

CADRE GEOGRAPHIQUE ET APERCU GEOLOGIQUE DES SITES DE PRELEVEMENT

CHAPITRE 2 : CADRE GEOGRAPHIQUE ET APERCU GEOLOGIQUE DES SITES DE PRELEVEMENT

2.1 Cadre géographique des sites de prélèvement

Située à l'Est de la région de Dakar, la région de Thiès est l'une des 14 régions administratives du Sénégal. La figure 2 montre la localisation des trois sites de prélèvement d'échantillons de sables dunaires : Kayar, Darou Alpha, et Keur Morry dans la région de Thiès.



2.1.1 Emprunt de Kayar

La commune de Kayar est située au point de latitude $14^{\circ}53'4.82''N$ et de longitude $17^{\circ}5'30.20''O$, à environ 20 km au Nord-Ouest de la ville de Thiès. Elle couvre une superficie de 1604 ha et occupe une position privilégiée sur la façade maritime de la grande côte dont elle constitue, un des plus grands centres de pêche artisanale. Lors des travaux d'entretien de la route Bayakh-Kayar, l'emprunt de sable de Kayar a été sollicité pour fournir des matériaux de remblais mais celui-ci a été fermé à la fin des travaux.

2.1.2 Emprunt de Darou Alpha

Non loin de la communauté rurale de Mont-Rolland, Darou Alpha se situe au point de latitude $14^{\circ}55'8.64''N$ et de longitude $16^{\circ}59'29.12''O$, à environ 18 km au Nord-Ouest de Thiès. Les espèces végétales les plus rencontrées dans la localité sont le baobab, le rônier et le cadd. Les activités principales demeurent l'agriculture, l'élevage et la pêche du fait de sa proximité avec Kayar. Toujours dans le cadre des travaux d'entretien sur l'axe précité, l'emprunt de Darou alpha alimentait également le chantier en sable.

2.1.3 Emprunt de Keur Morry

Le village de Keur Morry, partie intégrante de la communauté rurale de Thiénéba, se localise au point de latitude $14^{\circ}45'58.14''N$ et de longitude $16^{\circ}45'27.98''O$, à 19 km à l'Est de la ville de Thiès. Ce petit village, dont la population ne dépasse pas la centaine, concentre ses activités sur l'exploitation de l'emprunt de sable du village. Celui-ci constitue actuellement l'un des emprunts de sable les plus exploités de la région de Thiès.

2.2 Aperçu géologique

Les sables prélevés sont de types dunaires. Il faut noter que la région de Thiès (figure 3) est caractérisée par des formations sédimentaires du Quaternaire qui reposent sur des formations plus anciennes (Maastrichtien, Paléocène inférieur, Eocène inférieur, Lutétien inférieur et supérieur). Les formations dunaires datent du Quaternaire et sont constituées de matériaux sableux qui couvrent la majeure partie de la région. La formation de ces dunes s'explique par des variations du niveau marin et des changements climatiques et peuvent être d'âges, de textures et de couleurs différents.

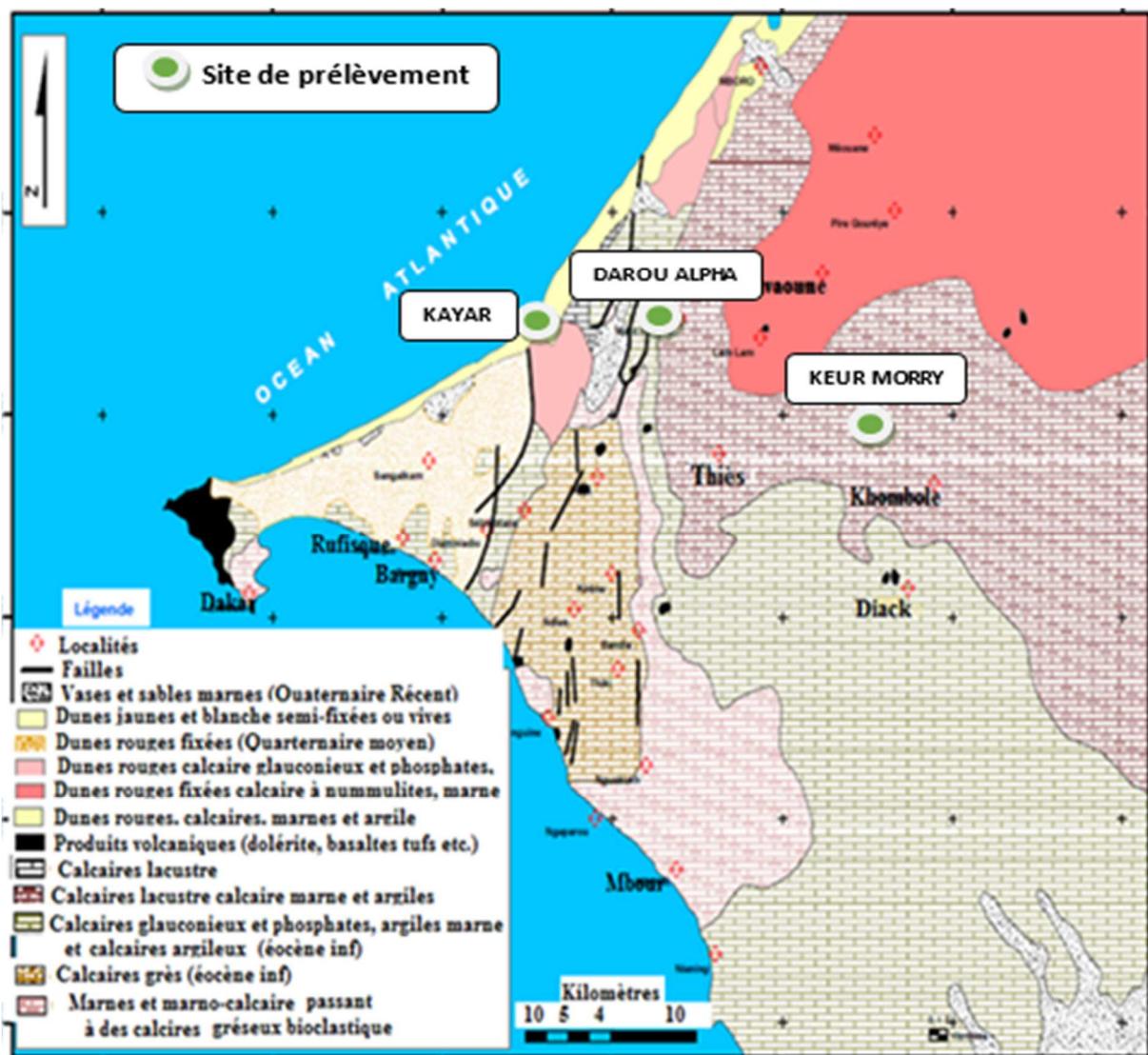


Figure 3 : Carte géologique de la presqu'île du Cap Vert et du plateau de Thiès (Roger et al, 2009)

2.2.1 Emprunt de Kayar

Il est caractérisé par des dunes littorales ou dunes blanches (figure 4) qui datent du **Subactuel à l'Actuel** (2000 à 1800 ans). Ces dunes sont constamment reprises par le vent d'où l'appellation de dunes vives.



Figure 4 : Vue sur l'emprunt de sable de Kayar

2.2.2 Emprunt de Darou alpha

Il est constitué par des dunes jaunes (figure 5) qui sont situées à l'arrière-plan des dunes littorales et se trouvent interrompues par endroits par des lacs ou des marres temporaires.



Figure 5 : Vue sur l'emprunt de sable de Darou Alpha

2.2.3 Emprunt de Keur Morry

Il est caractérisé par des dunes rouges continentales ou dunes intérieures (figure 6). Elles sont constituées de sols rouges communément appelés sols diors et datent de l'**Ogolien** (15000 à 20000 ans). Ces dunes forment un important erg depuis le Sud-Ouest de la Mauritanie jusqu'à l'Ouest du Sénégal.



Figure 6 : Vue sur l'emprunt de sable de Keur Morry

CONCLUSION PARTIELLE

Les emprunts de sable de Kayar, Darou Alpha et Keur Morry sont d'âges et de couleurs différents mais ne sont pas très éloignés de la ville de Thiès. Ils servent à l'approvisionnement en matériaux des chantiers notamment routiers. L'étude des propriétés de ces sables à l'état naturel et mélangés avec d'autres produits comme le bitume est utile pour définir avec précision leur condition d'utilisation et contribuer ainsi à leur valorisation.

CHAPITRE 3 : RESULTATS DE L'ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 3 : RESULTATS DE L'ETUDE EXPERIMENTALE

3.1 Essais d'identification des échantillons de sable

3.1.1 Analyse granulométrique

3.1.1.1 But et principe

L'analyse granulométrique est décrite par la norme **NFP 94-056** et permet de définir la répartition des particules minérales constituant un matériau par classes de taille.

Elle s'effectue par tamisage pour les particules de dimensions supérieures à $80 \mu\text{m}$ et consiste à faire passer l'échantillon à travers une série de tamis de dimensions normalisées. Les masses de refus de chaque tamis sont cumulées et exprimées en pourcentage de la masse initiale (figure 7). Les coefficients de Hazen sont le coefficient d'uniformité $\mathbf{Cu} = D_{60} / D_{10}$ et le coefficient de courbure $\mathbf{Cc} = (D_{30})^2 / D_{60} \times D_{10}$ qui renseignent sur les caractéristiques du sable. Les diamètres D_{10} , D_{30} et D_{60} correspondant respectivement aux diamètres des particules à 10 %, 30 % et 60 % de passants.

Un sol tel que $\mathbf{Cu} < 3$ est dit à granularité serrée ; un sol tel que $\mathbf{Cu} > 3$ est dit à granularité étalée. De même, un sol tel que $1 < \mathbf{Cc} < 3$ est bien gradué alors que si $\mathbf{Cc} > 3$, le sol est mal gradué.

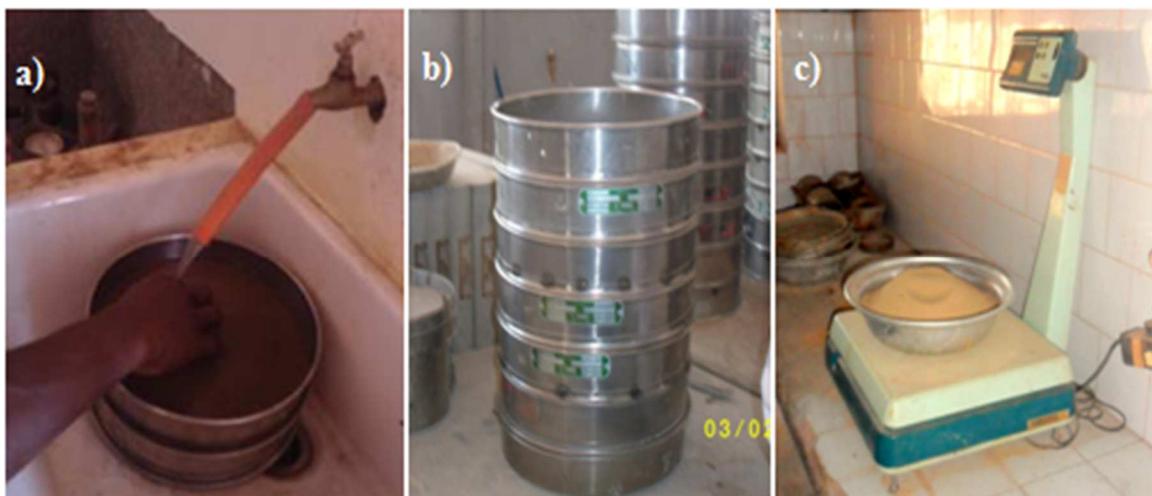


Figure 7 : Analyse granulométrique –a) lavage ; b) tamisage ; c) pesage

3.1.1.2 Présentation des résultats

a) Emprunt de Kayar

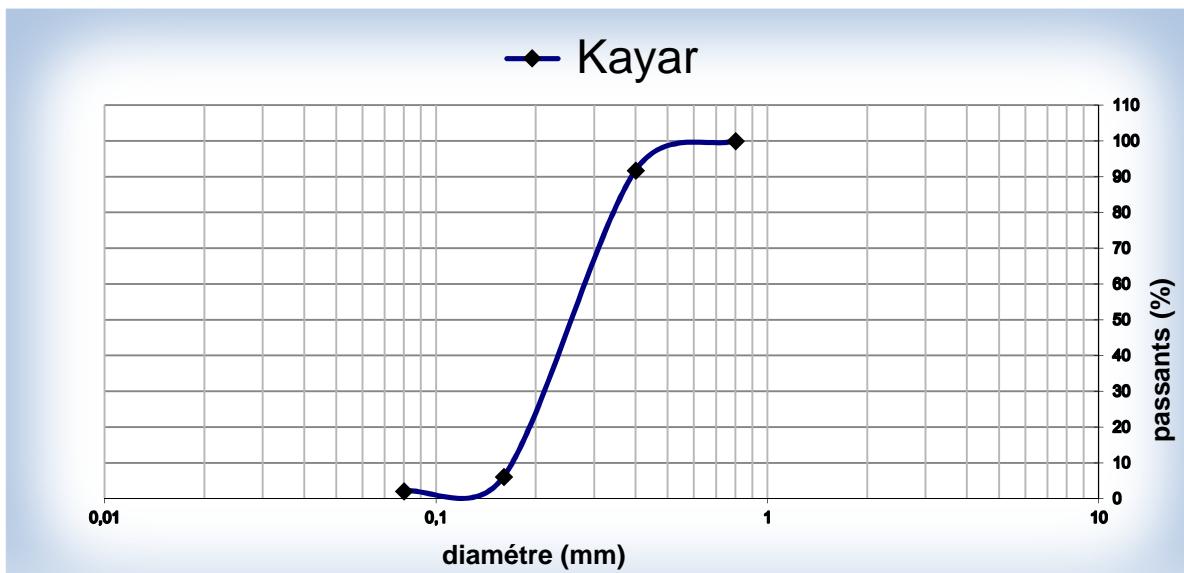


Figure 8 : Courbe granulométrique de l'échantillon de sable naturel de Kayar

La courbe granulométrique est représentée sur la figure 8. Les éléments constituant ce matériau ont un diamètre compris entre 0,4 mm et 0,08mm. Le pourcentage de fines ($\emptyset < 80\mu\text{m}$) est faible (2 %). La valeur du coefficient d'uniformité Cu est de 1,7 et indique une granularité serrée ; celle du coefficient de courbure Cc est de 0,98 et atteste d'un sable bien gradué.

b) Emprunt de Darou Alpha

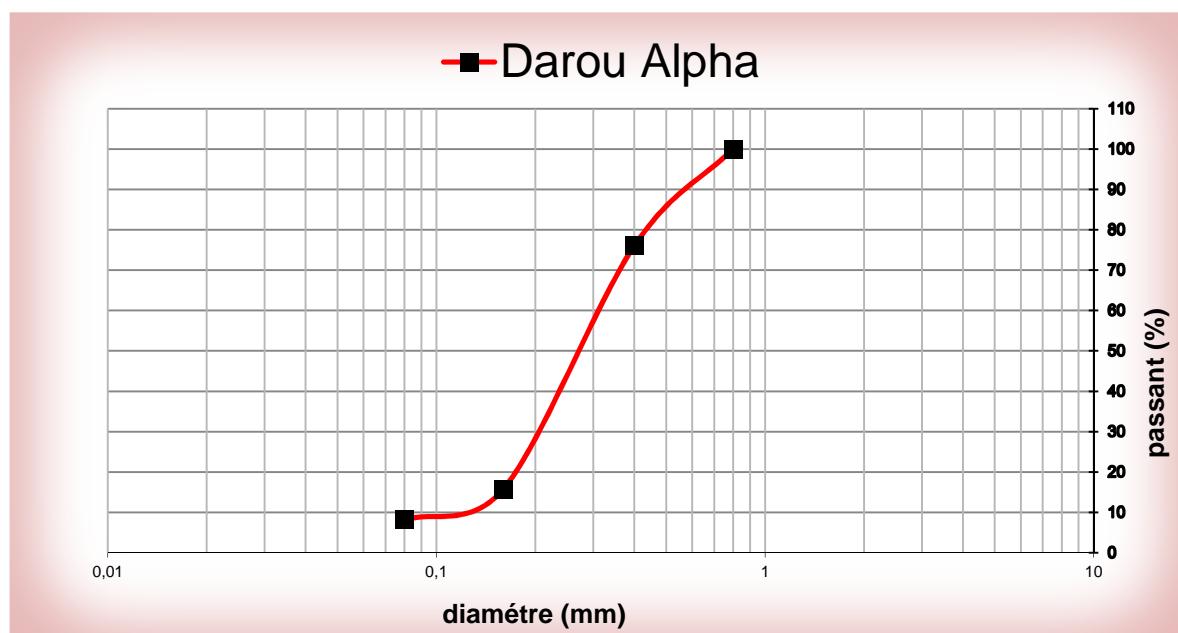


Figure 9 : Courbe granulométrique de l'échantillon sable naturel de Darou Alpha

La courbe granulométrique est représentée sur la figure 9. Les éléments constitutifs de ce matériau sont répartis dans la tranche granulométrique comprise entre 0,4 mm et 0,08 mm. La teneur en fines de ce sable est faible (8 %). La valeur du coefficient d'uniformité Cu est de 2,21 et correspond à une granularité serrée. La valeur du coefficient de courbure Cc est de 1,01 et correspond à un sable bien gradué.

c) Emprunt de Keur Morry

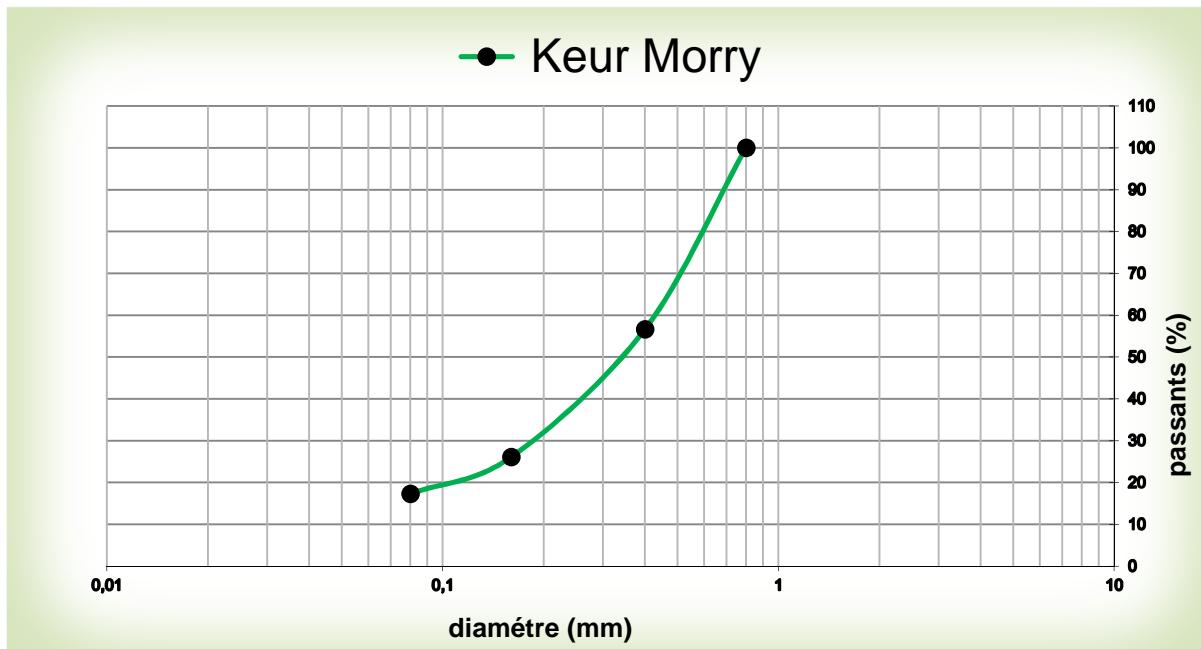


Figure 10 : Courbe granulométrique de l'échantillon de sable naturel de Keur Morry

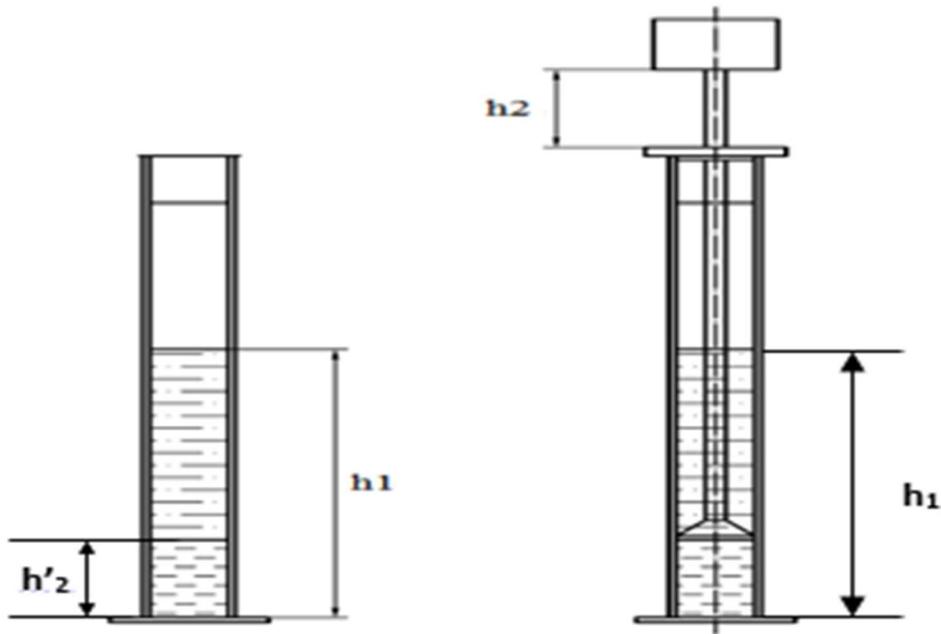
La courbe granulométrique est représentée sur la figure 10. Ce matériau contient également des éléments de dimensions comprises entre 0,4 mm et 0,08 mm. La teneur en fines est importante et est égale à 17,5 %. Le coefficient d'uniformité Cu est de 5,25 et atteste d'une granularité semi-étalée. Le coefficient de courbure Cc est égal à 1,07 et atteste d'un sable bien gradué.

3.1.2 L'essai d'équivalent de sable

3.1.2.1 But et principe

L'essai est décrit par la norme **EN 933-8** et est utilisé pour étudier les matériaux sableux destinés à la confection de béton hydraulique et à la construction routière. Il permet de déterminer la propreté du matériau sableux.

Après un lavage énergique, il s'agit de mettre en suspension les éléments fins de l'échantillon au moyen d'un floculat qui entraîne une coagulation des particules argileuses. Par définition, le rapport de la hauteur de sable (h_2) à celle du floculat (h_1) est l'équivalent de sable (figure 11).



$$\text{à vue : } ESv = \frac{h'2}{h1} \times 100$$

$$\text{au piston : } ESP = \frac{h2}{h1} \times 100$$

Figure 11 : Schématisation de l'essai d'équivalent de sable

3.1.2.2 Présentation des résultats

Les résultats de l'essai d'équivalent de sable sont consignés dans le tableau V.

Tableau V : Résultats de l'essai d'équivalent de sable

Echantillons	Kayar	Darou Alpha	Keur Morry
ES	92	62	19

Les échantillons de sable de Kayar, Darou Alpha et Keur Morry ont des équivalents de sable respectifs de 92, 62 et 19.

Pour l'enrobage à chaud, il faut rappeler que la valeur minimale de l'équivalent de sable ES est de 40. Les sables des emprunts de Kayar et de Darou Alpha conviennent bien pour être traités au bitume à chaud contrairement à celui de Keur Morry.

3.2 Essai d'identification du bitume

3.2.1 La pénétrabilité du bitume

3.2.1.1 But et principe

Cet essai décrit par la norme **EN 1426** permet de déterminer la classe du bitume. La pénétrabilité à l'aiguille d'un produit bitumineux est donnée par la profondeur, exprimée en dixième de

millimètre, à laquelle une aiguille type, sous une charge de 100 g, pénètre dans la prise d'essai pendant 5 secondes à la température de 25 °C (figure 12).

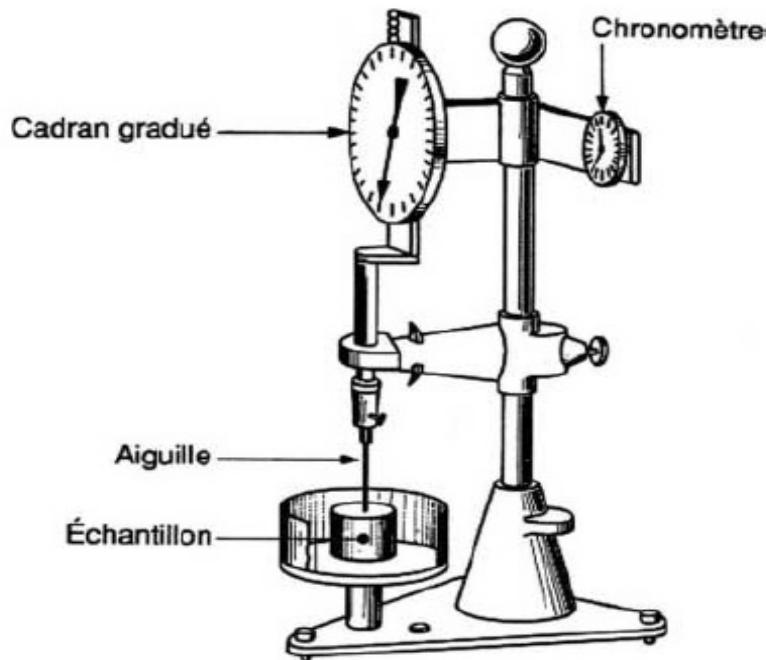


Figure 12 : Schématisation de l'essai de pénétrabilité du bitume

3.2.1.2 Présentation des résultats

Les trois mesures effectuées sur le bitume ont donné les résultats qui sont présentés dans le tableau VI.

Tableau VI : Résultats de l'essai de la pénétration standard des bitumes

Mesure	Pénétration (1/10 mm)	Moyenne (1/10 mm)
1	37	39
2	40	
3	39	

Le bitume dont la pénétration moyenne donne 39 est de classe 35/50 avec une masse volumique relative de 1,03 g/cm³. Ce bitume dur est bien approprié car permettant d'obtenir les stabilités les plus élevées. Grâce à ses qualités spécifiques, il offre une meilleure résistance à l'orniérage et au fluage des chaussées, une résistance accrue face aux intempéries, une souplesse d'utilisation et confère une longue durée de service à la chaussée.

3.2.2 Le point de ramollissement bille et anneau

3.2.2.1 But et principe

Le but est de déterminer la température à laquelle un produit bitumineux atteint un certain degré de ramollissement dans des conditions normalisées. Décrit par la norme **EN 1427**, cet essai permet de fixer arbitrairement un repère de changement de consistance appelé température bille et anneau (TBA). Deux disques horizontaux de bitume, moulés dans des anneaux sont chauffés dans un bain liquide avec un taux d'élévation de la température contrôlé, chaque disque soutenant une bille d'acier (figure 13). La température de ramollissement correspond à la moyenne des températures auxquelles les deux disques se ramollissent.

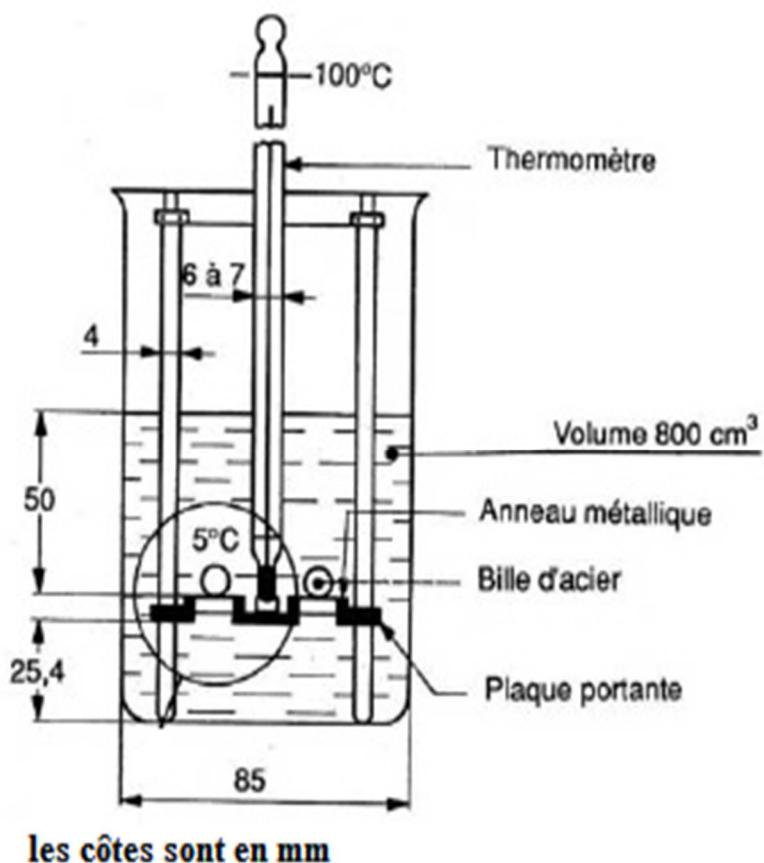


Figure 13 : Schéma de l'appareil de mesure de la TBA

3.2.2.2 Présentation des résultats

Les résultats de la détermination du point de ramollissement bille et anneau sont présentés dans le tableau VII. La valeur moyenne de la température de ramollissement obtenue est de 50 °C.

Tableau VII : Résultats de l'essai de la détermination de la température de ramollissement

	Durée	Température de ramollissement (°C)	Moyenne (°C)
Bille 1	19 min 47 s	48,8	50
Bille 2	21 min 20 s	50,5	

3.3 Essai Hubbard-Field sur le sable-bitume

3.3.1 Objectifs et principe

Il a essentiellement pour objectifs de :

- ❖ faire ressortir la variation des performances des mélanges en fonction de la variation du pourcentage de bitume ;
- ❖ choisir la formule optimale qui satisfait le mieux aux conditions requises ;
- ❖ caractériser la tenue à l'eau par le rapport des stabilités des éprouvettes avec immersion aux stabilités des éprouvettes sans immersion ;
- ❖ déterminer le pourcentage de vides et la compacité.

Cet essai décrit par la norme **NFP 98-251-3** est une méthode de mesure de la stabilité conventionnelle d'un matériau fin dont le diamètre maximal des particules minérales est inférieur à 4 mm, traité par un liant hydrocarboné, à une température et selon un mode de compactage donnés. Le liant est un bitume pur ou modifié qui peut être fluidifié ou fluxé, ou mis en émulsion.

Les éprouvettes sont conservées dans des conditions définies, avec immersion pour certaines ou sans immersion pour d'autres. La stabilité conventionnelle (à 18 °C ou 60 °C) est la force maximale nécessaire pour provoquer l'extrusion de l'éprouvette à travers un anneau calibré. La masse des éprouvettes est de 100 g, le compactage s'effectue à l'aide d'un piston d'une charge de 42 kN. Cette charge doit être atteinte en 60 secondes et maintenue pendant 5 minutes, ensuite la décharge s'effectue lentement.

La conservation des éprouvettes peut se faire soit à 18 °C, soit à 60 °C selon les conditions climatiques du milieu et les objectifs visés.

- ❖ Pour l'essai à 18 °C, sept éprouvettes sont confectionnées dont une, pour la mesure de la masse volumique apparente. Les six autres sont conservées pendant 24 h à 18 °C ; passé ce délai, un lot de trois est conservé à sec pendant 7 jours dans ces conditions et l'autre lot est soumis à l'action de l'eau à 18 °C durant le même temps. L'action de l'eau est évaluée selon

l'un des deux modes : immersion totale ou imbibition à la base. A l'issue de cette période de conservation, les éprouvettes ayant subi l'essai de tenue à l'eau sont à nouveau pesées et mesurées.

Le gain de masse d'eau (en %) est défini par la relation suivante :

$$100 \times \frac{m_2 - m_1}{m_1}$$

m_1 : masse de l'éprouvette avant immersion (g) ; **m_2** : masse de l'éprouvette après immersion (g).

Le gonflement volumétrique s'exprime par la relation suivante :

$$\frac{V_2 - V_1}{V_1} = 100 \times \frac{h_2 d_2^2 - h_1 d_1^2}{h_1 d_1^2}$$

h_1 : hauteur avant immersion ; **d_1** : diamètre avant immersion ; **h_2** : hauteur après immersion ; **d_2** : diamètre après immersion ; **V_1** : volume avant immersion ; **V_2** : volume après immersion.

❖ Pour l'essai à 60 °C, les six éprouvettes destinées à l'essai ainsi que l'appareil d'essai et le piston de compression sont placés dans une étuve dont la température à proximité de l'éprouvette est de 60 °C pendant 60 min. L'éprouvette est ensuite introduite dans un bain d'eau à 60 °C dont le niveau est tel que l'éprouvette est entièrement immergée.

Une fois le délai de conservation atteint, à 18 °C tout comme à 60 °C, l'éprouvette surmontée du piston de compression est portée entre les plateaux de la presse. La vitesse est réglée à 1 mm/s (figure 14). L'extrusion de l'éprouvette est arrêtée lorsque la charge est passée par un maximum. Cette valeur est appelée stabilité Hubbard-Field.



Figure 14 : Appareils Hubbard-Field

3.3.2 Détermination de la teneur en liant

La teneur en liant d'un sable-bitume dépend de la granularité de l'ossature et plus exactement de la surface spécifique. Cette surface est en grande partie déterminée par la proportion de fines contenue dans le sable. Théoriquement cette teneur est donnée par la formule suivante :

$$P = \alpha \cdot k \cdot \sqrt[5]{\Sigma}$$

α : coefficient de correction de la masse volumique du sable, tel que : $\alpha = \frac{2,65}{\gamma_G}$;

γ_G : masse volumique réelle du sable

k : module de richesse qui varie de 3,75 à 4,25

$k = 3,75$ pour les routes très circulées

$k = 3,85$ pour les pistes d'atterrissement ou d'envol des avions

$k = 4$ pour les routes peu circulées

Σ : surface spécifique conventionnelle du sable, telle que :

$$\Sigma = 0,25G + 2,3S + 12s + 135f \quad (m^2/kg)$$

Avec en proportions pondérales :

G : éléments supérieurs à 6 mm

S : éléments compris entre 6 et 0,315 mm

s : éléments compris entre 0,315 et 0,08 mm

f : éléments inférieurs à 0,08 mm

3.3.3 Calcul de la compacité des éprouvettes

Elle est définie par la formule suivante :

$$C = \frac{MV_a}{MV_r}$$

MV_a : masse volumique apparente déterminée au laboratoire

MV_r : masse volumique réelle de l'éprouvette

$$MV_r = \frac{100}{\frac{P_b}{mv_b} + \frac{P_s}{mv_s}}$$

P_b : pourcentage de bitume dans le mélange ;

mv_b : masse volumique du bitume ;

P_s : pourcentage de sable ;

mv_s : masse volumique du sable.

3.3.4 Présentation des résultats

L'utilisation rarissime du sable-bitume en couche de base explique qu'il n'y a pas d'indications précises en ce qui concerne les performances à atteindre. Cependant, les chantiers et les études déjà menés ont permis de dégager certains critères d'appréciation de cette technique. Ces critères sont essentiellement basés sur l'essai Hubbard-Field.

- ❖ **Stabilité minimale Hubbard-Field à 18 °C, à sec : 2300 kg (Capdesus et Chauvin, 1973)**
- ❖ **Tenu à l'eau minimale : 75 % (CEBTP, 1980)**
- ❖ **Compacité minimale Hubbard-Field : 80 % (CEBTP, 1980)**
- ❖ **Absorption d'eau maximale : 7 % (Chauvin, 1987)**
- ❖ **Gonflement volumétrique maximal : 5 % (Chauvin, 1987)**

3.3.4.1 Emprunt de Kayar

Les essais effectués sur les éprouvettes d'échantillons de sable de Kayar, avec des teneurs différentes de bitume, ont donné les résultats consignés dans le tableau VIII.

Tableau VIII : Résultats des essais Hubbard-Field obtenus avec les éprouvettes d'échantillon de sable dunaire de Kayar mélangés à du bitume 35/50

Teneur en bitume (%)		4	5	6	7	8
Eprouvette	Poids (g)	104,2	105,6	106,1	107,5	108,5
	Hauteur (cm)	2,75	2,7	2,8	2,8	2,85
	Diamètre (cm)	5	5	5	5	5
Stabilité Hubbard-Field (kg)	18 °C avec immersion totale dans l'eau	594	749	842	1005	948
	18 °C à sec	1374	1691	2109	2361	1658
Absorption d'eau (%)		10	8,5	7,5	6,8	5,8
Gonflement volumétrique (%)		5	4,9	3,4	3,4	3,3
Rapport des stabilités : immersion/sec (%)		43	44	40	43	57
Masse volumique apparente (g/cm ³)		1,69	1,73	1,78	1,78	1,88
Masse volumique réelle (g/cm ³)		2,43	2,37	2,32	2,27	2,22
Compacité (%)		70	73	77	78	85
Vides (%)		30	27	23	22	15

A partir des valeurs obtenues, il sera possible de tracer les courbes de variation de la stabilité Hubbard-Field à sec et de la stabilité Hubbard-Field après immersion durant 7 jours, en fonction du pourcentage de bitume. Elles nous permettront d'apprécier la stabilité optimale et la tenue à l'eau. Les courbes de variation des autres paramètres (la compacité, l'imbibition, le gonflement) sont aussi tracées en fonction du taux de bitume afin de mieux cerner le comportement du sable-bitume.

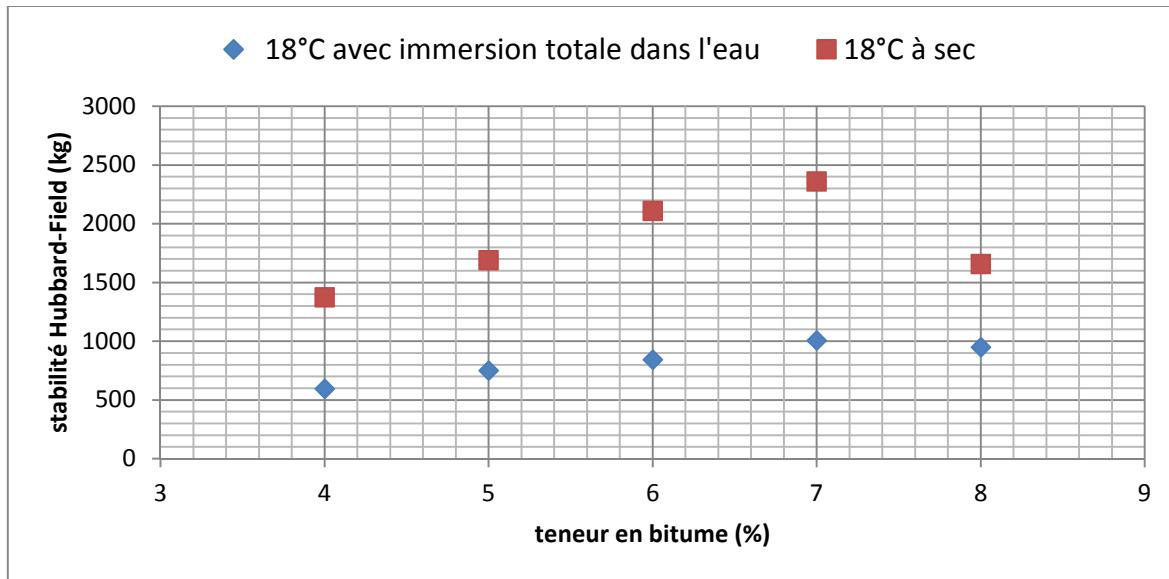


Figure 15 : Variation de la stabilité Hubbard-Field (à 18 °C, à sec et en immersion) en fonction de la teneur en bitume (sable de Kayar mélangé à du bitume 35/50)

La figure 15 montre que l'optimum de la stabilité à 18 °C et à sec est égal à 2361 kg, obtenu pour 7 % de bitume. Une teneur en bitume inférieure à cette valeur entraîne un mélange moins stable et une teneur supérieure provoque une chute de la stabilité. Cette stabilité optimale obtenue est supérieure à celle recommandée qui est de 2300 kg. La tenue à l'eau à l'optimum de la stabilité donne 43 % alors que la valeur minimale recommandée est de 75 %. Une correction doit être apportée à ce mélange pour améliorer sa résistance à l'eau.

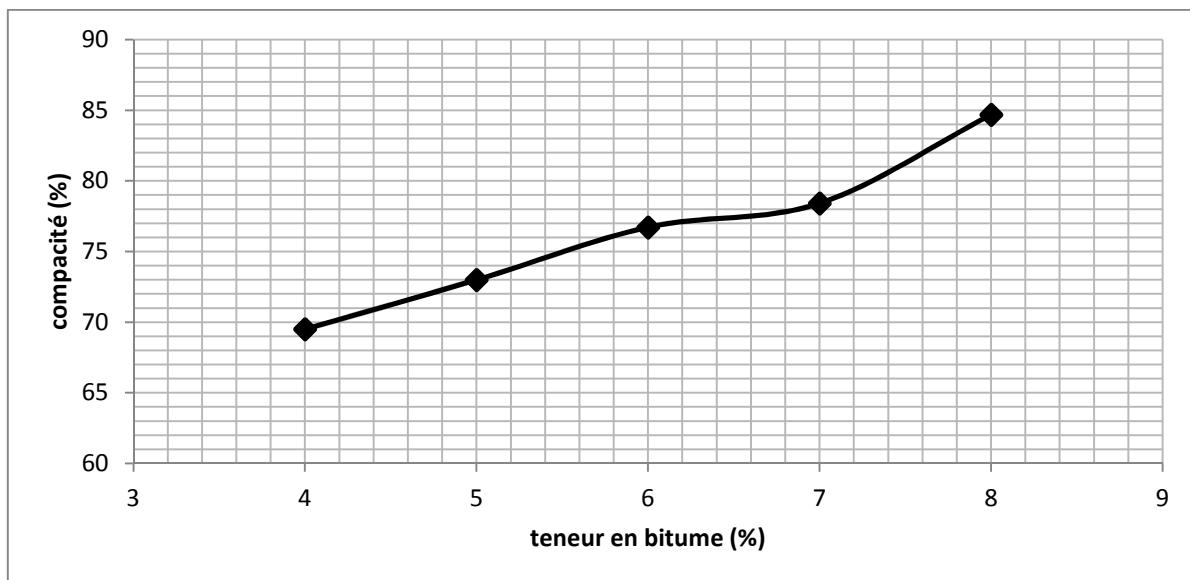


Figure 16 : Variation de la compacité en fonction de la teneur en bitume (sable de Kayar mélangé à du bitume 35/50)

La compacité croît avec l'augmentation de la teneur en bitume (figure 16). Elle varie de 70 à 85 % pour des taux de bitume compris entre 4 et 8 %. La compacité à la teneur en liant de l'optimum de la stabilité (7 %) donne 78 %. Ce mélange doit donc être amélioré pour satisfaire la valeur minimale de compacité requise qui est égale à 80 %.

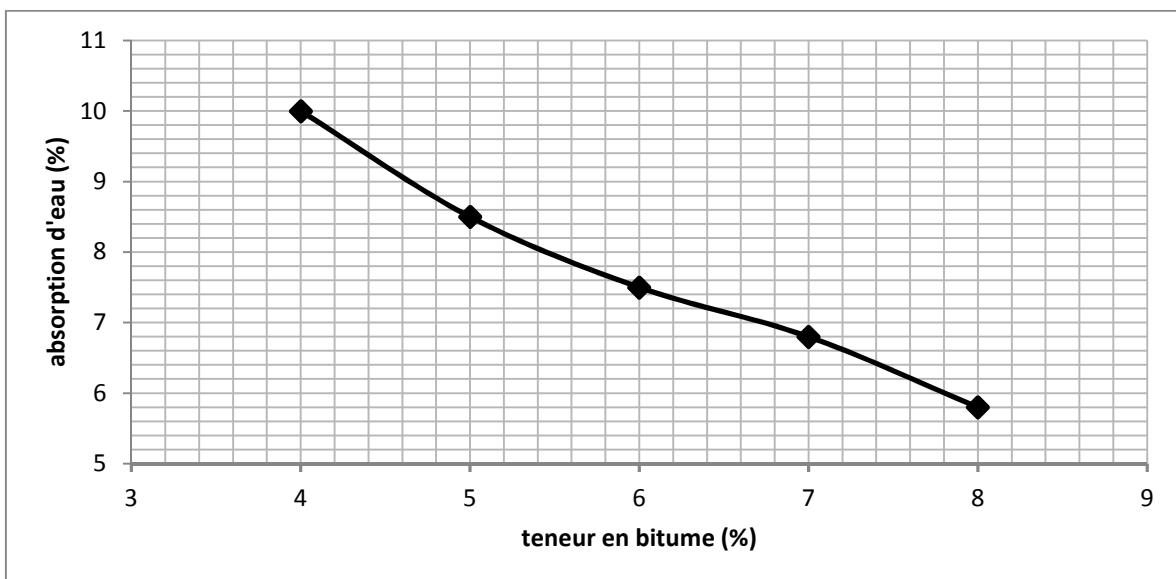
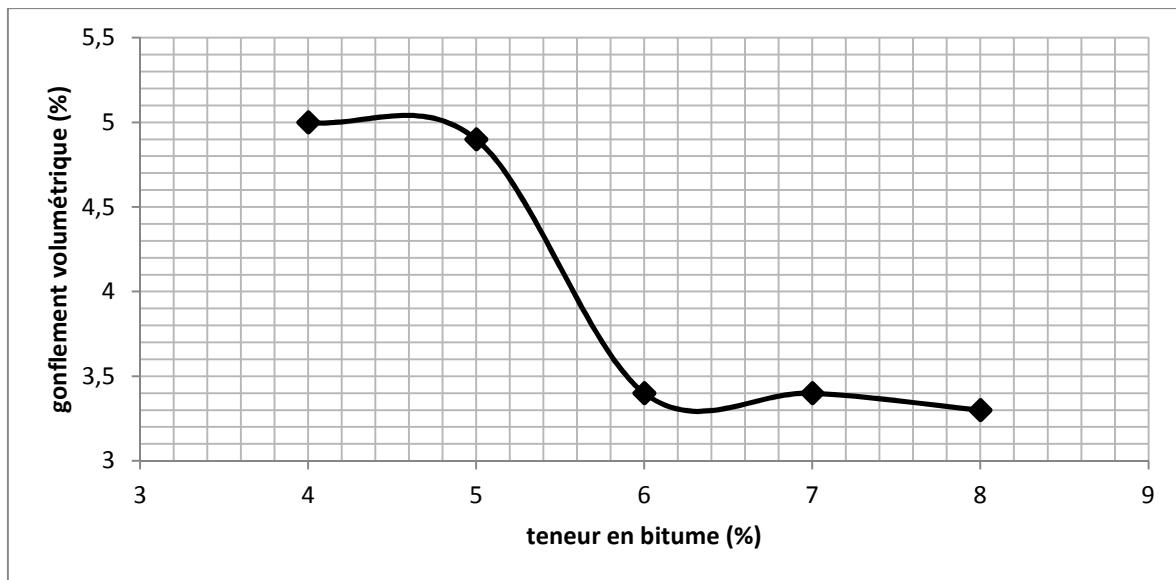


Figure 17 : Variation du taux d'absorption d'eau en fonction de la teneur en bitume (sable de Kayar mélangé à du bitume 35/50)

Le taux d'absorption d'eau diminue avec l'augmentation de la teneur en bitume (figure 17). Il varie entre 6 et 10 % pour des teneurs en bitume comprises entre 4 et 8 %. A 7 % de bitume,

qui représente la teneur en liant de l'optimum de la stabilité, l'absorption d'eau donne 6,8 % et reste inférieure à la valeur maximale (7 %) prescrite.



**Figure 18 : Variation du gonflement volumétrique en fonction de la teneur en bitume
(sable de Kayar mélangé à du bitume 35/50)**

Le gonflement volumétrique décroît avec l'augmentation de la teneur en bitume (figure 18). Ses valeurs sont comprises entre 3,3 et 5 % pour des taux de bitume variant entre 4 et 8 %. A l'optimum de la stabilité Hubbard-Field (7 % de bitume), le gonflement volumétrique (3,4 %) est inférieur à la valeur maximale spécifiée (5 %).

3.3.4.2 Emprunt de Darou Alpha

Les essais Hubbard-Field effectués sur les éprouvettes d'échantillons de sable de Darou Alpha, avec différents taux de bitume, ont donné les résultats qui sont rapportés dans le tableau IX.

Tableau IX : Résultats des essais Hubbard Field obtenus avec les éprouvettes d'échantillon de sable dunaire de Darou Alpha mélangé à du bitume 35/50

Teneur en bitume (%)		4	5	6	7	8
Eprouvettes	Poids (g)	106,2	107,5	107,8	109,6	110,6
	Hauteur (cm)	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
	Diamètre (cm)	5	5	5	5	5
Stabilité Hubbard Field (kg)	18 °C avec immersion totale dans l'eau	1658	2043	2089	2315	2189
	18 °C à sec	1990	2480	2537	2732	2348
Absorption d'eau (%)		9,8	8,7	6,2	5,4	4,5
Gonflement volumétrique (%)		3,7	3,7	3,6	2,6	2,4
Rapport des stabilités : immersion/sec (%)		83	82	82	85	93
Masse volumique apparente (g/cm ³)		1,72	1,84	1,8	1,89	1,94
Masse volumique réelle (g/cm ³)		2,42	2,37	2,31	2,26	2,21
Compacité (%)		71	78	78	84	88
Vides (%)		29	22	22	16	12

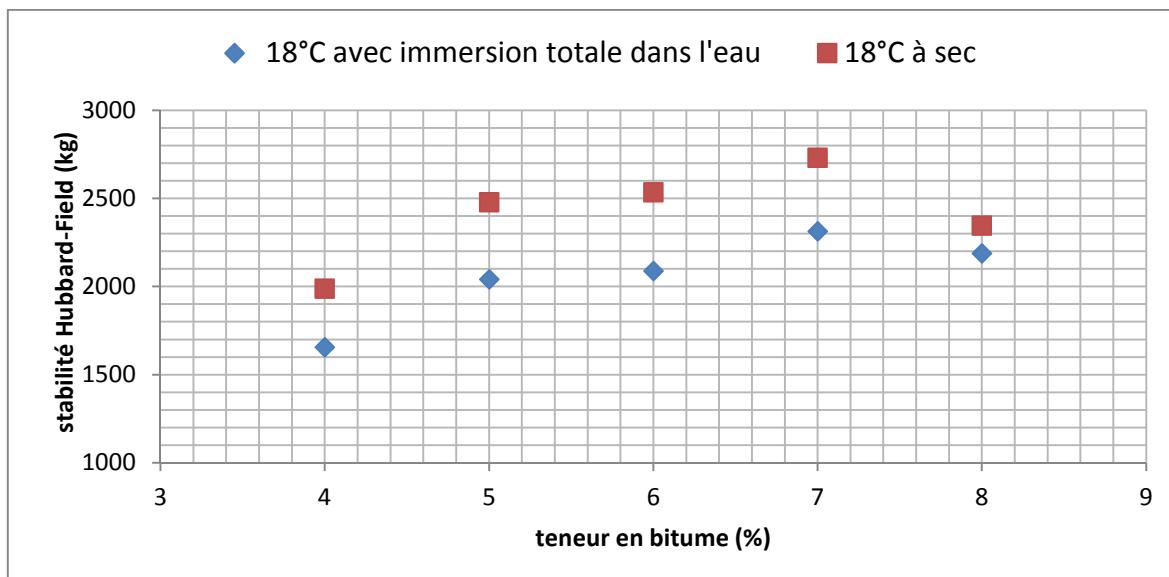


Figure 19 : Variation de la stabilité Hubbard-Field (à 18 °C, à sec et en immersion) en fonction de la teneur en bitume (sable de Darou Alpha mélangé à du bitume 35/50)

L'optimum de la stabilité à 18 °C et à sec est obtenu à 7 % de bitume avec une stabilité de 2732 kg (figure 19). La tenue à l'eau avec ce même pourcentage de bitume (7 %) donne 85 %. En termes de stabilité et de tenue à l'eau, l'échantillon de sable de Darou Alpha mélangé avec 7 % de bitume satisfait aux exigences techniques qui fixent la stabilité minimale (à 18 °C à sec) à 2300 kg et la tenue minimale à l'eau à 75 %.

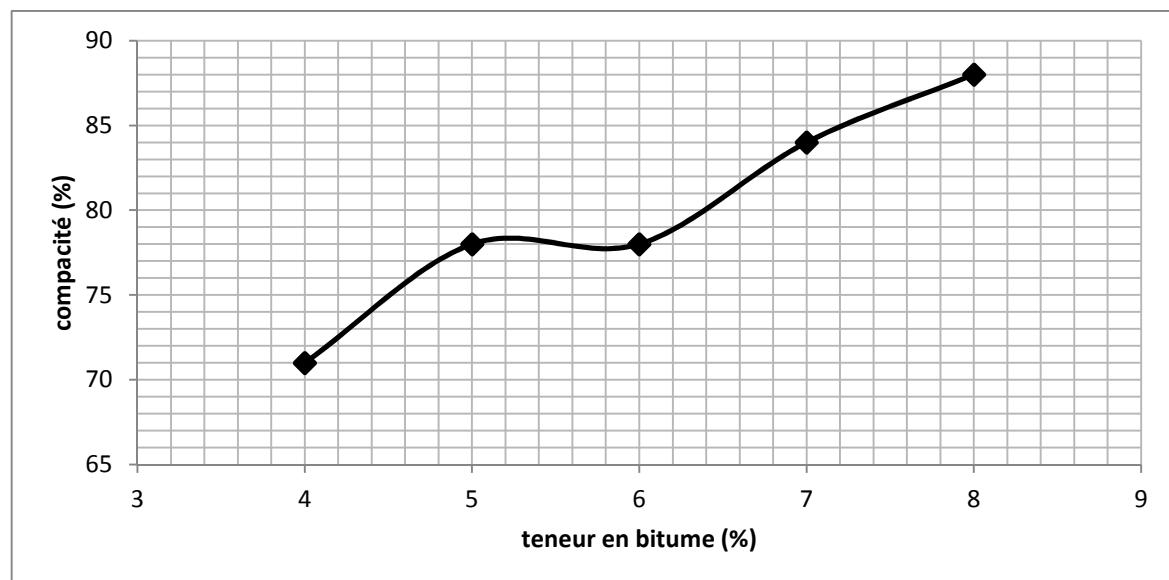


Figure 20 : Variation de la compacité en fonction de la teneur en bitume (sable de Darou Alpha mélangé à du bitume 35/50)

Plus la teneur en bitume est importante, plus la compacité est élevée (figure 20). Celle-ci varie de 71 à 88 % pour des taux de bitume compris entre 4 et 8 %. La compacité (84 %) de ce mélange à l'optimum (7 % de bitume) est supérieure à la valeur minimale spécifiée (80 %).

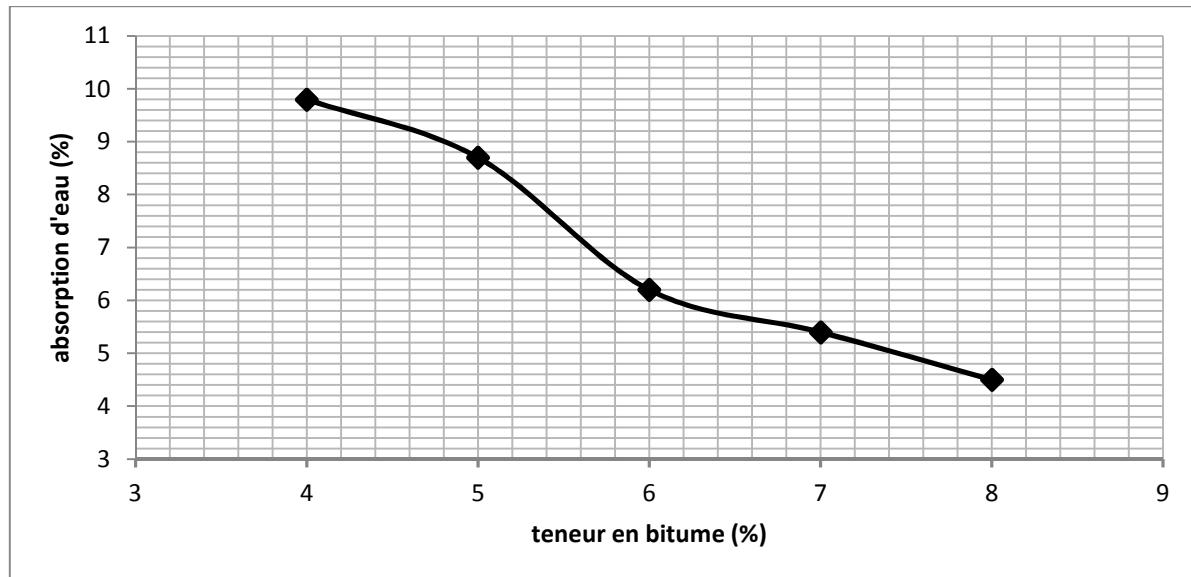


Figure 21 : Variation de l'absorption d'eau en fonction de la teneur en bitume (sable de Darou Alpha mélangé à du bitume 35/50)

Le taux d'absorption d'eau décroît avec l'augmentation de la teneur en bitume (figure 21). Il varie de 4,5 à 9 % pour des taux de bitume compris entre 4 et 8 %. A 7 % de bitume, le taux d'absorption d'eau est de 5,4 % qui est inférieur à 7 % et satisfait aux exigences techniques.

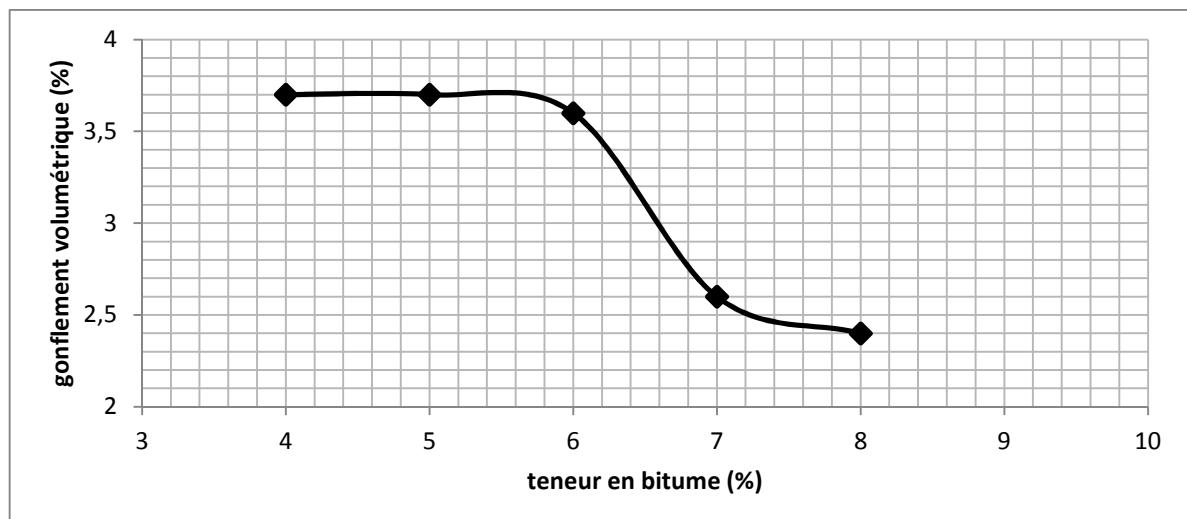


Figure 22 : Variation du gonflement volumétrique en fonction de la teneur en bitume (sable de Darou Alpha mélangé à du bitume 35/50)

Le gonflement volumétrique décroît avec l'augmentation de la teneur en bitume (figure 22). Il varie ainsi de 2,4 à 3,7 % pour des taux de bitume compris entre 4 et 8 %. A 7 % de bitume, le gonflement (2,6 %) est inférieur à 5 % et satisfait ainsi aux exigences techniques.

3.4 Interprétation des résultats expérimentaux

Pour l'enrobage à chaud, le sable utilisé doit avoir un équivalent de sable ES supérieur à 40 ; le liant utilisé doit être un bitume pur de faible pénétration (bitume dur) adapté aux trafics faibles à modérés.

La qualité du sable-bitume est évaluée par l'essai Hubbard-Field. Le matériau traité doit satisfaire aux spécifications techniques pour une utilisation en couche de base routière.

Les principaux résultats des essais de laboratoire réalisés sur les échantillons de sable des emprunts de Kayar, Darou Alpha et Keur Morry sont récapitulés dans le tableau X, ainsi que les résultats de l'essai Hubbard-Field sur les éprouvettes de sable-bitume.

3.4.1 Qualité des échantillons de sable

Pour l'enrobage à chaud, la granularité du sable ne comporte pas de restriction. Le critère d'appréciation est l'équivalent de sable ES qui doit être supérieur à 40. Dans ces conditions, les sables des emprunts de Kayar et Darou Alpha peuvent être retenus dans un premier temps car les équivalents de sable respectifs sont de 92 et 62 (tableau X). L'échantillon de sable de Keur Morry présente une faible valeur ES de 19 avec 17,5 % de fines et ne convient pas.

3.4.2 Qualité des éprouvettes de sable-bitume

Pour un dosage de 7 % de bitume 35/50 (dosage optimum), les résultats de l'essai Hubbard-Field (tableau X) montrent que les éprouvettes de sable-bitume confectionnées avec le sable de Kayar ne satisfont pas à toutes les spécifications techniques :

- ✓ la stabilité a une valeur de 2361 kg qui est supérieure à la valeur minimale requise de 2300 kg à 18 °C à sec ;
- ✓ la tenue à l'eau est de **43 %** et est nettement inférieure à la limite minimale requise de 75 % ;
- ✓ l'absorption d'eau est de 6,8 % et reste inférieure à la limite maximale recommandée de 7 % ;
- ✓ le gonflement volumétrique est de 3,4 % et est inférieur à la limite maximale recommandée de 5 % ;
- ✓ la compacité est de **78 %** et est inférieure à la limite minimale requise de 80 %.

Tableau X : Récapitulatif des résultats des essais géotechniques

Nature de l'échantillon		Sable			Valeur spécifiée pour l'enrobage à chaud
Emprunt	Kayar	Darou Alpha	Keur Morry		
Caractéristiques des sables					
Granulométrie	Fines (% d'éléments de dimension < 0,08mm)	2	8	17,5	-
	Coefficient d'uniformité (Cu)	1,7	2,21	5,25	-
	Coefficient de courbure (Cc)	0,98	1,01	1,07	-
Equivalent de sable		92	62	19	Supérieur à 40
Masse volumique des grains (g/cm ³)		2,69	2,68	2,60	-
Angle de frottement interne (°)		26,5	31,5	31	-
Caractéristiques du bitume					
Pénétrabilité (1/10 mm)		39		-	
Classe		35/50		-	
Point de ramollissement	Temps	19min 47s et 21min 20s			-
	Température moyenne	50			-
Masse volumique relative (g/cm ³)		1,03		-	
Caractéristiques des éprouvettes de sable-bitume					
Essai Hubbard- Field	Teneur en liant de l'optimum (%)	7	7	-	-
	Stabilité optimale Hubbard-Field à 18 °C et à sec (kg)	2361	2732	-	Supérieure à 2300
	Tenue à l'eau (%)	43	85	-	Supérieure à 75
	Absorption d'eau (%)	6,8	5,4	-	Inférieure à 7
	Gonflement volumétrique (%)	3,4	2,6	-	Inférieur à 5
	Compacité (%)	78	84	-	Supérieure à 80
	Vides (%)	22	16	-	-

Pour un dosage de 7 % de bitume 35/50 (dosage optimum), les résultats de l'essai Hubbard-Field (tableau X) montrent que les éprouvettes de sable-bitume confectionnées avec le sable de Darou Alpha satisfont aux spécifications techniques :

- ✓ la stabilité à 18 °C, à sec, est de 2732 kg et est supérieure à la valeur minimale requise de 2300 kg ;
- ✓ la tenue à l'eau est de 85 % et est supérieure à la limite minimale requise de 75 % ;
- ✓ l'absorption d'eau atteint 5,4 % mais reste inférieure à la limite maximale requise de 7 % ;
- ✓ le gonflement volumétrique est de 2,6 % et est inférieur à la limite maximale requise de 5 % ;
- ✓ la compacité est de 84 % et est acceptable car supérieure à la limite minimale requise de 80 % ;

Au final, l'emprunt de sable de Darou Alpha peut être exploité pour élaborer du sable-bitume utilisable en couche de base routière, pour des trafics faibles à modérés.

CONCLUSION PARTIELLE

Les résultats de l'étude expérimentale montrent que le sable de l'emprunt de Darou Alpha peut être valorisé en technique routière, avec le procédé au bitume. Les résultats de l'essai Hubbard-Field réalisés sur les éprouvettes sont satisfaisants et conformes aux exigences techniques. Avec un dosage optimum de 7 % de bitume 35/50, l'enrobage à chaud du sable de Darou Alpha est susceptible de donner un sable-bitume utilisable en couche de base routière, dans le contexte sénégalais, pour des trafics faibles à modérés.

Dans le chapitre 4, le dimensionnent avec le logiciel Alizé 3 d'une structure de chaussée routière dont la couche de base est en sable-bitume sera proposé.