabilité Marshall « SM » et fluage Marshall « FM »

Les figures II- 2 et II- 3 montrent les résultats de la stabilité Marshall et du fluage Marshall.

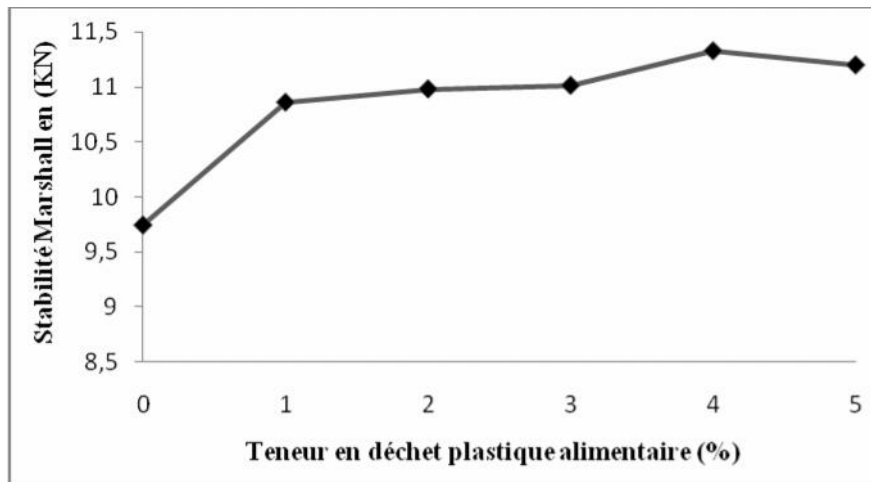


Figure II- 2: Stabilité et Marshall en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire

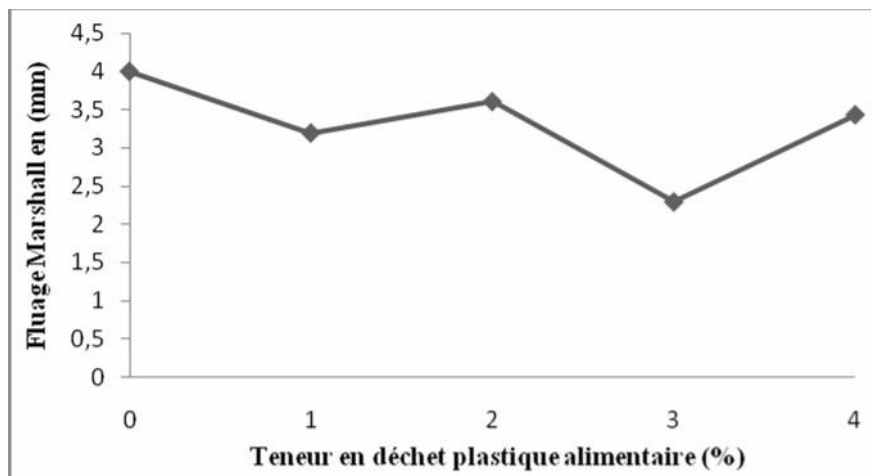


Figure II- 3: Fluage Marshall en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire

les figures II- 2 et II- 3 montrant que :

- L'incorporation du déchet plastique dans le bitume influe positivement sur la stabilité Marshall pour les différentes teneurs étudiées. Cette stabilité est maximale pour 4% de déchet plastique ;
- Le fluage Marshall minimal dans ce cas pour un enrobé bitumineux à 3% de déchet plastique.

b) Quotient Marshall « QM »

Le quotient Marshall noté « QM » est un indicateur pour la résistance aux déformations permanentes, contraintes de cisaillement et aussi pour l'orniérage des enrobés bitumineux. Les plus grandes valeurs du quotient indiquent que les mélanges sont plus résistants aux déformations permanentes.

Les valeurs de QM ont été calculées pour les différents mélanges et sont représentées sur la figure II- 4:

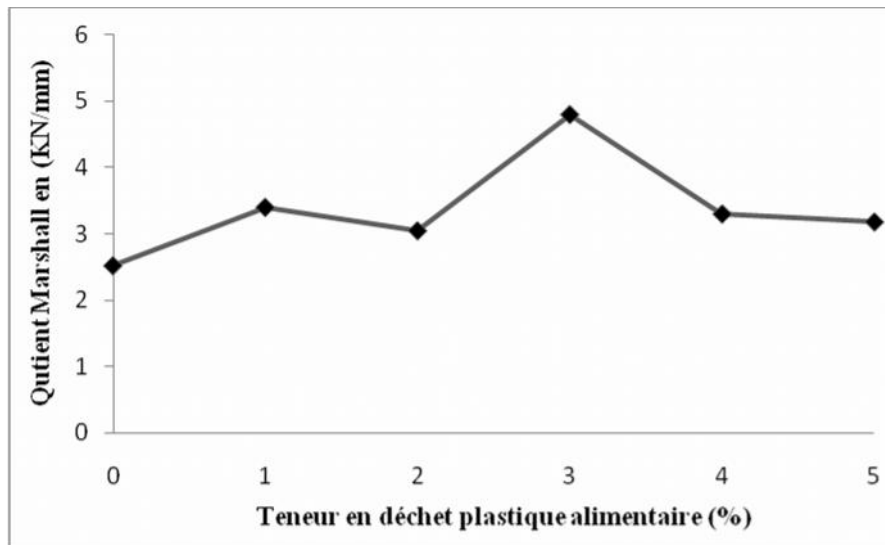


Figure II- 4 Quotient Marshall en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire

La figure II- 4 montre que la courbe de quotient Marshall passe par un maximum à 3%. Qui globalement les mélanges modifiés améliorent la résistance a la déformation permanente par rapport à l'enrobé de référence. Cette amélioration est obtenue à 3%.

La figure II- 5 représente les variations des quotients Marshall des enrobés bitumineux modifiés par le déchet plastique alimentaire par rapport à l'enrobé bitumineux de référence.

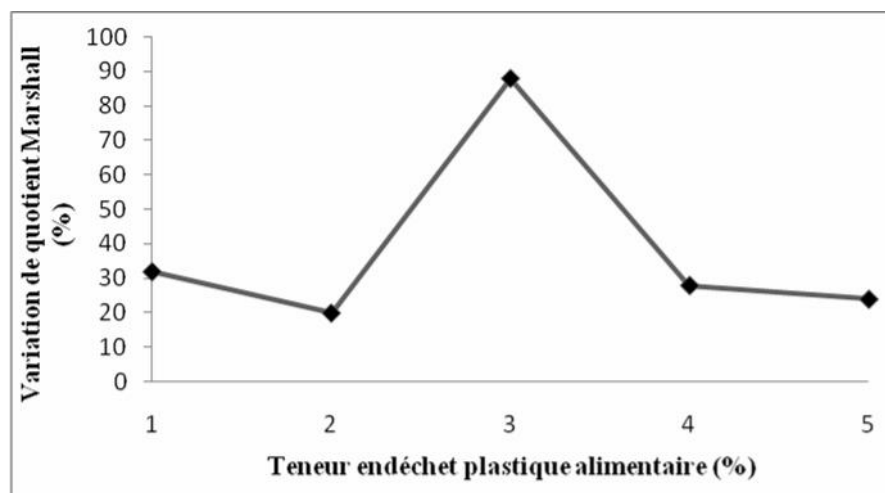


Figure II- 5 : Variations des quotients Marshall des enrobés bitumineux modifiés par le déchet plastique alimentaire par rapport a l'enrobé bitumineux par le bitume pur

Le gain est de l'ordre de 88% pour les enrobés bitumineux modifiés à 3% de déchet plastique alimentaire.

c) Les compacités

Les compacités obtenues sont représentées sur la figure II- 5:

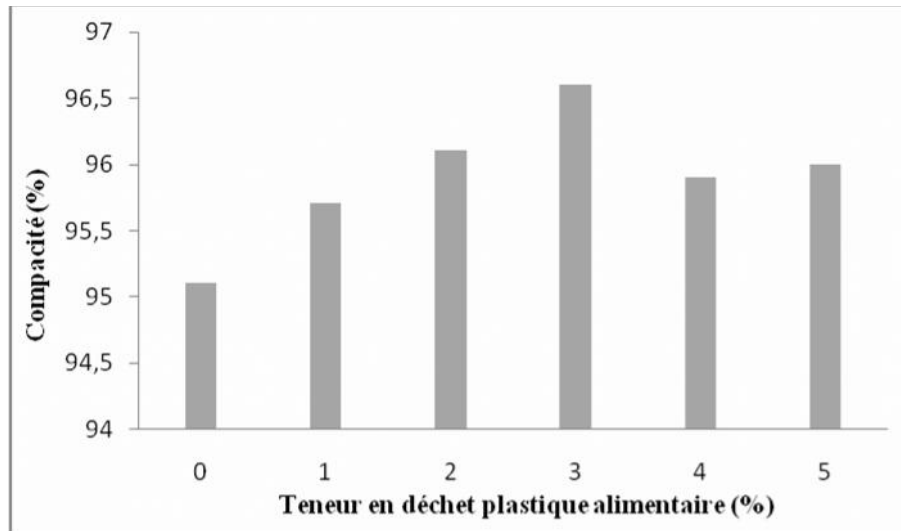


Figure II- 6: Compacité Marshall en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire

La figure II- 6 montre que la compacité est maximale pour 3% de déchet plastique alimentaire, La modification du bitume par le déchet plastique alimentaire a amélioré les compacités des l'enrobés bitumineux.

II-2-1-2 Essai Marshall sur enrobé a base de bitume modifié par l'association (déchet plastique alimentaire – EVA)

a) Stabilité Marshall « SM » et fluage Marshall « FM »

Les figures II- 6 et II- 7 montrent les résultats de la stabilité Marshall et du fluage Marshall de enrobé a base de bitume modifié par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA).

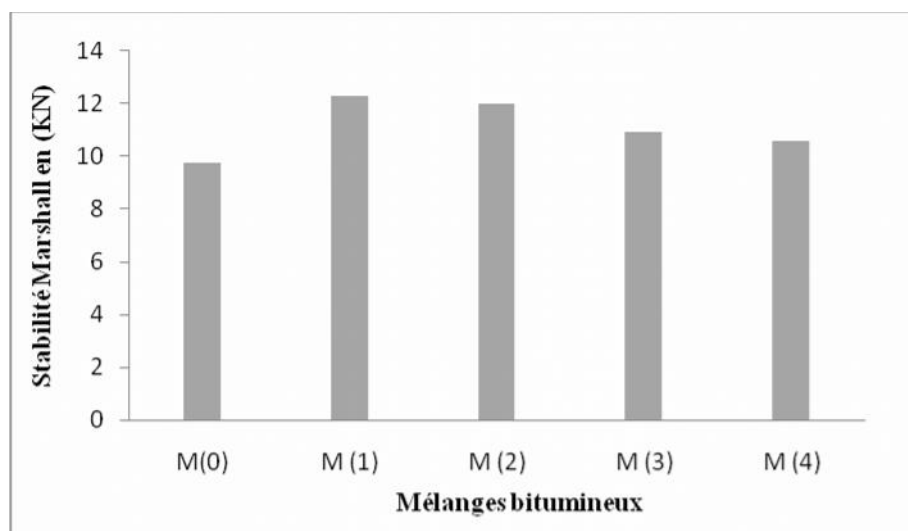


Figure II- 7 : Stabilité Marshall en fonction de la teneur en l'association (déchet plastique alimentaire - EVA)

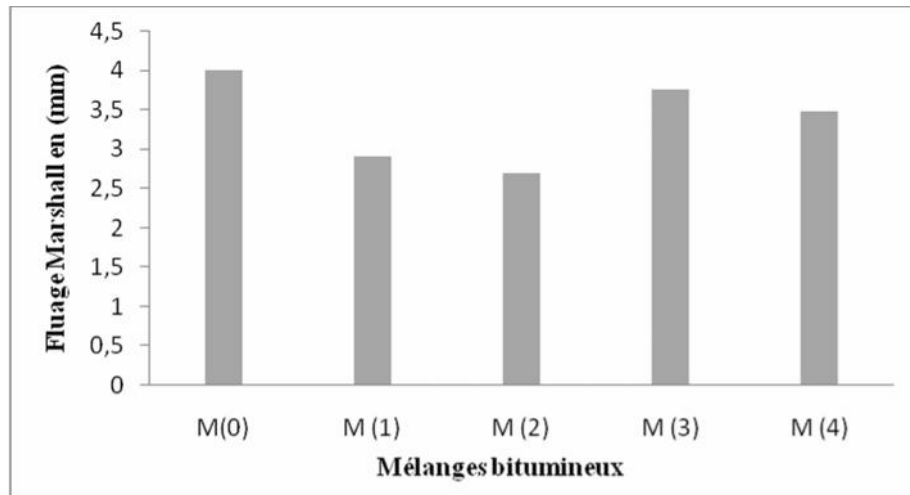


Figure II- 8 : Fluage Marshall en fonction de la teneur en association (déchet Plastique alimentaire - EVA)

les figures II- 7 et II- 8 montrent que :

- L'incorporation de l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) dans le bitume influe positivement sur la stabilité Marshall pour les différents mélanges étudiés. Cette stabilité est maximale pour les deux mélanges BM(1) et BM(2);
- Le fluage Marshall est minimal pour un enrobé bitumineux dans ce cas les deux mélanges BM(1) et BM(2) présentant aussi les plus faibles valeurs du fluage.

b) Quotient Marshall « QM »

Les valeurs de QM ont été calculées pour les différents mélanges des enrobés bitumineux à base de bitume modifié par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) sont représentées sur la figure II- 9:

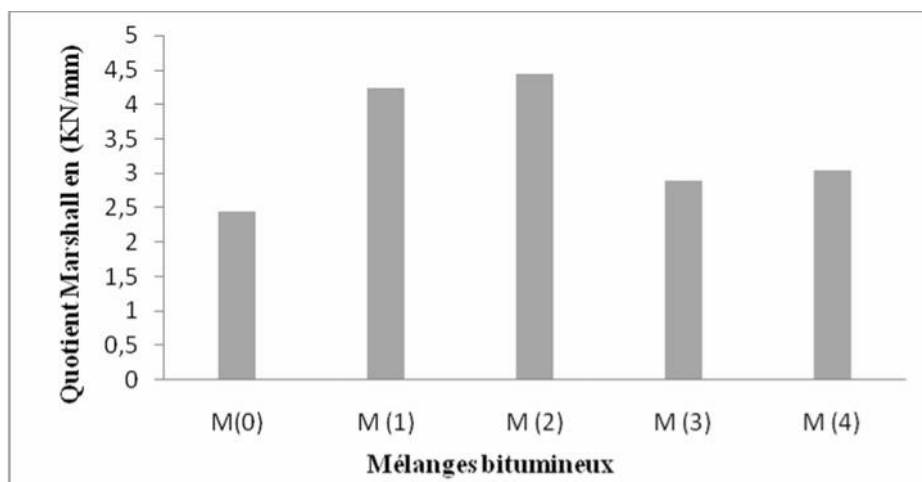


Figure II- 9 Quotient Marshall en fonction de la teneur en association (déchet plastique - EVA)

La figure II- 9 montre que

- L'association (déchet plastique alimentaire – EVA) améliore le quotient Marshall pour tous les mélanges modifiés comparés à l'enrobé de référence ;
- les mélanges BM(1) et BM(2) ont les plus grandes valeurs du quotient. Ils sont donc les plus résistants aux déformations permanents.

La figure II- 10 représenté les variations des quotients Marshall des enrobés bitumineux modifiés par l'association (déchet plastique alimentaire – EVA) par rapport a l'enrobé bitumineux de référence.

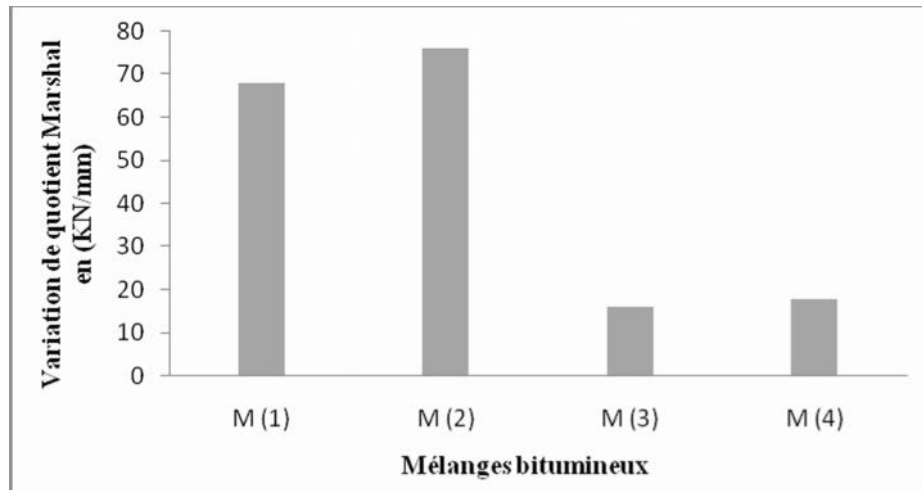


Figure II- 10 : Variations des quotients Marshall des enrobés bitumineux modifiés par le l'association (déchet plastique alimentaire – EVA) par rapport a l'enrobé de référence

Le gain est de l'ordre de 76% pour le mélange de enrobés bitumineux modifiés M(2).

c) Les compacités

Les compacités des enrobés bitumineux à base de bitume modifie par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) obtenues sont représentées sur la figure II- 9:

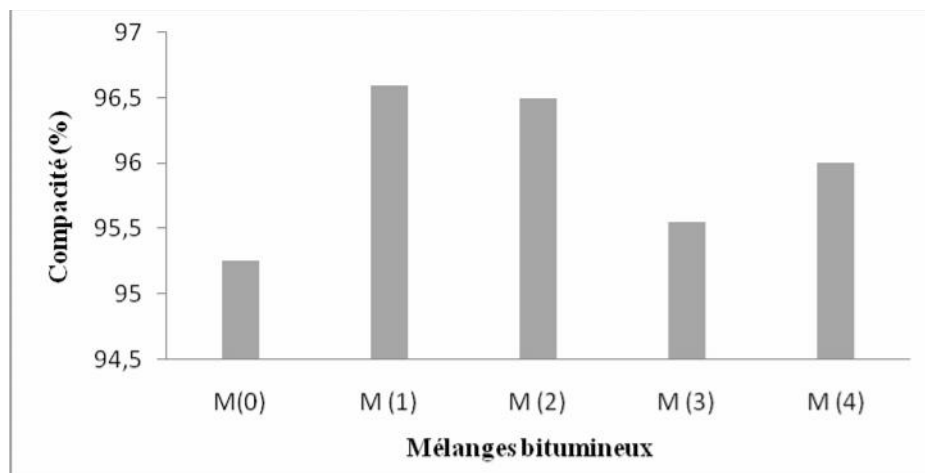


Figure II- 11: Compacité Marshall en fonction de la teneur en association (déchet plastique - EVA)

La figure II- 11 montre que l'association (déchet plastique alimentaire – EVA) amélioré la compacité pour tous les mélanges modifiés comparés à l'enrobé de référence. Les plus grande valeurs des compacités sont obtenues pour les mélanges modifiés BM(1) et BM(2).

II 2-1-3 Quotient Marshall des enrobés bitumineux modifiés optimum 3% de déchet plastique alimentaire, 5% d'EVA et BM(2)

La figure II- 12 représente les résultats du quotient Marshall comparatif entre les teneurs optimums de 3% de déchet plastique alimentaire, 5% d'EVA et BM (2) :

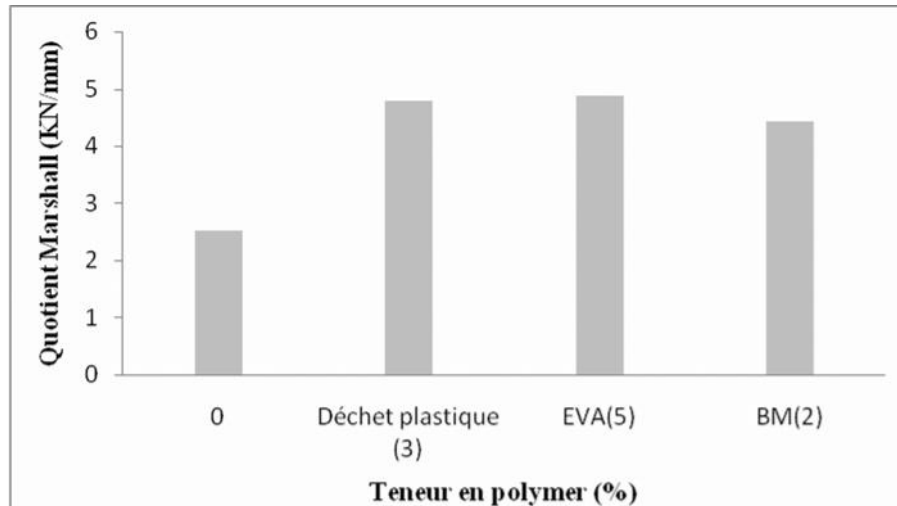


Figure II- 12 : Quotient Marshall des enrobés bitumineux modifiés optimum 3% de déchet plastique alimentaire, 5% d'EVA et BM(2)

La figure II- 12 montre que :

- Les enrobés bitumineux modifiés sont plus résistants aux déformations permanentes par rapport à l'enrobé bitumineux de référence ;
- Les enrobés bitumineux à base d'EVA sont les plus résistants aux déformations permanentes puis les enrobés bitumineux à base de déchet plastique alimentaire puis l'association entre eux.

Conclusion

Dans notre étude expérimentale sur l'essai de Marshall nous avons observé que :

- Pour les enrobés bitumineux à base de bitumes modifiés par le déchet plastique alimentaire le meilleur résultat donné est de teneur 3% de déchet plastique alimentaire ;
- Par contre les enrobés bitumineux à base des bitumes modifiés par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) le meilleur résultat est obtenu pour le mélange BM(2) c'est-à-dire le teneur 5% [déchet plastique 75% - EVA 25%].

II-2-2 Essai de traction indirecte (NF EN12697-23)

Dans notre étude on a effectuée l'essai de traction indirect à différentes températures (20°C et 40°C) sur deux types d'enrobés :

- Enrobé à base de bitume modifié par déchet plastique alimentaire ;
- Enrobé à base de bitume modifié par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA).

II-2-2-1 Essai de traction indirecte sur les enrobés à base de bitume modifié par déchet plastique alimentaire

a) La charge maximale et la déformation de l'essai traction indirect

Les figures II- 13 et II- 14 représentent les résultats de l'essai de traction indirect à différentes températures (20°C et 40°C) en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire.

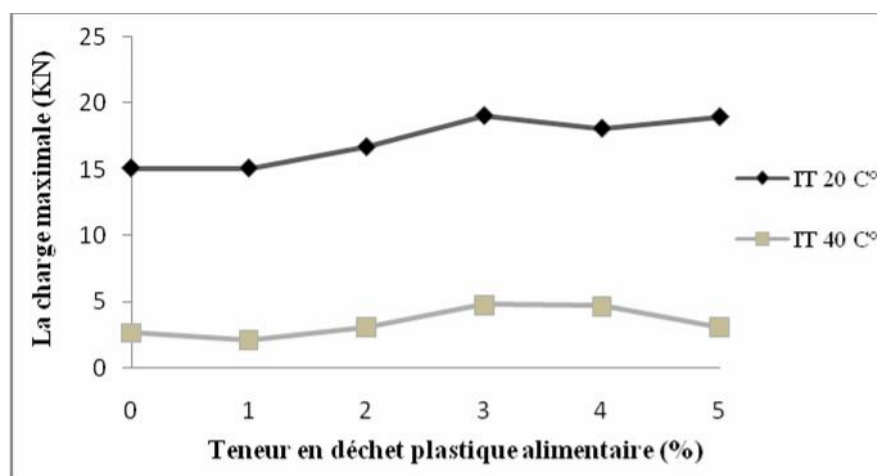


Figure II- 13 : La charge maximale de l'essai traction indirecte en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire

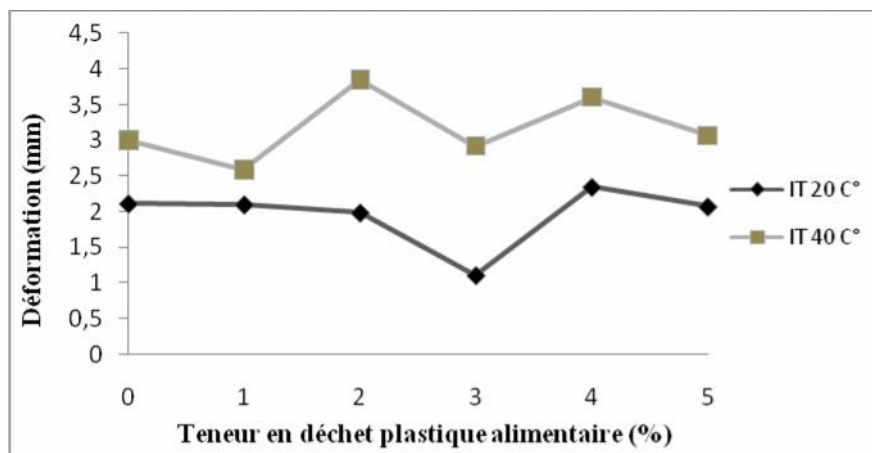


Figure II- 14 : Déformation de l'essai traction indirecte en fonction de la teneur en déchet plastique

b) La résistance à la traction indirecte (ITS)

La figure II- 15 représente les résultats de la résistance à la traction indirecte en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire. (ITS), elle est calculée selon la formule suivant :

$$ITS = \frac{2P}{\pi DH}$$

Avec :

- P : est la charge maximale;
- D : est le diamètre de l'éprouvette;
- H : est la hauteur de l'éprouvette.

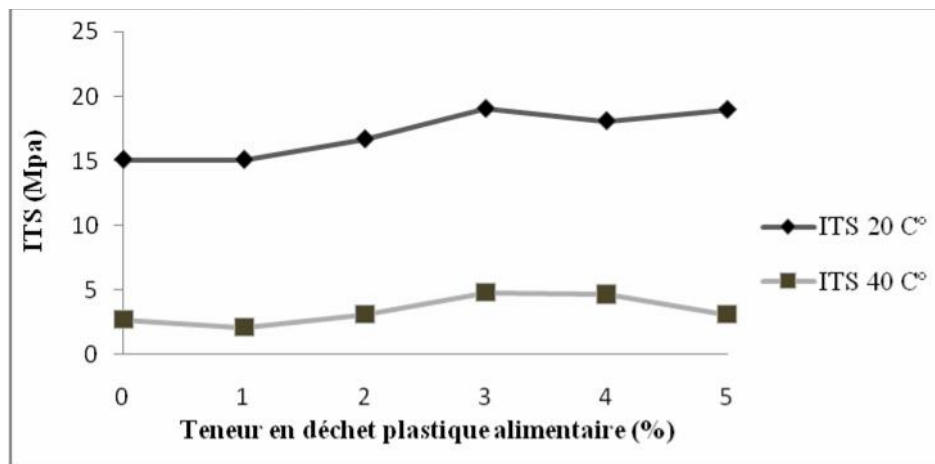


Figure II- 15 : Résistance à la traction indirecte en fonction de la teneur en déchet plastique alimentaire

D'après la figure II- 15 nous constatons que Le béton bitumineux modifié à 3 % donne la meilleure résistance à la traction à la température 20°C. Le béton bitumineux modifié à 3 % et 4% donne les meilleures résistances à la traction à la température 40°C.

II-2-2-2 Essai de traction indirecte sur les enrobés à base de bitume modifié par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA)

a) La charge maximale et la déformation de l'essai traction indirect

Les figures II- 16 et II- 17 représenté Les résultats de l'essai de traction indirecte à différente température (20°C et 40°C) en fonction de la teneur en association (déchet plastique - EVA) :

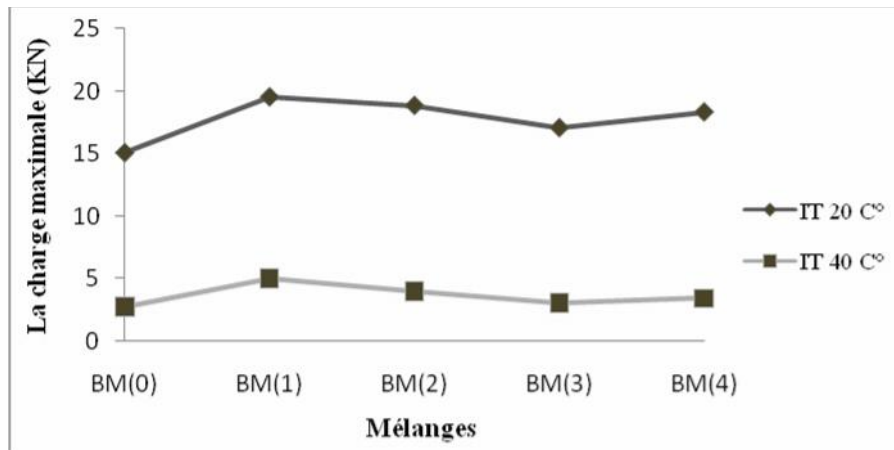


Figure II- 16 La charge maximale de l'essai traction indirecte en fonction de la teneur en association (déchet plastique – EVA)

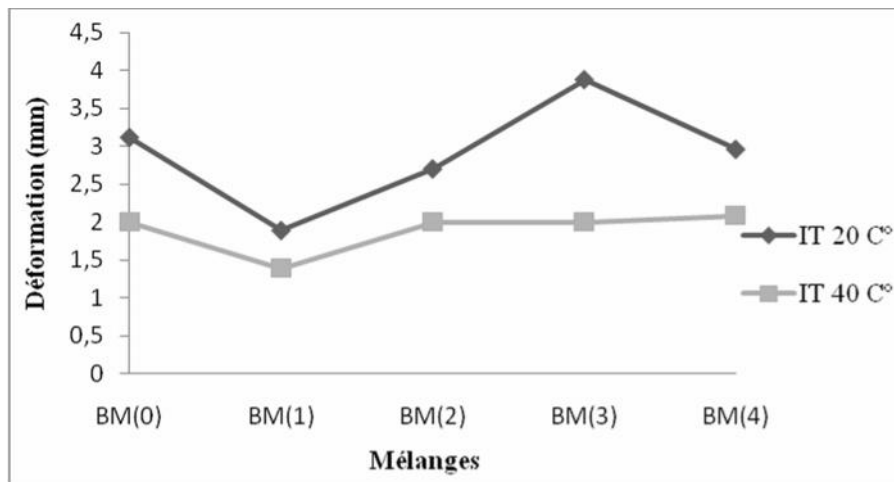


Figure II- 17 : Déformation de l'essai traction indirecte en fonction de la teneur en association (déchet plastique - EVA)

Les figures II- 16 et II- 17 montrent que :

- Le mélange BM(1) à base de bitume modifié par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) donne les meilleures valeurs des charges maximales et des déformations correspondants dans l'essai traction indirect à 20C° et à 40 C°.

b) La résistance à la traction indirecte (ITS)

La figure II- 18 représente la résistance à la traction indirecte en fonction de la teneur en association (déchet plastique alimentaire - EVA) :

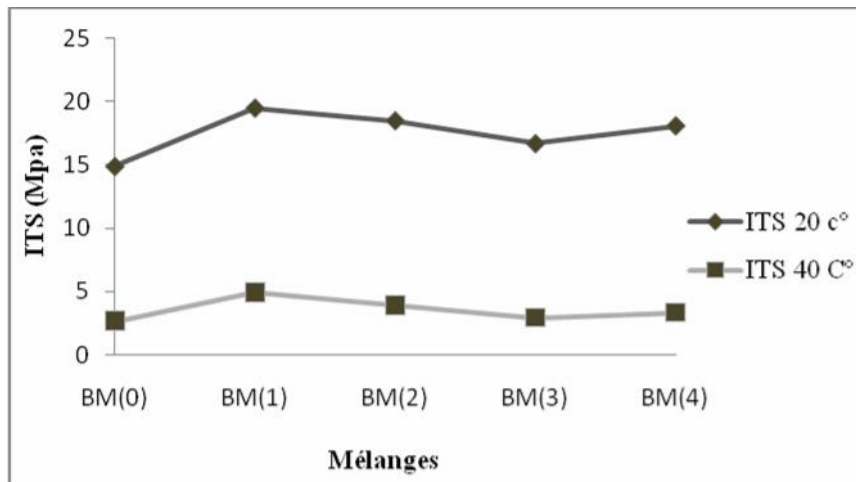


Figure II- 18 : Résistance à la traction indirecte en fonction de la teneur en association (déchet plastique alimentaire - EVA)

D'après la figure II- 18 nous constatons Le mélange BM(1) de béton bitumineux a base de bitume modifié par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) donne la meilleure résistance à la traction indirecte à la température 20°C et 40°C.

III- Conclusion de la troisième partie

- Les enrobés bitumineux modifiés est le plus résistent a la déformation permanentes par rapport a les enrobés bitumineux de référence
- Les résultats obtenus montrent que les bétons bitumineux modifiés à 3% de déchet plastique alimentaire et le mélange M(2) de l'association (5% [déchet plastique alimentaire 75% + EVA 25%]) donnent des meilleures performances dans notre étude.

Conclusion générale

Conclusion générale

Devant l'accroissement successif du trafic routier, la chaussée routière nécessite une amélioration constant de cette performance, lesquelles dépend des matériaux utilisés lors de la formulation des enrobés bitumineux ;

Nous avons dans ce mémoire étudié l'influence de l'association (EVA-NBR) et (EVA- déchet plastique alimentaire) sur le vieillissement a court terme des bitumes et influence de l'association (EVA- déchet plastique alimentaire) sur le comportement mécanique des enrobes bitumineux modifies.

Le but de cette étude est de déterminer l'influence, de la teneur en polymère et de la nature des bitumes choisisse, sur les propriétés générales des liants modifiés à usage routier, et l'effet de ces derniers sur les enrobés bitumineux, les autres paramètres de fabrication étant maintenues constants.

Une campagne expérimentale a été effectuée. Dans un premier temps nous avons utilisés trois types de polymères EVA et déchets industriels à base de NBR et déchet plastique alimentaire séparément sur le même bitume, ensuite nous avons étudiés le mélange des deux polymères (NBR – EVA) et (déchet plastique alimentaire – EVA).

Les résultats obtenus pour la modification du liant montrent que l'apport de 3% en déchet plastique alimentaire et l'association 5% [déchet plastique alimentaire 75% + EVA 25%] conduit à des performances tout à fait intéressantes notamment aux niveaux des propriétés mécaniques et du vieillissement. La réalisation d'un liant modifié performant passe non seulement par le choix de la nature et du taux de polymère mais aussi par celui du bitume.

Une utilisation du mélange (NBR-EVA) ou (déchet plastique alimentaire – EVA) comme modifiants à donné de bonne caractéristiques au bitume, ceci s'avère efficace car le mélange bitume (NBR-EVA) ou (déchet plastique alimentaire – EVA) à des proportions bien déterminées sera plus économique par les caractéristiques obtenues par rapport au bitume pur et plus valorisant pour le NBR et le déchet plastique alimentaire qui est un déchet.

L'utilisation du déchet plastique alimentaire ou l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) s'est effectuée par le procédé humide. Nous avons d'abord modifié le bitume puis obtenu l'enrobé bitumineux.

A la lumière des résultats présentés dans ce mémoire les conclusions suivantes sont tirées :

Le bitume :

- La modification du bitume par le déchet plastique alimentaire ou l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) à amélioré les propriétés du bitume tel que la pénétrabilité, la susceptibilité thermique, le point de ramollissement et la ductilité.
- Les caractéristiques des bitumes modifiés subissent un grand changement par rapport à la caractéristique du bitume pur ;

Le vieillissement des bitumes :

De l'examen de vieillissement des bitumes, il ressort que tous les bitumes modifiés par déchet plastique alimentaire ou par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) ou par l'association (NBR – EVA) ou le bitume pur subissent un vieillissement après leur passage à l'essai RTFOT, ce vieillissement s'exprime par :

- Une diminution de la pénétrabilité ;
- Une augmentation de la température bille et anneau ;
- Une diminution de la ductilité.

Mais les bitumes modifiés par déchet plastique alimentaire ou par l'association (déchet plastique alimentaire - EVA) ou par l'association (NBR – EVA) ont donné des résultats mieux que ceux obtenues par le bitume pur, donc la résistance au vieillissement augmente avec l'augmentation de la teneur en polymère ;

L'essai Marshall :

- La compacité augmente avec l'augmentation de la teneur en déchet plastique alimentaire.
- Les enrobés bitumineux modifiés à 3 % et 5% [déchet plastique alimentaire 75% - EVA 25%] donnent les meilleures stabilités, fluage et résistance aux déformations permanentes par rapport aux autres mélanges.

Traction indirecte :

- La meilleure résistance à la traction indirecte est obtenue à 20° et à 40°C par le béton bitumineux modifié à 3% et 5% [déchet plastique alimentaire 50% - EVA 50%].

En Perspective

Le vieillissement d'un bitume engendre aussi des effets négatifs au niveau de l'enrobé, ainsi on a pu constater une réduction de la capacité de l'enrobé à subir des déformations.

La nature exacte du phénomène de vieillissement du bitume qui provoque la détérioration des structures en bétons bitumineux, n'est pas complètement maîtrisée. En revanche, l'oxydation, causée par l'air et la lumière, est connue comme étant un facteur primordial contribuant au durcissement du bitume, et qu'elle est amplifiée à haute température.

L'action de l'eau de pluie et des produits dissous de la pollution atmosphérique, l'attaque des micro-organismes, et les modifications internes de la structure colloïdale du bitume, constituent aussi des facteurs influençant pertinemment sur le vieillissement du bitume.

Pour remédier à cette problématique, on peut recourir à des techniques qui peuvent nous aider à atténuer le phénomène de vieillissement de bitume et à rallonger sa jeunesse par :

- L'utilisation des enrobés bitumineux tiède ;
- L'ajout de la chaux, à des faibles dosages (2%), peut augmenter notablement la résistance au vieillissement des enrobés bitumineux,
- la modification des enrobés bitumineux par des aditifs (par voie sèche).

Référence Bibliographique

Référence Bibliographique

[Ass1999] Association International de la Route (AIPCR). « Use of Modified Bituminous Binders, Special Bitumen and Bitumen with Additives in Road Pavements ». LCPC Ed., Paris, 1999.

[Bah 2000] Bahuguna P, Panoskaltsis and Papoulia M., « Characterization and Modelling of Permanent Déformations of Asphalte Pavements Proceedings », ASCE 14th Engineering Mechanics Conférence, University of Texas, Austin, TX, May 21-24, 2000.

[Bah 2006] Bahuguna S, Panoskaltsis V, Papoulia C., « Identification and Modelling of Permanent Déformations of Asphalte Concrete J ». Engrg. Mech., Volume 132, Issue 3, pp. 231-239. March 2006.

[Ber 2005] Berthe J., « Caractérisation des déformations d'orniérage de la chaussée bitumineuse ». Thèse de doctorat de l'insulté nationale de science applique de layon, 2005.

[Brû 1986] Brûlé B., « Liants modifiés par les polymères pour les enduits et enrobés spéciaux » Rapport des Laboratoires, PC 6, 1986.

[Bri 1986] Brion Y, Brûlé B., « Association bitume - polymères, relation entre la composition, la structure et les propriétés ». Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 145, pp. 45-52. Paris 1986.

[Bur 2008] Burak S, Giray I., « Analysis of styrene-butadiene-styrene polymer modified bitumen using fluorescent microscopy and conventional test methods », Journal of Hazardous Materials 150 (2008) 424–432, Turkey 2008.

[Cen 1999] Comité Européen de Normalisation: Bitumes et liants bitumineux – « Détermination de la résistance au durcissement sous l'effet de la chaleur et de l'air Partie1 »: Méthode « RTFOT Method », EN 12607-1 et EN 12607-1, 1999.

[Dan 2006] Dang-Truc N. « prédiction des déformations permanentes des couches de surface des chaussées bitumineux ». Thèse de doctorat à l'ENPC, 2006.

[Don 1991] Dony A, « Liants bitumes-polymères », études et recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Décembre 1991.

[Dur 1962] Duriez M, Arrambide J., « nouveaux traité de matériaux de constricton » tome 3, édition Dunod, paris, 1962.

[Gid 2001] Gidel M., « Comportement et Valorisation des Graves non Traitées Calcaires Utilisées Pour les Couches d'Assise des chaussées souple ». Thèse présentée à Ecole doctoral de la science physique de l'ingénieure. Bordeaux, France. 2001.

[Gue2011] Guessabi noureddine, « etude de l'influence du dechet plastique sur le comportement a la traction indirecte des enrobes bitumineux modifiées », these de magister USTHB2011.

[Had 1998] Hadrzynski F, Such C., « Modélisation du comportement rhéologique des bitumes polymères, le modèle auto cohérent », Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 214, pp.3-18, 1998.

[Had 2007] Haddadi S, « Influence de la poudrette de caoutchouc sur le comportement au fluage des Enrobés bitumineux ». Thèse de Doctorat d'état, FGC/USTHB, 2007.

[Had 1995] Haddadi S, « Contribution à l'étude du comportement des matériaux traités Aux liants hydrocarbonés- influence des paramètres de composition ». Thèse de magister-

Référence Bibliographique

FGC-USTHB- Fév. 1995.

[Had 2008] Haddadi S, Ghorbel E., Laradi N., « Effects of the manufacturing process on the performances of the bituminous binders modified with EVA », Construction and Building Materials 22 (2008) 1212–1219. Algérie 2008.

[Hak 2001] Hakima K., « Etude de l'action des bitumes modifiés sur le comportement des enrobés ». Thèse de magister F.G.C/USTHB, 2001.

[Kra 1980] Kraus G, Rollman K.W., « Morphology and mechanical behaviour of bitumen modified with S.B. block polymères », Int. Rubber » Conference Nürnberg, Germany, Sep, 1980.

[Lav 1973] Laval C, Quivoron C. « Mise en évidence d'une corrélation entre le rapport hydrophile/lipophile des résines époxydes et leur compatibilité avec le bitume routier ». C. R. Acad. Sci. IIC, 256, 743-746, 1973.

[Les 2002] Lesueur D, « la rhéologie des bitumes : Principe et modification ». Vol 2 1-30, 2002.

[Mal 1982] Mallouk J.G., les enrobés bitumineux, Tome I et II, Théorie et laboratoires, Edition.1982.

[Mar1983] Marechal J.C., GHALEB M, BONNET D. « vieillissement des revêtements d'étanchéité en bitume élastomère SBS », CSTB, n° 237, cahier 1831, mars 1983.

[Mar 2004] Marie Jean A, Jean-Claude M., « Chaussées bitumineuse claire et éclairée en tunnel » .14 octobre 2004.

[Mas 2003] Masad E, Little D, Tashman L, Saadeh S, Al-Rousan T. and Sukhwani R., « Evaluation of Aggregate Characteristics Affecting HMA Concrete Performance », Report ICAR 203, International Center for Aggregate Research. 2003.

[Mer 2010] Merbouh M, « contribution a la modélisation du comportement rhéologiques des enrobés bitumineux influence des conditions extrêmes de température et de trafic en fatigue », université bordeaux. 2010.

[Olg 1998] Olga S., « comportement rhéologique et propriétés cohésives et adhésives des liants bitumineux », mémoire pour l'obtention du grade de maître ès sciences, université laval, faculté des sciences et génie, canada, avril 1998.

[Rou 1999] Routes, « Les liants modifiés, les liants avec additifs et les bitumes spéciaux », AIPCR, N° 303 III – 1999.

[Sai 2010] SAIBOU DADOU A. N., TAMZAIT. S. « Etude de l'influence de l'association NBR et EVA sur le bitume ». Mémoire de MASTER 2, Option: Génie civil ; FGC/USTHB (2010).

[Sao2010] Saoula S. « approche modéliste et valorisation des enrobés modifiés par ajout de polymères - impact sur l'environnement- ». Thèse doctorat d'USTHB, 2010.

[Seb 2007] Sebben P, « approche multi-échelles des émissions d'un procédé d'élaboration des enrobés à chaud ». Thèse de doctorat génie de procédé, universités de Rouen, février 2007.

[She 1991] Shell Bitumes., « Techniques et Utilisations », Ed. Société des Pétrole Shell, 1991.

[Sim 2001] Simpson A., « Caractérisation of Transverse Profiles ». FHWA-RD-01-024, Federal Highway administration. Highway Research Center, Georgetown Pike. 2001.

[Ver 1984] Verdu J., « Vieillissement des plastiques ». Paris : Eyrolles, 387 p. 1984.