

Valorisation des schistes houillers dans les bétons bitumineux

Himouri Slimane¹, Bendani Karim² & Acid Mohamed³

¹Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem himourislidane@hotmail.com

²Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem bendaniK@yahoo.fr

³Laboratoire National des Travaux Publics, Béchar acide_m@yahoo.fr

Résumé

La région de Béchar fait face aux terrils accumulés le long de 50 années d'exploitation des mines de charbon. L'étude porte sur la valorisation des schistes houillers comme granulats dans la composition des bétons bitumineux. La position et l'importance des terrils de schistes houillers et leurs impacts sur l'environnement immédiat des villes de Béchar, Béchar-Djedid et Kenadsa a poussé les autorités locales et nationales à rechercher des solutions aux problèmes posés. Les dernières études se sont soldées malheureusement par un échec. Trois de ces études se sont avérées irréalisables et la quatrième peu efficace et très coûteuse. Nous avons proposé une formulation de béton bitumineux incluant le matériau schistes houillers noirs. L'utilisation des schistes houillers noirs dans les mélanges en particulier en tant que sables corrigés ont apporté plus de 38 % de fines et nous avons ainsi évité le besoin d'apport en filler. Les résultats sur les densités à sec et humides, et les compacités obtenues ont été très satisfaisantes et ont atteint des valeurs élevées dépassant toute attente. Le fluage (essai Marshall) est resté bas et c'est plutôt un avantage pour les bétons bitumineux. L'existence d'une réaction chimique différée entre le bitume et les schistes houillers ou peut être que la transformation de la structure physico-minéralogique des schistes houillers lors de l'enrobage à 160°C agissent en faveur de la stabilité. Ces deux hypothèses restent à vérifier dans le cadre de travaux futurs indispensables.

Mots clés : valorisation, schistes houillers, béton bitumineux, granulats, protection de l'environnement, matériaux.

Abstract : Coal mine schists promotion in bituminous concrete

The Bechar region is faced to slag heaps accumulated along 50 years of works in coal mines. This study is focusing on the promotion of coal mine schist as aggregate component in bituminous concrete mixture. The position and the importance of coal mine schist and their immediate environmental impact on Bechar cities such as Bechar-Djedid and Kenadsa have pushed the local and national authorities to look for solutions to the arise problems. The last recent studies were unfortunately unsuccessful. Three of these methods have proved to be unworkable and the fourth less efficient and costly. In the present work, it is proposed a bituminous concrete formulation which includes the material of coal mine schist. The use of coal mine schist in the mixtures and particularly as a corrected sand have brought more than 38% of fines which has saved us the use of fillers. The obtained results on dry and wet densities and on compaction have been very satisfactory and have reached high values exceeding all expectations. On the other hand, the creep remained quite low which is considered as an advantage for bituminous concrete. The existence of differed chemical reactions between bitumen and the schist and perhaps the physico-geological structure of schist in shape of sheets of microscopic dimensions act in favor to stability. These two hypotheses have to be checked in future works.

Keywords: Promotion, Coal mine schist, bituminous concretes, aggregates, protection of environment, materials

1. Introduction

La région sud-ouest de l'Algérie renferme des gisements très importants en charbon. La découverte des premiers gisements date des années 1900, mais depuis la découverte du pétrole et du gaz dans toutes les régions sud (dans les années 1950), a fait que l'investissement et l'exploitation des mines de charbon ont connu un fort ralentissement dès le début des années 1960 ; ce qui a entraîné rapidement la fermeture des dernières mines en exploitation. L'Algérie considère aujourd'hui les mines de charbon comme des réserves énergétiques pour les années après pétrole.

La région de Kenadsa (située à 25 Km de la ville de Béchar) a été pendant plus de 50 ans un centre important d'exploitation du charbon, aux mains de la compagnie HSO (Houillères du Sud Oranais). Le début de l'exploitation industrielle du charbon date de 1917, la production en vitesse de croisière était de plus de 300 milles tonnes par an [1].

La région compte plusieurs types de minerais. L'importance des réserves en sous-sol en charbon rend cette région stratégique car elle contient le seul gisement houiller de l'Algérie connu à nos jours.

Les terrils de charbon : l'exploitation du charbon a conduit à une accumulation de schistes houillers mis en dépôt. Après les opérations de tri effectuées à l'extérieur pour séparer le charbon et les schistes, ces derniers ont été mis en dépôt pour constituer des terrils. Au début de l'exploitation, le tri s'est d'abord effectué manuellement, puis au moyen de lavoirs semi-automatiques permettant une séparation par flottation et une diminution notable du taux de charbon résiduel des schistes.

Les terrils de charbon sont une accumulation des matériaux schistes houillers mis en dépôt à travers des opérations de tri effectuées à l'extérieur pour séparer le charbon pendant plus de 50 ans d'activité minière. Les terrils contiennent également des matériaux provenant de la réalisation de puits et de galeries de communication des mines eux-mêmes. Les schistes houillers sont donc constitués de ces dépôts, de schistes de lavoirs (pour les plus récents) et de charbon en très

faible quantité (d'autant plus que le terril est ancien).

Les terrils sont de dimensions très importantes et ont souvent :

- soit pour l'essentiel une forme conique (déversement au moyen d'un skip) ;
- soit plats et de grande longueur, appelés alors cavaliers (supports de voies ferrées d'exploitation).

Toutes les mines de charbon sont aujourd'hui fermées.

La surface sur laquelle se trouvent les terrils s'étend de Béchar-Djedid (quartier périphérique de la ville de Béchar) à la ville de Kenadsa, berceau des mines de charbon, soit sur une longueur de 25 Km avec une bande de largeur pouvant atteindre par endroit les 20 Km.

La valorisation des matériaux contenus dans les terrils devient une urgence vu que ces terrils défigurent le paysage et bloquent l'extension des agglomérations avoisinantes sans compter les retombées du point vu santé de la population lors des périodes de vent de sable.

2. Les schistes houillers

Le terme schistes houillers est associé à l'extraction du charbon. Le matériau en lui-même étant le sous-produit résultant de la séparation entre le charbon et le stérile qui l'accompagne inévitablement lors de son extraction dans la mine.

Les terrils sont constitués donc de schistes houillers et peuvent comporter des matériaux de natures différentes, notamment des intercalations gréseuses. Le terme de schiste est en fait un terme impropre, car au sens pétrographique, le schiste désigne toute formation géologique affectée par la tectonique ayant engendré de la schistosité dans le matériau.

Les gisements de charbon se présentaient généralement sous la forme d'une alternance de veines de charbon plus ou moins épaisses, séparées par des bancs de terrains généralement dénommés schistes houillers. Pour bien comprendre la nature des schistes houillers, il convient de rappeler brièvement leur origine et leur formation au cours de l'exploitation passée de mines de charbon.



Figure 1 : Terril urbain de forme conique

Les schistes peuvent présenter une diversité notable pour ce qui concerne leur composition, suivant la situation géographique et les bassins d'exploitation. Les terrils encore riches en combustibles ont été lavés afin de les extraire et de les diriger vers des centrales thermoélectriques. L'exploitation se faisait le plus souvent en galeries souterraines, comme dans le cas du bassin de Kenadsa. Les terrils montrent parfois une grande hétérogénéité. Suivant l'intensité du phénomène de combustion, les matériaux présentent des

conduit à une modification minéralogique (matériau vitrifié). La teinte rouge à orange est due à la transformation des oxydes de fer présents dans les schistes. Les propriétés géotechniques augmentent avec le degré de combustion. Nos prospections dans la région de Bèchar nous ont conduits à quatre types de terril selon la couleur du matériau schiste (figure 2). Les terrils de schistes noirs sont dominants. Le volume total en matériau d'un seul terril s'élève à plus de 210 million de m³, la densité



Figure 2 : Différents types de schistes houillers

teintes différentes qui correspondent à une échelle qualitative :

- les schistes noirs : pas de combustion,
- les schistes orange : combustion partielle ou faible,
- les schistes rouges : combustion normale complète,
- les schistes violets : combustion importante (jusqu'à 1 500°C) qui

moyenne est de 2,17 t/m³. Le poids total des matériaux des seuls terrils pris en compte constitue plus de 456 million de tonnes. Les réserves en matière première en cas d'exploitation sont assez rentables.

3. Les expériences de valorisation des terrils de schistes houillers

La valorisation des matériaux-déchets (miniers, industriels, démolitions ou autres)

revêt une importance capitale, la protection de l'environnement et du paysage par des grandes opérations telles que les volumes importants de matériaux est très coûteuses et souvent manque de financement [2]. Les tentatives d'étude et de classement des terrils de schistes houillers se sont déroulées dans plusieurs pays miniers. Peu de résultats ont été publiés en ce sens. Au début du XXème siècle, plusieurs pays ont utilisé les schistes houillers dans les couches de fondation des routes et dans les plates-formes de chemin de fer, d'autres pays les ont utilisés comme remblais.

Les Français ont élaborés un guide spécial pour la classification et la 'normalisation' de l'exploitation des schistes houillers. Ce guide est nommé guide PREDIS [3]. Les Français ont bien distingué la différence entre les différents types de schistes houillers qui présentent des volumes importants en France.

Les Belges se sont intéressés très tôt à leurs terrils de schistes houillers. L'idée de base est la voie de la valorisation des terrils des schistes houillers tout en allant vers une intégration de ces terrils dans un paysage durable de leurs sites, ce qui a donné vie à ces terrils. Des exemples de réussite sont présentés dans la région de Charleroi, de Liège et de Borinage. Les Suisses ont réussi, grâce à un maillage tantôt bleu et tantôt vert, dans la sauvegarde de leurs environnements aux abords des terrils [4].

En Algérie, les études ont proposé des solutions, dont les principales envisagées et proposées sont résumées dans les quatre propositions suivantes : le transfert des terrils, l'enfouissement des terrils, l'emploi comme granulats dans le bâtiment [5, 6, 7, 8] ou leur transformation en aire de détente et de repos.

Les coûts et des délais sont les principales causes de l'abondance de toutes ses solutions. L'opération la moins coûteuse a été estimée à 150 Million de dollars US par terril et des durées de 10 à 18 ans pour les 22 terrils proches des zones urbaines. L'utilisation des schistes dans la confection des mortiers et bétons a également été un échec, produisant un

béton de faible résistance à la compression et objet à des fissures importantes, effet également à redouter avec les enrobés. Afin d'éviter la présence de trop d'éléments fins, on exige des sables propres possédant un équivalent sable proche des 80 %. La présence de schiste, relativement argileux, engendre une boue lors du gâchage qui empêche l'enrobage des granulats par interposition d'un film entre ces derniers et le liant [9].

La position et l'importance des terrils de schistes houillers, dans l'environnement immédiat des villes, nécessite des solutions pour limiter leurs impacts sur les populations et la nature d'une part, et d'autre part, essayer de récupérer des terrains importants au développement urbain [10]. Dans les problèmes liés à l'environnement les solutions importés d'autres pays sont souvent inapplicables, soit du point de vue technicité ou du point de vue coût, sans parler des caractéristiques de l'environnement local et du climat spécifique à chaque région.

4. Les tests de laboratoires sur les schistes houillers

Les schistes houillers se présentent selon différents types de terril. Nous avons pris toutes les précautions pour prendre des échantillons représentatifs du terril le plus proche des habitations qui a fait l'objet de notre étude. Après dégagement de la couche supérieure d'environ 10 cm d'épaisseur, on a dégagé encore une deuxième couche d'une taille de 1 m sur 1,50 m environ avec une profondeur de moyenne de 50 cm à l'endroit du prélèvement et on a prélevé une quantité de 25 Kg environs des schistes noirs. Nous l'avons enveloppé et transporté au siège du laboratoire.

Les précédentes études ont montré que les constituants des schistes noirs et oranges sont : quartz, feldspaths, mica, argile, oxydes de fer ; tandis que ceux des schistes rouges et violets : quartz, oxydes de fer, silicates d'aluminium, aluminates de magnésium, matière vitreuse, cristobalite. La composition chimique des schistes houillers noirs est donnée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Composition chimique des schistes houillers

Composant	Dénomination	%
SiO ₂	Oxyde de Silicium	49,4 – 62,7
Al ₂ O ₃	Oxyde d'Alumine	26 - 28
SO ₃	Oxyde de Soufre	0,3 - 0,8
MgO	Magnésie	0,9 - 1
CaO	Chaux	0,7 - 1,5
Fe ₂ O ₃	Oxyde de Fer	4 - 6

La perte au feu est en moyenne de 6,06 % à 600°C.

Les résultats moyens des cinq essais effectués sur les échantillons de schistes noirs sont donnés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Résultats moyens des cinq échantillons

Essais	teneur en eau	densité absolue	teneur en fines	Equivalent sable	valeur de bleu de méthylène	Perte au feu
Symbole	Ω	ρ _{abs}	T _F	ES	VBS	Pf
Moyenne	1,04 %	2,17 g/cm ³	60,87 %	Insignifiant	1,33%	6,06%

Première remarque : la densité absolue de ce matériau (schistes noirs) est nettement inférieure à la densité habituelle des granulats solides de la région qui est de 2,65 g/cm³. Les schistes noirs sont un matériau relativement

Le manque concerne les éléments de diamètre compris entre 2 et 4 mm. Le pourcentage des éléments fins dans ce matériau est très élevé : environ 60 %. La question qui se pose c'est le degré d'argilosité de ces fines (NF EN 933-9) .

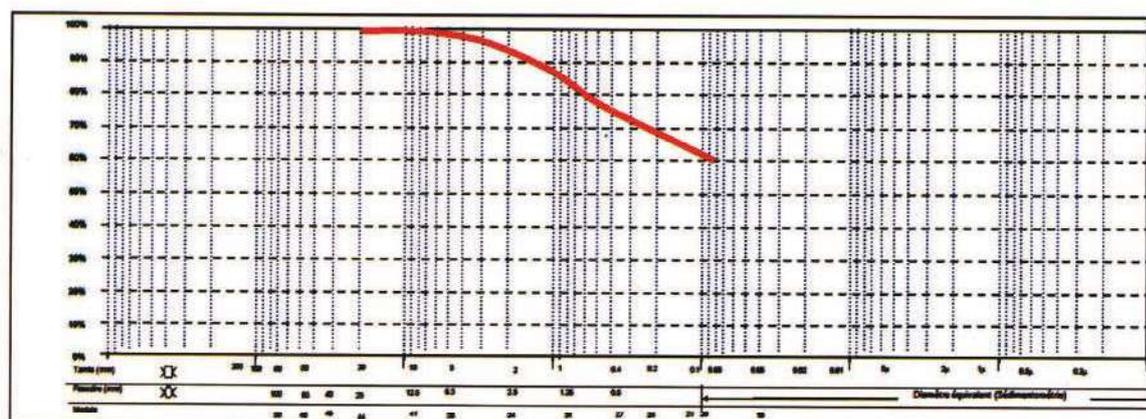


Figure 3 : Courbe granulométrique des schistes noirs

léger. La courbe granulométrique des schistes houillers est représentée dans la figure 3.

La courbe granulométrique montre clairement que le matériau schistes houillers noirs est de classe granulaire 0/5. Le matériau est pauvre en gros éléments, ce manque apparaît dans la partie supérieure de la courbe.

L'argilosité du matériau schistes houillers ne peut se mesurer qu'avec l'essai du bleu de méthylène. Nous avons obtenu une valeur moyenne de bleu de méthylène VBS de 1,33 pour les schistes noirs (Valeur de Bleu du matériau : figure 4a) qui exprime globalement la quantité et la qualité

(ou activité) de l'argile contenue dans le matériau. Les seuils retenus :

- 0,2 : seuil au-dessus duquel apparaît à coup sûr la sensibilité à l'eau,
- 1,5 : seuil distinguant les sols sablo-limoneux des sols sablo-argileux.

béton bitumineux doivent résister à une température qui dépasse les 160° C. En effet, dans le tambour sécheur lors de la confection d'un béton bitumineux les granulats sont chauffés à plus de 200°C voire à 250°C [11].

5. Formulations des bétons bitumineux

Les différents types d'essais qui ont été



Figure 4 : Essai de bleu de méthylène et de combustion sur les schistes houillers

Les essais de combustion (figure 4b et 4c), sur les schistes houillers noirs ont été réalisés selon deux procédés : par passage au four à moufle à 700°C pendant 48 heures et brûlé directement au chalumeau. Aucune réaction au four n'a été notée. Dans le deuxième procédé, on remarque que le matériau n'a, à aucun moment, brûlé ou présenté un quelconque début de combustion, aucune odeur ou émission de gaz néfaste n'a été constatée ni ressentie durant toute la période de l'essai (répété 3 fois). La présence d'un faible pourcentage de soufre et de charbon résiduel dans les schistes a favorisé le phénomène de combustion.

Nous avons donc conclu que les schistes houillers noirs étaient des matériaux très stables au feu. Les schistes houillers noirs ne brûlent pas à une température de 700° C, température assez élevée, mais par contre les schistes houillers noirs changent de couleur et passent du noir au rouge et la perte de matériau au feu était de 6%.

L'exigence pour utiliser ce matériau comme constituant dans un béton bitumineux est qu'il n'y ait pas risque de combustion du matériau à des températures proches de celles du tambour sécheur (160° C). Tous les constituants d'un

réalisés sur les schistes noirs ont montré que la teneur en eau moyenne est faible : de l'ordre de 1 %, une densité proche de 2,1 plus faible que celle des granulats classiques et une teneur en fines proche de 61 %. Les courbes granulométriques ont confirmé cette finesse du matériau étant donné que la classe trouvée est de 0/5, avec un manque apparent des grains de diamètres 2 à 4 mm. Les essais d'équivalent sable et en particulier l'essai de bleu de méthylène ont confirmé le caractère sablo-limoneux des schistes houillers noirs. Les schistes résistent bien à la chaleur et n'ont pas un caractère de matériau combustible. Les quatre formulations de béton bitumineux pris en compte sont données dans le tableau 3. Nous avons délibérément pris dans la formulation des pourcentages importants de schistes, l'objectif étant de vérifier l'influence du dosage de schistes houillers sur le comportement des bétons bitumineux.

Dans le cas des bétons bitumineux la formulation optimale est celle qui donne à la fois un béton bitumineux résistant, durable et économique [12].

La résistance des bétons bitumineux est mesurée par performance mécanique à l'aide de plusieurs essais (essai DURIEZ, essai à la

Tableau 3 : Les formulations du béton bitumineux à base des schistes houillers noirs

Formulation	première	deuxième	troisième	quatrième
schistes houillers noirs (%)	60	40	40	40
Sable 0/3 (%)	6	6	6	6
gravier de classe 3/8 (%)	34	54	54	34
gravier de classe 8/15 (%)	/	/	/	20
Bitume (%)	/	7	6,5	6,5

presse à cisaillement giratoire, essai du module complexe, essai MARSHALL....). Nous avons utilisé l'essai Marshall [13].

La durabilité est évaluée par les essais qui sont principalement la résistance à la fatigue, aux désempolement et aux contraintes thermiques. Les spécifications françaises pour les BBSG recommande pour le module de richesse des valeurs supérieures à 3,5 pour les 0/14. Ces valeurs constituent des limites pour une bonne durabilité (vieillessement, désempolement et fatigue).

La longévité est une caractéristique qui mesure la durée de vie du béton bitumineux. Elle est évaluée par plusieurs méthodes: l'essai DURIEZ qui donne la résistance à la compression sous imbibition après sept jours, l'essai du manège de la fatigue des chaussées élaboré par le LCPC¹, et l'essai proposé par le C'TTP² appelé l'essai MARSHALL modifié issu de la méthode canadienne de la détermination de la stabilité et du fluage MARSHALL après sept jours en immersion et conservé à sec.

Nous avons opté pour ce dernier essai [14]. Le coût des infrastructures de transport est lié aux coûts des matériaux utilisés dans les différentes couches. Les matériaux employés doivent répondre aux exigences techniques et être en même temps économique [15].

6. Résultats sur les formulations de béton bitumineux

L'utilisation des schistes houillers noirs dans les mélanges pour bétons bitumineux, et en particulier en tant que sables corrigés, ont apporté plus de 38 % de fine et sans avoir besoins des 7 % d'apport en filler. Les densités à secs et humides, et les compacités ont été élevées à des valeurs dépassant toute attente. Seul le fluage est resté bas et c'est plutôt un avantage pour les bétons bitumineux à base de schistes houillers noirs (figure 5). Les résultats de l'essai Marshall et Marshall modifié (tableau 4), ont montré si les schistes houillers noirs vont répondre aux exigences imposés aux bétons bitumineux.

Remarque principale 1

La stabilité moyenne reste toujours plus élevée que celle du béton bitumineux témoin. La figure 5 présente le diagramme de la stabilité Marshall en fonction de la teneur en liant montrant une courbe en cloche. Cet optimum nous indique le maximum de stabilité Marshall.

¹ Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées, France.

² Organisme de Contrôle Technique des Travaux Publics, Algérie.

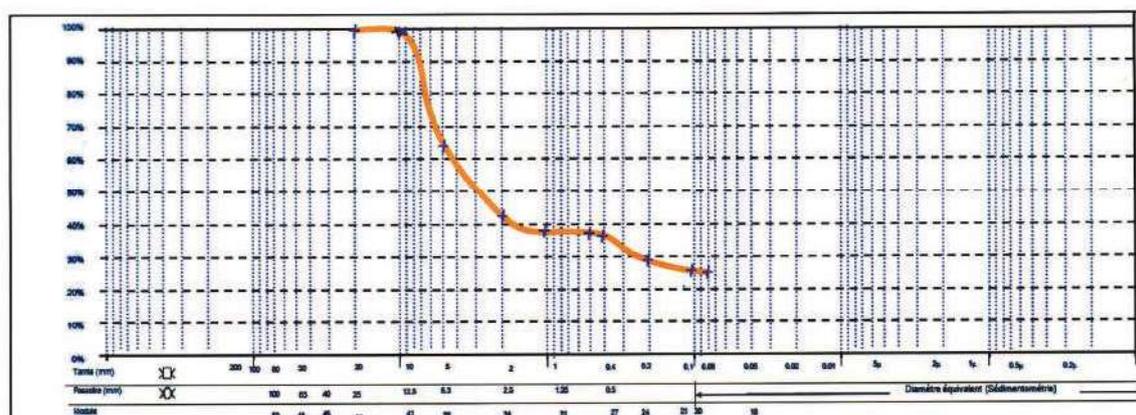


Figure 4 : Courbe granulométrique du mélange à blanc formulation n°2

Tableau 4 : Les résultats de l'essai Marshall BB semi-grenu (BBSG)

Eprouvette	N°1	N°2	N°3	N°4	
Poids (g)	1183,8	1182,9	1186,0	1182,5	
Hauteur (cm)	6,4	6,4	6,5	6,4	
Volume (cm ³)		502,4	502,4	510,25	502,4
Densité géométrique (g/cm ³)		2,36	2,35	2,32	2,35
Densité réelle (g/cm ³)		-	-	-	2,36
Stabilité Marshall (daN)	595	906	707	-	
Fluage Marshall (1/10 mm)	21	33	22	-	

Remarque principale 2

Le fluage moyen trouvé sur l'ensemble de nos essais est un petit peu plus grand que le fluage trouvé sur le béton bitumineux ordinaire témoin. L'explication possible est que la faible densité du béton bitumineux confectionné à base des schistes houillers noirs influence sur le fluage ou peut être que l'essai Marshall n'est

Résultat

Le béton bitumineux à base de schistes houillers est bel et bien un 0/14 avec une teneur en fines trop élevée. Dans le but de déterminer les caractéristiques de ce béton bitumineux, nous l'avons soumis lui aussi à l'essai Marshall. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 5 suivant.

Degré de compacité

Le degré de compactage est calculé en divisant la densité réelle de l'éprouvette Marshall par la densité absolue calculée théoriquement à 0 % de vides. La densité absolue pour le béton bitumineux à base de schistes houillers noirs est de 2,26 g/cm³. La densité est calculée en multipliant la densité de chaque constituant avec son pourcentage dans le béton bitumineux. Les degrés de compacités des différentes formules sont regroupés dans le tableau 6.

La densité s'est renforcée de 2,19 g/cm³ pour atteindre 2,22 g/cm³. Le degré de compacité a atteint 98,23 %.

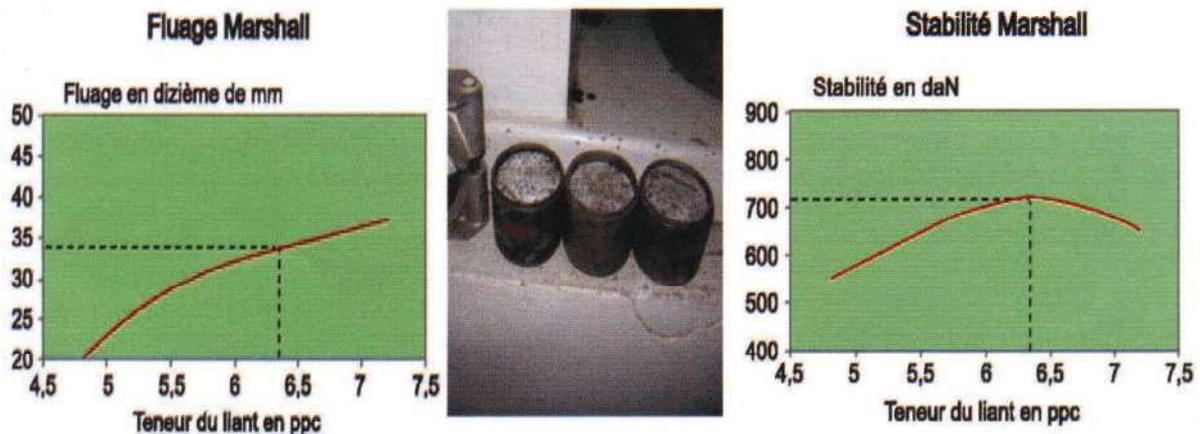


Figure 5 : optimum de la stabilité Marshall

pas insuffisamment discriminant et pertinent pour caractériser le fluage et l'orniérage.

Formulation n°4

La formulation n°4 a été conçue avec comme objectif de parer, en cas de besoins, aux insuffisances constatées dans l'une ou l'autre des trois formulations précédentes.

Choix de formule de béton bitumineux

Le choix de la meilleure formule (formulation n°4) se base sur la formulation ayant donnée la stabilité (à l'essai Marshall) la plus élevée.

Résultats

- La stabilité de ce béton bitumineux était élevée (plus grande que la normale),

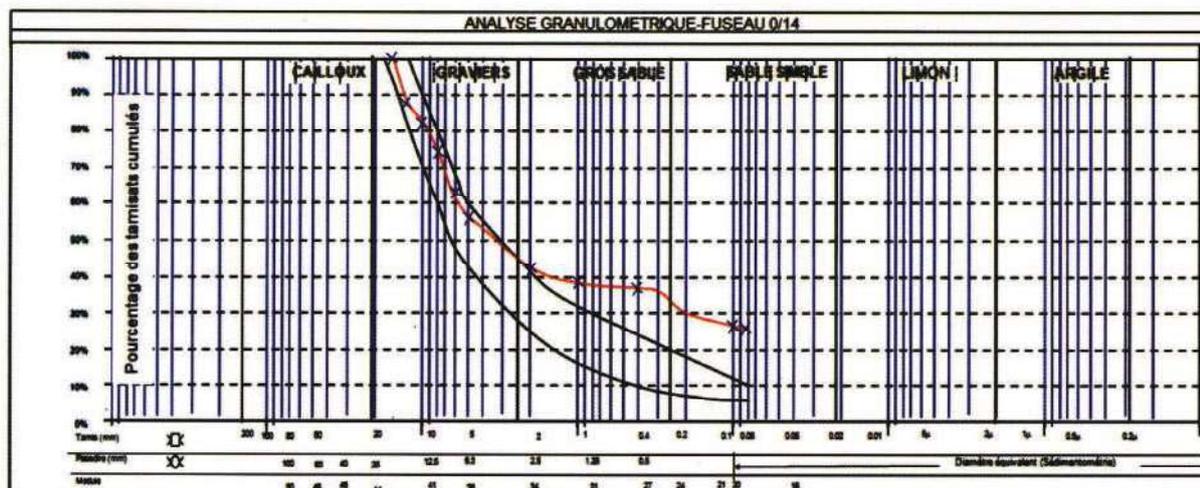


Figure 6 : Courbe granulométrique du mélange à blanc de la formulation n°4(en rouge) et fuseau BBSG 0/14

- La stabilité obtenue par la méthode Marshall modifiée a augmenté après 7 jours.
- Le même cas est observé dans les éprouvettes conservées à sec ou sous l'eau.
- La compacité a atteint un maximum de plus de 98 %.

béton bitumineux se stabilise complètement au-delà de 7 jours.

Interprétations

- La compacité élevée est due vraisemblablement à une diminution importante des vides dans le béton bitumineux. C'est préoccupant pour la résistance au fluage dynamique car

Tableau 5 : Résultats Marshall formulation n°4

Eprouvette	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6
Poids	1184,8	1174,1	1173,1	1166,6	1182,8	1180,9
Hauteur	6,8	6,7	6,7	6,7	6,8	6,7
Volume	534,07	526,22	526,22	526,22	534,07	526,22
Densité géométrique	2,22	2,23	2,23	2,22	2,21	2,24
Densité réelle	-	-	-	2,22	-	-
Stabilité MARSHALL	1878	2210	2145	2070	4076	68970
Fluage MARSHALL	35	40	33	27	65	20

- Une densité plus faible du béton bitumineux.
- La stabilité obtenue par la méthode Marshall modifiée confirme que ce

troupe dense. Ce qui implique une très grande instabilité et une texture très fermée et concourt par conséquent à des problèmes d'adhérence.

Tableau 6 : Stabilité et compacité des formulations

	Formulation n° 1	Formulation n° 2	Formulation n° 3	Formulation n° 4
Stabilité immédiate	>BB Témoin	> BB Témoin	> Stabilité2 > BB Témoin	> BB Témoin
Stabilité à sec (7 jours)	>Stabilité Im	>Stabilité Im	>Stabilité Im	>Stabilité Im
Stabilité sous l'eau (7 jours)		>Stabilité Im	>Stabilité Im	>Stabilité Im
Présence de surfaces désagrégées	Oui	Oui	Oui	Non
Degré de compacité (%)	94,25	96,90	96,46	98,23
Fluage	>BB Témoin	>BB Témoin	>BB Témoin	>BB Témoin

- Cette densité plus faible est due aux schistes houillers noirs qui ont influencé sur la densité du béton bitumineux.
- Les surfaces désagrégées présentes dans les éprouvettes sont probablement dues au pourcentage insuffisant de bitume pour une aussi grande surface spécifique de matériaux (38% de fines).

C'est la raison pour laquelle nous n'avons pas appliqué la méthode MARSHALL modifiée.

- La stabilité obtenue par la méthode Marshall modifiée n'est pas du tout normale. Dans le béton bitumineux témoin classique la stabilité diminue après 7 jours car elle est inversement proportionnelle au temps après 7 jours.
- La stabilité devrait diminuer que ce soit pour les éprouvettes conservées à sec ou sous l'eau.

La question qui se pose : comment peut-on expliquer cette augmentation de la stabilité ?

Nous pouvons seulement émettre deux hypothèses qui restent à vérifier :

- **Hypothèse 1 :** l'existence d'une réaction chimique différée entre le bitume et les schistes houillers.
- **Hypothèse 2 :** la structure physico-minéralogique des schistes houillers sous forme de feuilles de dimensions microscopique agissent en faveur de la stabilité.

Après six mois de travaux sur les schistes noirs au laboratoire des travaux publics de Béchar, les premiers résultats étaient tellement concluants que le Ministère des Travaux Publics a accepté de réaliser une planche d'essai de plus de 500 m linéaire. L'objectif est de tester le matériau à la fatigue et à l'usure. La planche a été réalisée le 02/05/2009. Les premiers contrôles effectués au mois de juin ont été satisfaisants (figure 6). Les tests de contrôle effectués ont donné les résultats présentés dans le tableau 7 ci-après.

7. Conclusion

Les schistes houillers noirs de la région de Béchar ont une teneur en eau moyenne faible de l'ordre de 1 %, une densité proche de 2,1 plus faible que celle des granulats classiques et une teneur en fines proche de 61 %. L'utilisation des schistes houillers dans la confection des bétons bitumineux est possible. Le matériau présente d'excellentes qualités pour être utilisé comme couches de roulement des chaussées, dans la couche de surface des pistes et aires de stationnement des aéroports, et même comme couverture pour les trottoirs piétons. La formulation des bétons bitumineux consiste à déterminer la composition optimum en granulats et en liant de bitume en fonction des caractéristiques recherchées (résistance, ductilité, ...).

L'utilisation des schistes houillers noirs dans les mélanges pour bétons bitumineux en tant qu'élément sableux a permis de corriger la granulométrie et d'apporter plus de fines. Les densités à secs et humides, et les compacités ont atteint des valeurs dépassant toute attente.



Figure 8 : Planche d'essai route BB avec des schistes houillers

Tableau 7 : Résultats Marshall formulation n°1

Eprouvette	N°1	N°2	N°3	N°4
Poids (g)	1162,5	1182,6	1160,8	1183,6
Hauteur (cm)	6,8	6,9	6,8	6,9
Volume (cm ³)	534,07	541,92	534,04	541,92
Densité géométrique (g/cm ³)	2,18	2,18	2,17	2,17
Densité réelle (g/cm ³)	-	2,13	-	-
Stabilité MARSHALL (daN)	1348,1	-	1524,9	1458,6
Fluage MARSHALL (1/10 mm)	53	-	40	38

Par contre le fluage est resté bas et c'est plutôt un avantage pour les bétons bitumineux à base de schistes houillers noirs. Il faudra suivre deux problèmes importants : la fissuration thermique et le désenrobage prématuré.

Nous n'avons pas pu expliquer l'augmentation remarquable de la stabilité : nous avons seulement proposé deux hypothèses qui restent à vérifier dans le cadre de travaux futurs. Soit qu'elle est due à l'existence d'une réaction chimique différée entre le bitume et les schistes houillers ou peut être la structure physico-minéralogique des schistes houillers, sous forme de feuilles de dimensions microscopique qui agissent en faveur de la stabilité.

Une étude détaillée et complète sur les schistes houillers pourra peut être donner une explication à ce que nous avons pu constater et par la même occasion elle pourra peut être trouver d'autres domaines d'utilisation des schistes houillers noirs (comme remblais des chaussées).

L'utilisation des schistes relève également d'une démarche environnementale en permettant la réduction progressive de friche industrielle et la limitation du recours aux matériaux alluvionnaires ou de carrières. Le gisement répond aux besoins qui garantissent la qualité du produit et ses performances, dès lors que les produits utilisés sont bien identifiés et que leur fabrication et mise en œuvre sont bien maîtrisées.

Bibliographie

[1] : Loboziak Stanislas et Nedjari Ahmed, 2007. Palynologie des formations houillères du bassin de Béchar-Abadla (SW oranais,

Algérie). Journal of African Earth Sciences, Volume 6, Issue 2, 1987, Pages 133-140.

[2] : ROSSI Pierre, RAOUL Guy, GAVOIS Ludovic, 2008. Utilisation des sous-produits industriels - Schistes houillers : chantier de Dourges. Edition technique de l'ingénieur, 10 août 2008. <http://www.techniques-ingenieur.fr>.

[3] : PREDIS, 2008. Guide technique régional relatif à la valorisation des SCHISTES HOULLERS. Edition LRPC Lille, CETE Nord Picardie, 20 pages.

[4] : Guide Schistes, 2006. Guides d'utilisation des matériaux lorrains en technique routière. Edition UNICEM, Belgique 42 pages.

[5] : ONRGM, 2003a. Etude de conditions de prise en charge des terrils des villes de Béchar et de Kenadsa ; partie I.

[6] : ONRGM, 2003b. Etude de conditions de prise en charge des terrils des villes de Béchar et de Kenadsa ; partie II.

[7] : ONRGM, 2003c. Etude de conditions de prise en charge des terrils des villes de Béchar et de Kenadsa ; partie III.

[8] : ONRGM, 2003d. Etude de conditions de prise en charge des terrils des villes de Béchar et de Kenadsa ; partie IV.

[9] : LNTPO, 2003. Etude géotechnique de 122 HA de Kenadsa. Première partie, Edition Laboratoire des Travaux Publics de l'Ouest, unité de Béchar.

[10]: HSE, 2006. Santé, Sécurité, Environnement et Développement Durable. *Edition HSE Info, Sonatrach, Revue N° 4-Septembre 2006.*

[11]: Jeuffroy, Sauterey, 1998. Cours de routes : couche de roulement. Edition Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris France.

[12]: OCDE, 1984. Caractéristiques de surface des revêtements routiers. Edition OCDE, Paris, 1984.

SETRA-LCPC, 1985. Contrôle de l'uni longitudinal des travaux sur chaussée. Edition SETRA, Paris, 1985.

[13]: Jeuffroy et Sauterey, 1991. Cours de routes. Contrôle de la qualité en construction routière. Edition Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France.

[14]: GTR, 2000. Guide Technique Réalisation des remblais et des couches de formes, Fascicule 1 et 2, Edition LCPC, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, et SETRA, Service d'Etude Techniques des Routes et Autoroutes. France.

[15]: CPS, 2006. Cahier des Prescriptions Spéciales : relative aux matériaux routiers. Edition MTP, Ministère des Travaux Publics. Alger.