

EFFETS DE L'INCORPORATION DU FONDU DE DECHETS DE SACHETS PLASTIQUES SUR LA CONSISTANCE DE L'HUILE LOURDE DE TSIMIRORO ET LA STABILITE DU BETON BITUMINEUX



EFFECTS OF INCORPORATION OF PLASTIC BAG WASTE MELT ON THE CONSISTENCY OF TSIMIRORO HEAVY OIL AND BITUMINOUS CONCRETE STABILITY

| Ratsifaherandahy Flemond Dolin ^{1*} | Mamiharijaona Ramarosan ¹ | Rajaonah Rabevala ¹ | Ramorason Jean De Dieu ² | et | Randriamalala Tiana Richard ³ |

¹ Université d'Antsirana | Ecole Supérieur Polytechnique | Laboratoire de Métallurgie et Chimie | B.P: O, 201, Antsirana | Madagascar |

² Directeur de Recherches Associées Département Matériaux et Génie Civil/CNTRIT Madagascar |

³ Chef de Département de Recherche | Développement et Matériaux au LNTPB Madagascar |

| Received January 02, 2022 |

| Accepted January 17, 2022 |

| Published January 27, 2022 |

| ID Article | Ratsifaherandahy-Ref02-ajira200122 |

RESUME

Contexte : Les quantités de déchets plastiques produites à Madagascar sont importantes, avec plus de 32% de sachets d'emballages. Cette situation provoque un problème environnemental majeur, en raison du caractère non biodégradable de ces derniers. **Objectif :** Dans la perspective de leur recyclage à travers les procédés de construction, le présent article est consacré à l'analyse des caractéristiques requises du liant, la pénétrabilité, le point de ramollissement et l'adhésivité, formulé à base de l'huile lourde au quelle est incorporée, à la température environ de 170°C. **Méthode :** La poudre de sachets plastiques fondus, refroidis et finement broyés et la stabilité Marshall du béton bitumineux y découle. **Résultat :** Pour 3 à 21% en masse d'incorporation de poudre de sachets plastiques dans le bitume, les différentes valeurs enregistrées ont révélé que la pénétrabilité, mesurée suivant la norme EN1426, diminue quand la teneur en poudre de sachets augmente donnant naissance à des liants bitumineux appartenant aux classes respectives 50/70, 40/60, 35/50, 30/45 et 20/30 alors que le point de ramollissement augmente. **Conclusion :** On a constaté que l'adhésivité est positivement améliorée avec l'accroissement de la teneur en sachet plastique au même titre que la stabilité Marshall du béton bitumineux découle.

Mots-clés : sachets plastiques, pénétrabilité, ramollissement, adhésivité, bitume, construction routière.

ABSTRACT

Context: The quantities of plastic waste produced in Madagascar are significant, with more than 32% of packaging bags. This situation causes a major environmental problem, due to the non-biodegradable nature of the latter. **Objective:** In view of their recycling through construction processes, this article is devoted to the analysis of the required characteristics of the binder, penetrability, softening point and adhesiveness, formulated based on heavy oil in which is incorporated, at a temperature of approximately 170°C. **Method:** The powder of melted, cooled and finely ground plastic bags and the Marshall stability of asphalt concrete derives from it. **Result:** For 3 to 21% by mass of plastic bag powder incorporation in the bitumen, the various values recorded revealed that the penetrability, measured according to the EN1426 standard, decreases when the powder content of the bags increases, giving rise to bituminous binders belonging to the respective classes 50/70, 40/60, 35/50, 30/45 and 20/30 as the softening point increases. **Conclusion:** it was found that the adhesiveness is positively improved with the increase in the plastic bag content as well as the Marshall stability of the asphalt concrete resulting from.

Keywords: plastic bags, penetrability, softening, adhesiveness, bitumen, road construction.

1-INTRODUCTION

La survie des êtres vivants est de plus en plus menacée par la quantité de déchets qu'ils produisent polluant gravement le cadre environnemental [1]. En 2019, les décharges Malagasy ont accueilli plus de 560.000 tonnes de déchets plastiques dont plus de 50% de sachets d'emballage dont 65% sont jetés dans la rue après usage, 25% incinérés pour faire place nette, 5% brûlés comme source d'énergie et 5% restants pour autres usages [2-3]. Un recyclage, utilisant des techniques modernes, s'impose donc aujourd'hui comme une des voies incontournables aux populations Malagasy. Malheureusement, dans la majorité de ces pays, les moyens techniques et financiers sont quasiment inexistant pour assurer un recyclage classique. Or, l'une des voies, les plus pertinentes pour valoriser de tels déchets, est l'utilisation dans les procédés de construction.

Les études des quelques chercheurs ont permis de démontrer les effets de l'incorporation des déchets de sachets plastiques aux bétons après les avoir convenablement conditionnés [4-5]. Des chercheurs ont essayé de trouver que les résistances mécaniques de tels bétons sont réduites à mesure que les pourcentages de déchets plastiques incorporés ont augmentée [6-8]. Par ailleurs, il a été mis en exergue la possibilité d'utiliser des sachets d'emballage et des pneus usagés pour la réalisation de la couche de roulement d'une chaussée [9-10-11]. D'autres chercheurs sont

consacrés à l'étude de l'influence de l'incorporation au bitume, de sachets plastiques fondus, refroidis et mis en poudre, sur la pénétrabilité, le point de ramollissement et l'adhésivité, dans la perspective de l'utilisation massive des déchets plastiques dans les procédés de construction de chaussées souples [12]. Le présent article est consacré à l'étude de l'influence de l'incorporation au bitume de l'huile lourdes, de sachets plastiques fondus, refroidis et mis en poudre, sur la pénétrabilité, le point de ramollissement et l'adhésivité, dans la perspective de l'utilisation massive des déchets plastiques dans les procédés de construction de chaussées souples.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés (sur lesquels ont porté) pour les tests rapportés dans cet article sont les suivants :

- Pour les différents essais, respectivement de pénétrabilité et de ramollissement à bille et anneau : le bitume de l'huile lourde désigné M0 d'une part, et le même bitume 50/70 additionné de poudre de sachets plastiques, à teneurs de 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, 18% et 21% en masse du bitume de l'huile lourde, d'autre part. Ces mélanges ont été identifiés respectivement par M1, M2, M3 à M7, soient sept variantes de mélanges-liants et le témoin M0.

- **Pour les essais d'adhésivité** : les matériaux utilisés sont les mélanges liants M0 à M5 précédents et les fines de granites concassés, de tailles comprises entre 0,2mm et 0,5mm, de masse volumique absolue 2690 kg/m³ ;

- **Pour les essais Marshall** : les matériaux impliqués sont issus du granite concassé et fractionné en trois classes granulaires 10/14, 6/10 et 0/6 au pk 23 sur la RN5a présentés à la Figure 1a, la poudre plastique Figure 1b et Huile lourde Figure 1c.



Figure 1a : Granulats.



Figure 1b : Poudre plastique.



Figure 1c : Huile lourde.

Tableau 1 : Série de tamis utilisés et granulométrie optimale théorique.

Ouverture tamis (mm)	4	5	6,3	8	10	12.5	14	16
Passants (%)	100	96,5	89,5	74	65,5	55	52,5	45
Ouverture tamis (mm)	0,08	0,16	0,315	0,63	2	1,25	3,15	2,5
Passants (%)	7	10,5	15	19	26,5	34	36,5	41

La série des tamis utilisés est celle de la norme AFNOR dont les ouvertures et les différents pourcentages de passants théoriquement attendus sont consignés dans le Tableau 1.

2.2 Matériels utilisés

Les matériels utilisés sont ceux prescrits par la norme NF-EN 1426 comportant en substance :

- Un pénétromètre DOW, de portée 0 à 36 mm et ses accessoires ;
- Un thermomètre à tige, de portée 0 à 200 °C, pour le suivi de la température de la coupole témoin, en vue de son maintien à la valeur constante égale à 25°C ;
- Une chambre climatisée, pour entretenir la température d'essais à 25°C ;
- Pénétration de l'aiguille sur l'échantillon ;
- Appareil de mesure de la température de ramollissement de à bille et anneau,
- Appareil de mesure de la viscosité du liant ;
- Un réchaud à gaz, destiné à la fusion du bitume et le chauffage du granulat et un bec à gaz de Benson, pour amener à ébullition la solution portant l'échantillon ;
- Un chronomètre, permettant de suivre le temps de latence fixé à 60 minutes et le temps d'essai de 60 secondes ;
- Une presse Marshall de marque IGM, Des moules Marshall et une dame Marshall ;
- Une balance de portée 500 g sensible au centième de gramme et une balance de portée 4000 g sensible au dixième de gramme ;
- Un thermomètre à tige de portée 200°C et un thermomètre à mercure de portée 150°C ;
- Une étuve de portée 250°C, un chronomètre, un réchaud à gaz et un bain thermostat de 80 litres réglé à 60°C.

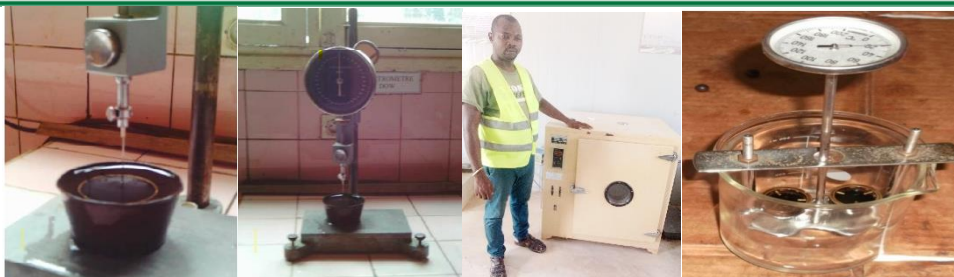


Figure 1: Appareils des mesures.

2.2 Méthode

2.2.1. Elaboration du liant : poudre de sachets plastiques

L'élaboration du nouveau liant bitumineux consiste à faire fondre, à environ 300 °C, les sachets plastiques dans un récipient métallique approprié. Le liquide obtenu est ensuite refroidi à l'air ambiant (température : 28-31°C, puis le solide décollant finement broyé en poudre passant le tamis 0,160 mm.

2.2.2. Réalisation des mélanges bitumineux

Sept (07) différents mélanges bitumineux indexés M1, M2, M3, M4, M5, M6 et M7 ont été élaborés. Ils contiennent des pourcentages en masse de sachets plastiques fondus, refroidis et réduits en poudre, respectifs de 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, 18%, et 21%, en substitution partielle de l'huile lourde de Tsimiroro, le témoin à 0% étant indexé M0. L'opération de mélange, de la poudre de sachets plastiques à l'huile lourde de Tsimiroro, est effectuée à chaud dans le récipient métallique à environ 170°C.

2.2.3. Mesure de la pénétrabilité des liants

L'essai de pénétrabilité est effectué conformément à la procédure de la norme NF EN-1426. Il consiste à lâcher, pendant 5 s, une aiguille normalisée de diamètre 1,0 mm, sous une charge de 100g et ensuite mesurer, de combien de dixièmes de millimètre, elle s'enfonce dans le bitume refroidi se trouvant préalablement plongé dans de l'eau maintenue à la température de 25°C et sorti juste pour l'essai. Ce paramètre est celui qui permet de définir la classe du bitume [11]. Le bitume vient de de l'huile lourde de Tsimiroro témoin, dont la classe déterminée a priori est de 50/70, a été d'abord soumis seul (pur) à l'essai en vue de valider le protocole. Les mêmes essais ont ensuite été effectués sur les sept (07) matériaux issus des mélanges constitués à différentes teneurs en poudre de sachet.

2.2.4 Mesure du point de ramollissement à bille et anneau (Ring and Ball)

L'essai de détermination du point de ramollissement par Ring and Ball est réalisé selon la procédure de la norme NF EN-1427. Le principe réside dans la recherche de la température à laquelle un bitume parvient à une consistance déterminée conventionnellement.

Le point de ramollissement de l'huile lourde de référence, de la classe 50/70, étant connu (norme NF EN 1427), celui du bitume réel prélevé et traité, à titre de témoin, a d'abord été soumis à l'essai. Ensuite, on s'est intéressé à ceux des sept (07) liants bitumineux constitués précédemment en fonction des différentes teneurs en poudre citées plus haut. Le matériel utilisé à cet effet est celui prescrit par la norme NF EN 1427.

2.2.5 Mesure de l'adhésivité Riedel et Weber

La mesure s'effectue sur des boulettes, de masse 0,50 g, formées à partir du liant bitumeux et d'un sable concassé très fin, de classe granulaire 0,2/0,5 mm. Ce matériau bitumineux est réalisé en mélangeant à chaud 68 ml de granulat et 32 ml de l'huile lourde. Le matériel utilisé dans cette série d'essais est conforme à la norme NFT66-018.

De l'eau distillée et divers accessoires dont la pince en bois et des réactifs chimiques constitués de solutions aqueuses de carbonate de sodium (Na_2CO_3). Huit solutions de carbonate de sodium, sont préparées et indexées de S0, S1 à S7 correspondant respectivement à des concentrations allant de 0 g/L d'eau distillée (témoin), 0,422 g/L, 0,844 g/L, 1,76 g/L, 3,52 g/L, 6,04 g/L, 12,08 g/L, 24,16 g/L.

L'essai de Riedel et Weber est celui correspondant à la procédure de la norme NFT 66-018. Il consiste à plonger, les boulettes précédemment réalisées, dans des solutions de carbonate de sodium, de concentrations croissantes, et en évaluer les degrés de séparation liant-granulat, c'est à dire les dés enrobage. Lorsque le dés enrobage commence à une certaine concentration, sur une boulette donnée et devient total à une autre concentration avec une autre boulette, on retient, pour la valeur de sa côte, les valeurs combinant les deux côtes correspondant aux concentrations marquant le dés enrobage partiel et le dés enrobage total. Ainsi, par exemple, la cote 3-4 signifie que le dés enrobage a commencé avec la solution S3 (1,76 g/L) et a été total avec la solution S4 (3.52 g/L). Selon les dispositions de la norme, les cotes finales de 1, 2, 3 et 4 indiquent que le liant possède une adhésivité suffisante, celles 5, 6, 7 et 8, une bonne et très bonne adhésivité [11]. Les cahiers des charges de chaque projet de bitumage précisent clairement la cote exigée. L'huile lourde a d'abord été testé, ensuite les différentes variantes de liants bitumineux issues de l'incorporation des teneurs en poudre de sachet citées.

2.2.6 Essais Marshall

L'essai Marshall consiste à compacter des éprouvettes, par damage, selon une procédure déterminée, puis à les soumettre à un essai de compression. Le matériel utilisé est conforme à celui prescrit par la norme NF P98-251-2. Les proportions des différents constituants du mélange bitumineux ont été déterminées suite à une formulation faisant appel à une série d'essais permettant de satisfaire les critères de convergence en stabilité, en compacité et en fluage fixés par le cahier des charges rédigé par le maître d'œuvre et d'évaluer finalement le dosage optimal de chacun de ces constituants.

2.2.7. Formulation de béton bitumineux

2.2.7.1. Détermination des teneurs d'essais

La formulation du béton bitumineux, destiné à confectionner les échantillons d'essais Marshall, est effectuée sur la base des valeurs des paramètres pertinents classiques que sont le module de richesse en liant, la Surface spécifique et la masse volumique absolue des granulats. La surface spécifique est déterminée par la formule suivante [10] :

$$100 \cdot \beta = 0,25 \cdot g + 2,3 \cdot S + 12 \cdot S + 135 \cdot f \quad (1)$$

Avec :

β : la surface spécifique des grains,

g : le pourcentage des grains de diamètres supérieurs à 5mm,

S : le pourcentage des grains de diamètres compris entre 0,315mm et 5mm,

f : le pourcentage des grains de diamètres compris entre 0,08mm et 0,315mm et f le pourcentage des grains de diamètres inférieurs à 0,08mm [11].

Pour ce calcul, la surface spécifique est, dans le cas de la présente étude, de $\beta = 12,2645 \text{ m}^2/\text{kg}$. Le module de richesse en liant (m), sous le climat chaud, est compris entre 3,5 et 3,75 [11] et la teneur en liant à considérer est en fonction. En effet, les deux paramètres sont liés par la relation :

$$P = \cdot \beta \text{ (\%)} \quad (2)$$

La teneur maximale en liant (P_{\max}) est déduite de la formule (2) en y substituant la valeur maximale du module de richesse (mmax), soit $m_{\max} = 3,75$. On obtient alors : $P_{\max} = 6,2\%$.

La densité absolue standard des granulats étant de 2,65 et la densité absolue effective des granulats (d_{ef}) dans nos essais de 2,71, il s'impose alors une correction à appliquer au calcul de la teneur en liant. Le coefficient correcteur k, rapport de la densité absolue conventionnelle à la densité effective, est égal à : $k = d_{ac} / d_{ef} = 0,974$. Ainsi, la teneur maximale en liant corrigée devient :

$$P_{\max} \cdot \text{corrigé} = 6,2 \cdot k = 6,04 \text{ \%} \quad (3)$$

A partir de la valeur de la teneur en liant maximale corrigée ($P_{\max} \cdot \text{corrigé}$), les teneurs en liant à expérimenter effectivement ont été calculées. Pour ce faire, elles ont été considérées comme dérivant d'une suite arithmétique dégressive de raison 0,3. Ces valeurs sont alors au nombre de trois respectivement : 6,04 % ; $(6,04 - 0,3) \text{ \%} = 5,74\%$ et $(5,74 - 0,3) \text{ \%} = 5,44\%$.

2.2.7.2. Composition du béton bitumineux de l'huile lourd de Tsimiroro

La masse des constituants à introduire dans le moule Marshall, selon la norme NF P98-251-2 pour chaque gâchée, est de 1200 g. La masse des granulats (M) à considérer est déterminée en fonction de P (%) à partir de la formule :

$$M = (100 \cdot 1200) / (100 + P) \quad (4)$$

Son application conduit aux valeurs des différents constituants consignées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Proportions des constituants des mélanges conduisant aux bétons bitumineux.

Teneurs en liant (%)	6,06	5,74	5,44
Masse totale granulats (g)	1120	1122	1126
Masse granulat G1 (g)	283	272	274
granulat G2 (g)	242	240	238
Masse granulat G3 (g)	595	610	614
Masse de liant (g)	80	78	74
Masse totale (g)	1200	1200	1200

Les teneurs théoriques en liant ainsi estimées ont alors été exploitées pour confectionner les différentes éprouvettes de bétons bitumineux testés. Les paramètres de contrôle classiques, à savoir la stabilité Marshall, la densité apparente, la compacité et le fluage découlant des essais, ont permis de déterminer la teneur optimale en huile lourd.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Résultats des mesures de la pénétrabilité du liant retenu

Les valeurs enregistrées lors des essais de pénétrabilité sont regroupées dans le Tableau 4. Elles montrent que l'introduction de la poudre issue des sachets plastiques fondus, refroidis et broyés, exerce une grande influence sur la **pénétrabilité du liant**. En effet, l'expression des valeurs obtenues et traduites en plages de valeurs, moyenne des valeurs et des classes d'appartenance, la plus pertinente choisie parmi les sept classes de bitume définies par la norme EN 1426, a permis de catégoriser les différents mélanges effectués. Ainsi, les mélanges indexés M0 et M1, M2 et M3, M4 et M5, puis M6 et M7 correspondent à des liants bitumineux de classes respectives 40/60, 35/50, 30/45, 30/45 et 20/30. La pénétrabilité obtenue avec la teneur en poudre de sachets de 21% a conduit à conclure que le mélange bitumineux correspondant M sort des bitumes routiers classiques. Il entre dans les classes des bitumes spéciaux de pénétration 10/20 et 15/25 destinés à la mise au point de béton bitumineux à module élevé (BBME). Ces classes de bitumes, d'après les spécialistes du Groupement Professionnel Français du Bitume [6], apportent plutôt une réponse aux problèmes engendrés par l'accroissement imprévu du trafic lourd.

Tableau 4 : Résultats des essais de pénétrabilité sur les mélanges bitumineux constitués.

Mélanges bitumineux testés	Teneur en poudre de sachets plastiques (%)	Valeurs de pénétrabilité mesurées (10-1 mm)						Plage de valeurs obtenues (10-1 mm)	Valeur moyenne arrondie (10-1 mm)	Classes d'appartenance (10-1 mm)
		Série A		-		Série B				
M0	0	62	54	59	60	56	64	54-64	59	40-60
M1	3	57	52	58	58	53	52	52-58	55	40-60
M2	6	50	51	53	54	50	50	50-54	52	40-60
M3	9	47	45	45	46	48	49	45-49	47	40-60
M4	12	44	45	42	46	43	44	42-46	44	35-50
M5	15	37	41	41	34	38	42	34-42	38	35-50
M6	18	32	36	31	33	34	35	31-36	34	30-45
M7	21	28	28	26	26	28	25	26-28	27	20-30

3.2. Résultats des mesures du point de ramollissement des liants constitués

A l'analyse des valeurs enregistrées durant nos mesures et figurant dans le Tableau 5, on peut noter que, le point de ramollissement obtenu pour l'huile lourde de référence à nous fourni comme étant sont bonne par rapport aux prescriptions de la norme EN1427. Le bitume de l'huile lourde utilisé est normalisé, les résultats montrent que le point de ramollissement s'accroît à mesure que la teneur en sachets dans le liant augmente. Nos résultats corroborent ceux publiés ailleurs où avait été observée une tendance similaire [12].

Tableau 5 : Résultats des mesures du point de ramollissement des différents mélanges.

Billes d'essais (diamètre)	Mélanges enrobé bitumineux et valeurs de leurs points de ramollissement (°C)								
	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	
Bille 1 (9,35 mm)	31	40	40	41	42	43	52	> 110	
Bille 2 (9,35 mm)	37	42	42	41	46	45	52	> 110	
Moyenne (°C)	34	41	41	41	44	44	52	> 110	

Le liant contenant 21% en masse de sachets plastiques (M7) présente des valeurs de points de ramollissement dépassant les limites classiques admissibles (> 94°C) au regard du dispositif expérimental (bain d'eau). Avec un bain de glycérol à 110°C, les deux billes ont chuté en perforant les échantillons, sans ramollissement du disque de bitume. L'expérience a été arrêtée à M7 en raison du rapprochement du point éclair du glycérol qui est de 160°C.

3-3. Résultats de mesures d'adhésivité des liants

Les valeurs des cotes d'adhésivité enregistrées dans les mesures effectuées sont celles consignées dans le Tableau 6. L'analyse de ces résultats amène à conclure que l'introduction de la poudre de sachets dans le bitume influence, de manière positive, son aptitude à adhérer aux granulats. Cette conclusion est attestée par le fait que l'on ait obtenu une augmentation des valeurs des cotes d'adhésivité à mesure que s'accroît la teneur en poudre de sachets plastiques fondus introduite dans le liant bitumineux.

Tableau 6 : Valeurs des cotes d'adhésivité mesurées en fonction de la teneur en sachet.

Mélanges enrobée bitumineux	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Cotes d'adhésivité	3-10	5-10	6-10	6-10	8-10	9-10	>10

La solution de concentration S2 a engendré le démarrage du dés enrobage du bitume témoin et, avec la solution S7, le dés enrobage obtenu n'a été que partiel. Tous les autres mélanges bitumineux ont opposé une résistance à l'arrachement avec les solutions allant des concentrées à très concentrées, au point où on n'observe un début de dés enrobage qu'au-delà de la solution S3. Le dé enrobage total n'a pas été observé, même avec la solution la plus concentrée. Cependant, la boulette de liant réalisée et soumise à essais au terme desquels la cote 10 est atteinte pour

le mélange M0 a été sérieusement dégradée, alors que celles issues des mélanges M2, M3, M4 et M5 (> 10) n'ont subi aucune dégradation décelable suite à l'application de cette même solution S7.

3.4. Résultats des essais Marshall

3.4.1. Résultats de détermination de la teneur optimale en liant

Les résultats des différents essais, en stabilité Marshall, de densité apparente et fluage, en fonction des teneurs en liant, dans la plage de 5,44% à 6,04% bornée par Pmax=5,7% déterminée plus haut, sont portés sur les Figures 2. L'analyse des résultats de ces essais a permis de déterminer le taux optimal de dosage en liant qui s'est affiché égal à 5,7%.

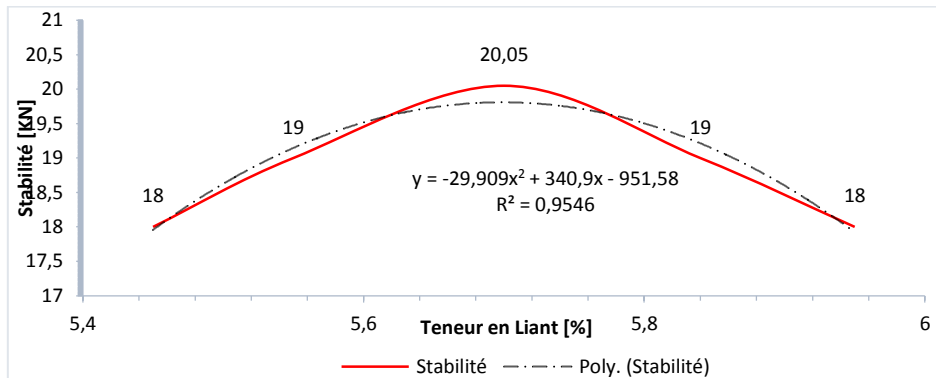


Figure 2 : Evolution de la stabilité Marshall, de la stabilité du béton bitumineux en fonction de la teneur en liant M0.

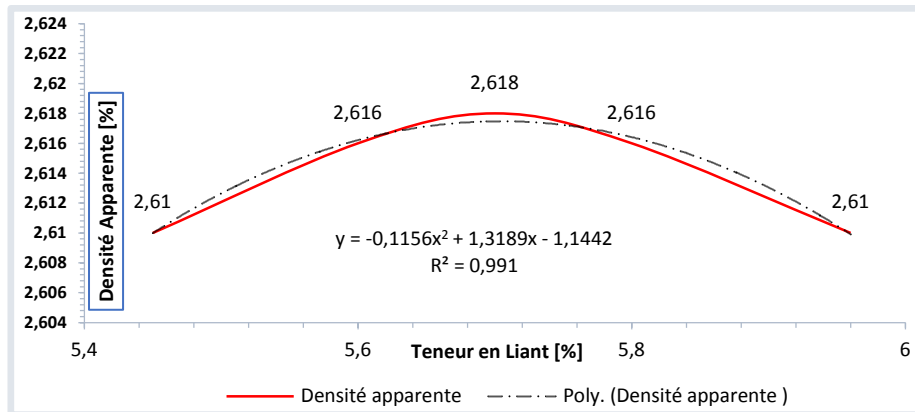


Figure 3 : Evolution de la densité apparente du béton bitumineux en fonction de la teneur en liant M0.

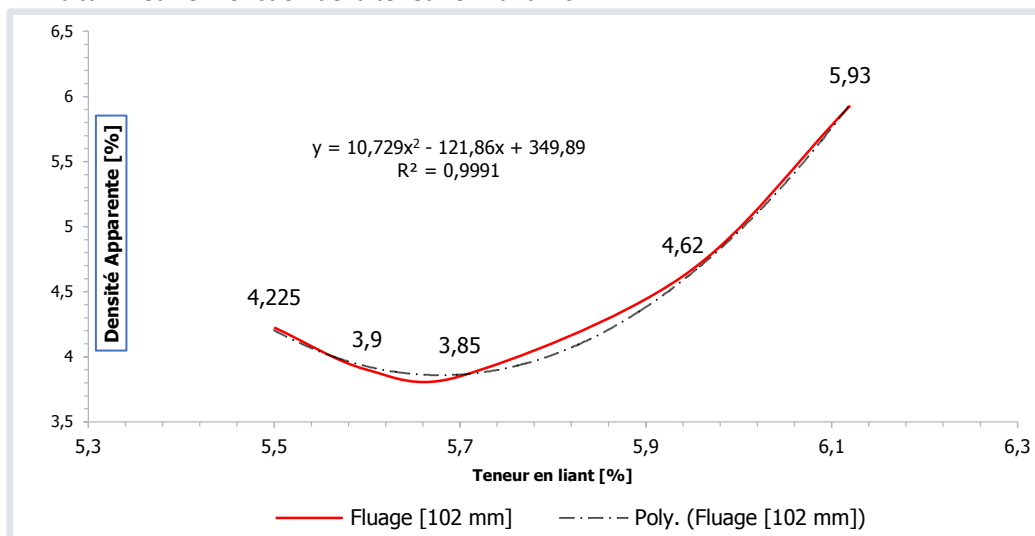


Figure 4 : Evolution de la densité apparente et du fluage du béton bitumineux en fonction de la teneur en liant M0.

Les données déployées sur ces figures révèlent clairement qu'à la valeur de la teneur optimale en liant de 5,7 %, correspondent celles de la stabilité maximale de 20,05kN sur Figure 2, de la densité maximale de 2,42% Figure 3 et de fluage minimal de 3,997x1/10mm. Cette dernière est située dans l'intervalle [2x1/10mm, 4x1/10mm] recommandé par l'Asphalt Institute pour les revêtements de chaussées à trafics lourds [13,14].

Après cette appréciation du comportement développé par ces différents paramètres caractéristiques pour le bitume pur l'huile de Tsimiroro témoin, la série de dosages entrepris avec du béton additionné de la poudre de sachets plastiques fondus (béton bitumineux) a fourni les résultats présentés et commentés dans les différents paragraphes suivants.

3.4.2. Résultats des essais réalisés sur du béton bitumineux adopté

Dans cette série d'expérimentations, on a adopté les teneurs en poudre de sachets plastiques fondus de 3%, 6%, 9%, 15, 18 et 21% en masse correspondant, outre celui de M0, aux mélanges huile lourde-poudre de sachets respectifs M1, M2, M3 et M7. Enfin, des essais ont également été réalisés sur le liant fait uniquement de poudre de sachets fondus, soit teneur égale à 100%. Effets de la teneur en poudre de sachets fondus sur la densité apparente.

Les résultats enregistrés concernant le comportement de la densité apparente, suite à l'utilisation de la poudre de sachets plastiques fondus en mélange avec le bitume et les granulats pour constituer le béton bitumineux, sont présentés sur la Figure 3. On peut en effet y observer que la densité apparente du béton bitumineux décroît lorsque la teneur en poudre de sachets plastiques fondus dans le bitume augmente.

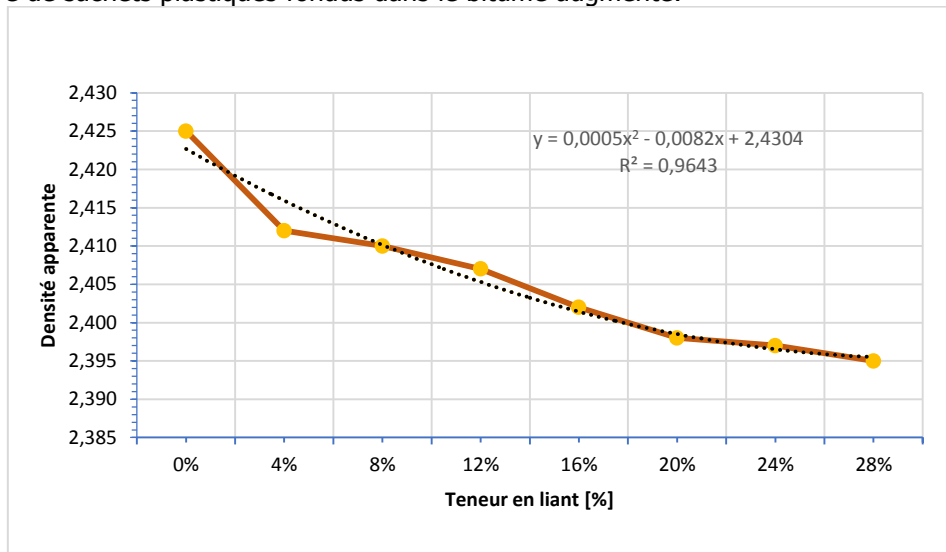


Figure 5 : Evolution de la densité apparente du béton bitumineux en fonction de la teneur en sachets plastiques.

3.4.3. Effets de la teneur en poudre de sachets fondus sur la stabilité du béton bitumineux

Les résultats relatifs à l'évolution de la stabilité, suite à l'utilisation de la poudre de sachets plastiques fondus en mélange avec huile lourde et les granulats pour constituer le béton, sont présentés à la Figure 6. On peut affirmer que la stabilité du béton bitumineux s'accroît avec l'augmentation de la teneur en poudre de sachets plastiques fondus. Il est à remarquer que le taux de variation de la stabilité Marshall est d'environ 6,85% contre un taux de variation théorique de 12,15% pour une plage de teneurs d'incorporation de sachet plastique de 0 à 24 comparais avec les résultats fait par les autres chercheurs [12].

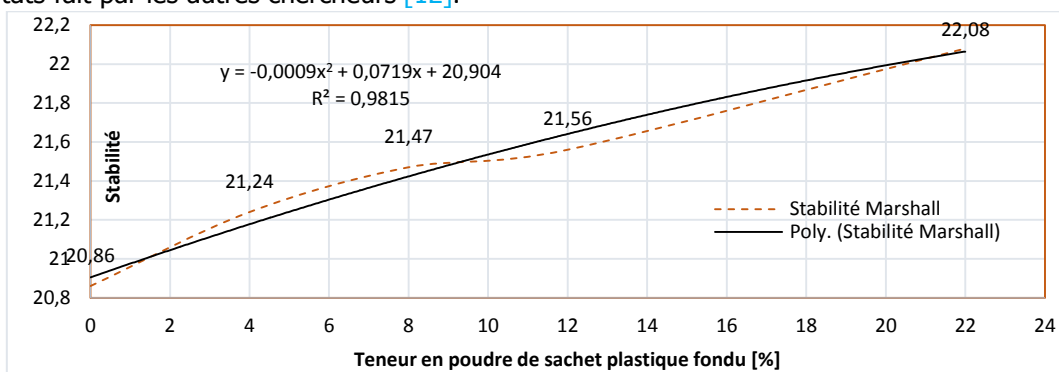


Figure 6 : Evolution de la stabilité Marshall du béton bitumineux en fonction de la teneur en sachets plastiques.

3.4.5. Effets de la teneur en poudre de sachets fondus sur le fluage du béton bitumineux

Les résultats enregistrés suite aux essais de fluage sur les éprouvettes de béton bitumineux confectionnés en utilisant de la poudre issue du fondu de déchets de sachets plastiques en mélange avec le bitume et les granulats, sont présentés sous la forme de la Figure 7. Les données ainsi représentées montrent clairement que le fluage du béton bitumineux diminue, de manière significative, à mesure qu'augmente la teneur en poudre de sachets plastiques

fondu. En effet, le taux de variation du fluage, calculé par la différence entre les valeurs extrêmes fois cent rapportée à c'est d'environ 32,22% contre un taux de variation théorique de 34,12% pour une plage de teneurs en sachets plastiques incorporés de 0 à 28%, soit quasiment le même ordre de grandeur.

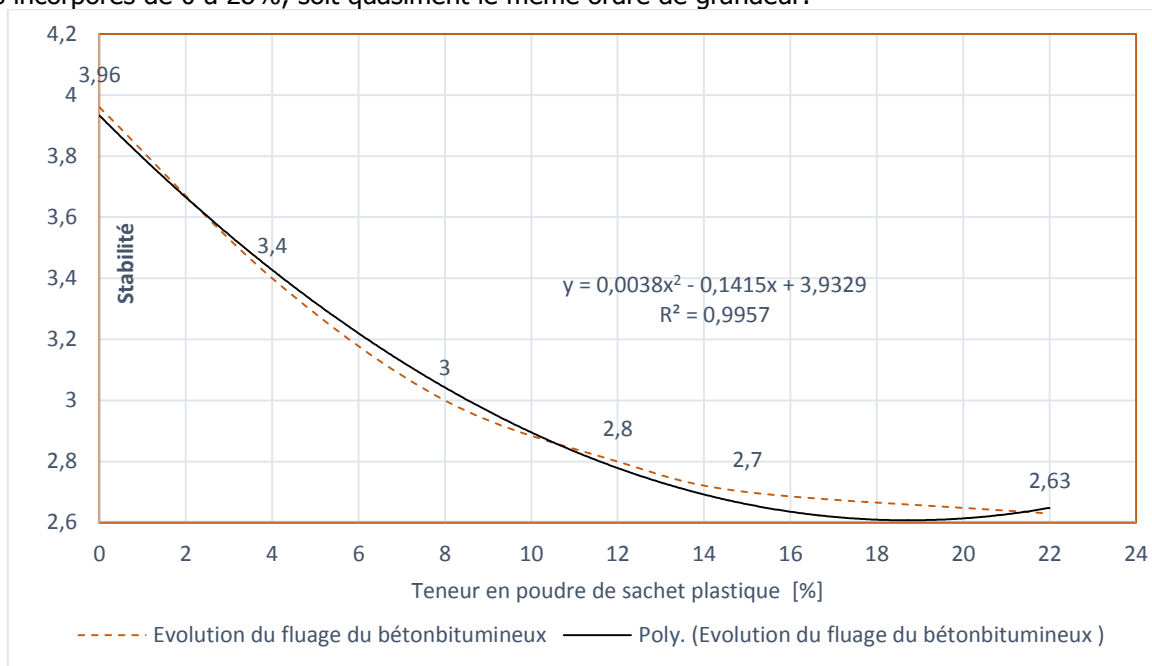


Figure 7 : Evolution du fluage du béton bitumineux en fonction de la teneur en sachets plastiques.

Le Tableau suivante donne les résultats obtenus pour des essais Marshall sur la poudre de sachet plastique utilisée seule (100%) comme le liant à la place de l'huile de Tsimiroro. Les résultats consignés dans ce tableau ont montré que les paramètres caractéristiques enregistrés sur des éprouvettes réalisés en utilisant le liant à 100% de sachets plastiques, tels que la masse volumique apparente, la compacité, le fluage, sont relativement faibles, respectivement 2,522 g/cm³, 96,11% et 1,93 (x1/10 mm), comparés à ceux obtenus avec le bitume de référence 50/70 (2,42 g/cm³, 97,87 % et 3,997x1/10 mm). Par contre, la valeur de leur stabilité Marshall est plus élevée (37,74 kN) que celle du béton issu du bitume 40/60 (20,05 kN).

Tableau 7 : Exemple de fiche de résultats d'essais Marshall pour Huile lourde 0% et sachet 100%.

FICHE DE RESULTATS D'ESSAI MARSHALL					
Taux Liant/Agrégats	5,74	Huile lourde = 0% et sachet = 100%	Taux Liant/Mélange	5,44	
Numéro d'éprouvettes		2	4	6	Moy
MASSE VOLUMIQUE REELLE DES AGREGATS (G/CM3)					2,69
MASSE VOLUMIQUE REELLE DU MELANGE (G/CM3)		2,335	2,401	2,325	2,354
VOLUME DE BITUME (%)		13,45	13,41	13,34	13,400
VOLUME DES AGREGATS (%)		82,22	82,39	82,06	82,223
VOLUME DE VIDES RESIDUELS (%)		4,33	4,2	4,6	4,377
COMPACITE (%)		95,8	95,55	94,61	95,32
MASSE VOLUMIQUE DES AGREGATS (G/CM3)		2,341	2,302	2,267	2,30
VIDES DES AGREGATS (%)		17,1	17,55	17,75	17,47
VIDES COMBLES (%)		74,62	73,53	70,24	72,80
VALEUR DE FLUAGE (1/10 MM)		2,07	1,51	3,19	2,26
STABILITE (KN)		37,88	38,65	38,24	38,26

Tous les résultats qui viennent d'être exposés et commentés ont montré que la forme poudreuse adoptée permet d'utiliser la poudre de sachets plastiques fondus, même à elle seule, comme un liant à la place du bitume. En comparaison avec le bitume, la stabilité du béton obtenu suite au mélange de la poudre de sachets plastiques avec les granulats, est plus forte, et celle-ci à plus de 90% = [100x (38,26 - 20,05) /20,05=90,82]. Nous avons présenté sur le **tableau 7** la comparaison des résultats sur les essais Marshall pour Huile lourde avec sachet et résultats d'essais Marshall pour Bitume avec sachet.

Tableau 7 : Comparaison de dégradation de résultats d'essais Marshall pour Huile lourde avec sachet et résultats d'essais Marshall pour Bitume et sachet.

Taux Liant/Agrégats 5,74	Taux Liant/Mélange Mélange avec sachet		5,44
Numéro d'éprouvettes	Huile lourde	Bitume pur	Ecarts
Masse volumique réelle des agrégats (g/cm ³)		2,69	
Masse volumique réelle du mélange (g/cm ³)	2,354	2,472	-0,118
Volume de bitume (%)	13,400	12,49	0,91
Volume des agrégats (%)	82,223	82,73	-0,507
Volume de vides résiduels (%)	4,377	4,79	-0,413
Compacité (%)	95,32	95,21	0,11
Masse volumique des agrégats (g/cm ³)	2,30	2,225	0,075
Vides des agrégats (%)	17,47	17,29	0,18
Vides combles (%)	72,80	72,37	0,43
Valeur de fluage (1/10 mm)	2,26	1,930	0,33
Stabilité (kn)	38,26	37,7	0,56

Les deux essais sur l'huile lourde et bitume avec le sachet plastique ont été presque les mêmes résultats [12].

4. CONCLUSIONS

Les investigations menées dans ce travail visant à identifier une solution pertinente de recyclage des sachets plastiques dans les procédés de construction ont consisté à déterminer les caractéristiques essentielles de liants bitumineux élaborés en substituant partiellement, au bitume 50/70, la poudre issue des sachets plastiques fondus finement broyés. Les essais effectués, sur dix variantes de mélanges correspondant respectivement aux teneurs de 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, 18%, et 21% en masse de poudre de sachets plastiques, ont eu pour effet de déclasser progressivement le liant de l'huile lourde vers les titres de bitumes les plus durs 40/60, 35/50 et même 20/30 pour le M7.

1. Les résultats des mesures d'adhésivité de ces différents liants ont amené à conclure que :
2. Le liant contenant la poudre de sachets plastiques adhère mieux aux granulats dans le béton bitumineux.
3. La stabilité Marshall du béton bitumineux a affiché une évolution croissante d'environ 6% avec l'augmentation de la teneur en poudre de sachet plastique.
4. Une faible tendance à la décroissance a été enregistrée concernant la densité apparente du béton bitumineux de l'huile lourde : 0,3%.
5. Une valeur de décroissance beaucoup plus significative a été obtenue pour le fluage prédit à partir des mesures de déformations : environ 25%.

L'utilisation de l'huile lourde permet d'avoir beaucoup d'avantage :

- Résistantes à température, trafics et durables
- Réduction de la consommation en agrégats
- Optimisation de l'huile lourde : réduction de la consommation en bitume de 5 à 15 tonnes/km
- Forte stabilité du béton bitumineux obtenu : plus de 80%, que celle du bitume pur.

Acronymes : M0 : Huile lourde initiale ; M1 : Mélange 01 ; M2 : Mélange 02 ; M3 : Mélange 03 ; M4 : Mélange 04 ; M5 : Mélange 05 ; M6 : Mélange 06 ; M7 : Mélange 07.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier Laboratoire Nationale et des Travaux Publics Madagascar (LNTPB) et CHINA ROAD AND BRIDGE CORPORATION (CRBC) à Madagascar pour la mise à disposition à la réalisation de ce travail.

7. REFERENCES

- [1] Mamiharijaona Ramaroson, Zoravaka Patrick Andriambelolon et Harijaona Barisoa Rafidison : Transformation des déchets de sachets plastiques en liant industriel par un nouveau procédé humide. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>.
- [2] Gbedo A.V. Problématique de la valorisation des déchets plastiques à Cotonou. Thèse de Doctorat Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Lettres Arts et Sciences Humaines. (2009), 237p. <https://biblionumeric.epac-uac.org>.
- [3] RNCR, Réseau National des Centres de Ressources. Etude sur la gestion des déchets plastiques dans l'espace UEMOA: cas du Bénin. Rapport final. Cotonou, Nov. (2011) 59p. <https://documents.platfome-re-sources.org>.
- [4] Ghernouti Y., and Rabehide B. Récupération et Valorisation des déchets de sacs en plastique dans le domaine de construction. In "Proceedings of 1 st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries". Edition ENSET Oran (Algeria), 12-14 October, (2009) 93-100. <https://www.commissionoceanindien.org>.
- [5] Yazoghli-Marzouk O., Dheilily R.M. and Queneudec M. Valorisation des déchets d'emballages plastiques dans les matériaux de construction. Récent Progrès en Génie des Procédés, n° 92-2005. Editions SFGP, Paris (France). ISBN 2-910239-66-7. <https://www.ajol.info/afsci>.
- [6] Kapil S. and Punjabi K.K. Improving the Performance of Bituminous Concrete Mix by Waste Plastic. Int. Journal of Engineering Research and Applications, 3(5) (2013) 863-868. www.ijera.com ISSN: 2248-9622.
- [7] Vasudevan R.N.S.K., Velkennedy R., Ramalinga A .Chandra Sekar I and B. Sundarakannan, Utilization of Waste Polymers for Flexible Pavement and Easy Disposal of Waste Polymers. In "Proceedings of International Conference on Sustainable Solid Waste Management", 5-7 September Chennai, India. (2007) 105-111. <https://www.ajol.info/afsci>.
- [8] - Huang Y., Bird N.R. and Heidrich O. A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements. Resources, Conservation and Recycling. (Elsevier), 52(2007), 58-73. <https://www.researchgate.net/post>.
- [9] VERMA S.S. Roads from Plastic Waste. The Indian Concrete Journal, (2008) 43-44. <https://www.scirp.org>.
- [10] D.S.V. Prasad, G.V.R Prasad-Raju and A. Kumar, Utilization of Industrial Waste in Flexible Pavement Construction, EJGE Journal, 13(D) (2009) 1-12. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc>.

- [11] Duriez M., et Arrambide J. Liant routiers et enrobés ; Editions Dunod et Editions du Moniteur des Travaux Publics, Paris, (1959). 553 p. <https://www.abebooks.fr>.
- [12] Houénou Kowanou, D. Adolphe Tchehouali, Emile A. Sanya et Antoine K. Vianou. Effets de l'incorporation du fondu de déchets de sachets plastiques sur la consistance du bitume et la stabilité du béton bitumineux. ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>.
- [13] G. JEUFFROY, Conception et construction des chaussées. Tome 2; Editions Eyrolles, Paris (1978). 431p. <https://www.abebooks.fr>.
- [14] Bindu C. and Beena K.S. Waste plastics as a stabilizing additive in Stone Mastic Asphalt. *Int. Journal of Engineering and Technol.* 2010(6):379-387. <https://www.researchgate.net>



Cite this article: **Ratsifaherandahy Flemond Dolin, Mamiharijaona Ramarason, Rajaonah Rabevala, Ramorason Jean De Dieu, et Randriamalala Tiana Richard.** EFFETS DE L'INCORPORATION DU FONDU DE DECHETS DE SACHETS PLASTIQUES SUR LA CONSISTANCE DE L'HUILE LOURDE DE TSIMIRORO ET LA STABILITE DU BETON BITUMINEUX. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2022; 14(1): 42-51.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>