

**REPUBLIQUE DU SENEGAL**

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP

**ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES**

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

GC.0169

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception

**TITRE : RATIONALISATION DES PROCEDURES DE FABRICATION  
D'ENROBES STOCKABLES, INTERACTION ET  
COMPATIBILITE DES DIFFERENTS  
CONSTITUANTS**

AUTEUR : Abdoulaye KEITA

DIRECTEUR : Massamba DIENE  
DIRECTEUR EXTERNE : Youssouph SAKHO

DATE : JUILLET 1992

A mes parents,  
A mes frères et soeurs,  
A tous ceux qui me sont chers.

## REMERCIEMENTS

Nous adressons nos très sincères remerciements à Monsieur Youssouf SAKHO, chef de la Division Régionale des Travaux Publics de Louga, chargé du cours de Routes à l'Ecole Polytechnique de Thiès et Directeur externe de ce projet, pour son engagement constant à nos côtés.

Nos remerciements vont également à :

- Monsieur Massamba DIENE, professeur à l'Ecole Polytechnique de Thiès, pour sa sollicitude sans faille,
- Monsieur Cheikh Tidiane MBOUP, technicien au laboratoire de voierie, pour son assistance lors des essais,
- l'Entreprise Jean Lefebvre et à son Directeur Monsieur TALL, pour leur concours très apprécié,
- Mademoiselle Maimouna CAMARA, Secrétaire à G.I.C. pour son appui dans le traitement de texte,
- Tous ceux qui ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à l'élaboration de ce projet de fin d'études.

## SOMMAIRE

L'entretien routier constitue un volet très important de la politique routière de l'État du Sénégal et les enrobés stockables constituent un des produits de choix utilisés lors de ces opérations. Cependant, aussi bien pour les travaux faits en régie (service des TP) qu'à l'Entreprise il n'existe pas de démarche codifiée, réglementant les opérations de fabrication des enrobés stockables.

Dans ce projet, il s'agit de déterminer la meilleure formulation pour différents types de bétons bitumineux utilisés dans l'entretien routier et d'édicter des méthodes rationnelles de fabrication.

Pour ce faire, nous avons :

- procédé à une étude bibliographique succincte du problème des enrobés stockables ainsi qu'à celle de ses constituants (liants et granulats),
- effectué des essais de caractérisation ou de contrôle aussi bien sur les granulats que sur les liants afin de nous assurer qu'ils sont bien conformes aux spécifications des normes,
- préparé des éprouvettes de différentes compositions que nous avons par la suite soumis à des essais dans l'optique d'évaluer leur résistance (stabilité Marshall, fluage), et de déterminer les quantités de vides ( $V_v\%$  et  $VDA\%$ ),
- évalué les propriétés de quelques éprouvettes de bétons bitumineux mis à notre disposition par l'Entreprise Jean Lefebvre, afin de pouvoir les comparer aux spécifications des normes.

Au terme de toute cette étude expérimentale, nous avons procédé à l'analyse des résultats des essais de laboratoire pour enfin

émettre quelques indications pour rationaliser la fabrication des bétons bitumineux stockables.

Cette étude nous a permis de déterminer l'influence de chacun des éléments constitutifs du béton bitumineux sur sa qualité et de mettre en évidence les difficultés qui découlent de l'utilisation de l'essai Marshall avec les enrobés stockables.

La teneur en liant optimale obtenue est de 5.05% pour le basalte 3/8 et de 5.45% pour le basalte 8/16.

En ce qui concerne la fabrication et la mise en oeuvre, le mélange bitumineux à base de basalte 3/8 nous est paru plus avantageux.

## TABLE DES MATIERES

<u>Matières</u>	<u>Page</u>
Remerciements.....	i
Sommaire.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des figures.....	viii
Liste des tableaux.....	x
Liste des symboles.....	xi
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1: LES ENROBES STOCKABLES ET LEURS CONSTITUANTS</b>	
1.1 Généralités sur les enrobés stockables.....	3
1.2 Les constituants	
1.2.1 Les granulats	
1.2.1.1 Le basalte	
a- Origine et disponibilité.....	4
b- Caractéristiques.....	4
c- Rôle dans le mélange bitumineux.....	5
1.2.1.2 Les granulats de substitution	
a- Le granite.....	5
b- Le calcaire.....	6
1.2.2 Les liants	
1.2.2.1 Les bitumes.....	7
1.2.2.2 Les Cut-backs.....	7
1.3 Les caractéristiques du mélange liant-granulats...	8

1.4 Les différentes sollicitations de la couche d'enrobés	
1.4.1 Les effets du temps et du climat.....	10
1.4.2 Les effets du trafic.....	10
<b>Chapitre 2: INTERACTION ET COMPATIBILITE ENTRE LIANT ET GRANULATS</b>	
2.1 Généralités.....	14
2.2 Interaction entre liant et granulats.....	14
2.3 Compatibilité entre liant et granulats	
2.3.1 Mouillage des matériaux routiers en présence d'eau.....	24
<b>Chapitre 3: FABRICATION ET CONTRÔLE DES ENROBES STOCKABLES</b>	
3.1 Les procédés d'enrobage.....	27
3.2 Influence des principaux paramètres des centrales sur la qualité des enrobés	
3.2.1 Composition moyenne du béton bitumineux Dosage des constituants.....	30
3.2.2 Homogénéité des bétons bitumineux Malaxage.....	34
3.2.3 Compactabilité _ Maniabilité _ Durabilité des betons bitumineux Malaxage et stockage.....	37
3.2.4 Conservation de l'homogénéité des betons bitumineux _ Manutention et Stockage.....	40
<b>CHAPITRE 4: ETUDE EXPERIMENTALE</b>	
4.1 Essais sur les granulats et les liants	
4.1.1 Quelques essais sur les granulats	

4.1.1.1	Description	
a-	Analyse granulométrique.....	43
b-	Densité relative et absorption des granulats grossiers.....	43
c-	Détermination de la résistance à l'abrasion _ Appareil Los Angeles.....	44
4.1.1.2	Résultats des essais ( Annexe A)...	44
4.1.1.3	Analyse des résultats.....	47
4.1.2	Quelques essais sur les liants	
4.1.2.1	Description	
4.1.2.1.1	Essais de consistance	
a-	Pénétrabilité.....	51
b-	Point de Ramollissement.....	51
4.1.2.1.2	Essais de contrôle	
a-	Densité relative.....	52
b-	Point d'Eclair et Point de Feu.....	52
c-	Ductilité.....	53
d-	Viscosité cinématique.....	53
4.1.2.2	Résultats des essais.....	53
4.1.2.3	Analyse des résultats.....	54
4.2	Etude du mélange liant-granulats	
4.2.1	Description des essais	
a-	Extraction quantitative du liant (mélanges préparés par E.J.L.).....	58

b- Densité relative brute des mélanges bitumineux compactés.....	58
c- Essai Marshall Stabilité et Fluage.....	59
d- Densité relative maximale théorique.....	59
4.2.2 Résultats des essais (courbes, Annexe C)...	60
4.2.3 Analyse des résultats.....	67
<b>CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>74</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>76</b>
<b>ANNEXE A.....</b>	<b>78</b>
<b>ANNEXE B.....</b>	<b>80</b>
<b>ANNEXE C.....</b>	<b>97</b>

## LISTE DES FIGURES

<u>FIGURE</u>	<u>PAGE</u>
Fig. 1.1 Efforts verticaux exercés sur le trafic.....	11
Fig. 1.2 Efforts horizontaux exercés sur le trafic.....	12
Fig. 1.3 Contraintes dans la couche de surface: cisaillements....	13
Fig. 2.1 Variation de la tension interfaciale en fonction du pH et de la température (solution dans le toluène de produits adsorbés à partir du bitume S.A. sur le verre).....	16
Fig. 2.2 Variation avec le pH des tensions interfaciales relatives de solutions dans le toluène de produits adsorbés à partir du bitume M.O. contenant 0.5% de dopes d'adhésivité diaminé à une température d'adsorption de 150°C.....	17
Fig. 2.3 Evolution avec le temps d'exposition à la vapeur d'eau de la conductivité de surface de: a- bitume M.O. non dopé b- bitume M.O. dopé avec 0.5% de diamine (épaisseur 0.3 mm sur verre).....	21
Fig. 2.4 Evolution avec le temps des pH de suspensions de différents minéraux (5g) dans l'eau (100 cm <sup>3</sup> ).....	21
Fig. 2.5 Equilibre des forces superficielles et interfaciales exercées sur une goutte posée sur un minéral.....	22
Fig. 2.6 Variation d l'angle de contact solide-liquide en fonction de la tension superficielle du liquide.....	23

<b>Fig. 2.7</b>	Variation de la tension d'adhésion en fonction de la tension superficielle du liquide. Parabole de mouillage.	25
<b>Fig. 3.1</b>	Les différentes phases de fabrication d'un enrobé par la technique classique et dans une centrale TSE.	29
<b>Fig. 3.2</b>	Dosage des granulats.	31
<b>Fig. 3.3</b>	Dosage en liant dans le cas d'une centrale discontinue.	32
<b>Fig. 3.4</b>	Dosage en liant dans le cas d'une centrale continue.	33
<b>Fig. 3.5</b>	Centrale TSE avec ses systèmes de dosage en granulats et en liants.	34
<b>Fig. 3.6</b>	Malaxeur continu et malaxeur TSE rotatif dite cage d'écureuil.	36
<b>Fig. 3.7</b>	Réponse de trois types de mélangeurs idéaux à un échelon unité en entrée.	37
<b>Fig. 3.8</b>	Réduction de la température d'enrobage $\hat{\Delta}t$ avec une centrale TSE.	38
<b>Fig. 4.1</b>	Courbe granulométrique basalte 3/8.	45
<b>Fig. 4.2</b>	Courbe granulométrique basalte 8/16.	46
<b>Fig. 4.3</b>	Courbe caractéristique (1) _ basalte 3/8.	61
<b>Fig. 4.4</b>	Courbe caractéristique (2) _ basalte 3/8.	62
<b>Fig. 4.5</b>	Courbe caractéristique (3) _ basalte 3/8.	63
<b>Fig. 4.6</b>	Courbe caractéristique (1) _ basalte 8/16.	64
<b>Fig. 4.7</b>	Courbe caractéristique (2) _ basalte 8/16.	65
<b>Fig. 4.8</b>	Courbe caractéristique (3) _ basalte 8/16.	66

## LISTE DES TABLEAUX

<u>TABLEAU</u>	<u>PAGE</u>
Tab. 3.1 Critères et fonction de la centrale d'enrobage.....	28
Tab. 3.2 Résistance à l'abrasion _ Appareil Los Angeles.....	31
Tab. 4.1 Indices de fidélité (Norme BNQ 2560-067-83).....	48
Tab. 4.2 Indices de fidélité des résultats des essais.....	48
Tab. 4.3 Résistance à l'abrasion _ Appareil Los Angeles.....	49
Tab. 4.4 Fidélité des résultats de l'essai Los Angeles.....	50
Tab. 4.5 Point de Ramollissement.....	54
ANNEXE A Résultats des essais sur les granulats.....	78
ANNEXE B Résultats des essais sur les liants.....	80
ANNEXE C Résultats des essais sur les mélanges.....	97

## LISTE DES SYMBOLES

$q_0$	effort vertical
$\tau$	effort horizontal
$z$	profondeur de la chaussée
$\sigma_l$	tension superficielle du liquide
$\theta_l$	angle de contact solide-liquide
$\sigma_{sl}$	tension interfaciale solide-liquide
$\tau_l$	tension d'adhésion
$\sigma_s$	tension superficielle du solide
$W_{sl}$	travail d'adhésion
$\sigma_c$	tension critique de mouillage
$\sigma_e$	tension superficielle de l'eau
$Vv\%$	pourcentage de vides du mélange
$VDA\%$	pourcentage des vides dans l'agrégat
$Mm$	masse du mélange
$b\%$	teneur en liant en pourcentage
$x$	pourcentage des agrégats
$d_m$	densité relative brute du mélange
$d_a$	densité relative moyenne des agrégats
$d_{max}$	densité relative maximale théorique

## INTRODUCTION

La route constitue, de par le rôle économique et social qu'elle joue dans un pays, un facteur essentiel de développement.

Au Sénégal, des investissements importants ont été consentis au lendemain des indépendances afin d'accroître le réseau routier. Ce qui s'est traduit par un bond du linéaire de routes bitumées qui est passé ainsi de 636 km en 1960 à 2960 km au 31.12.1978, ce chiffre n'ayant fait depuis lors que s'accroître pour se situer actuellement autour de 5000 km.

L'importance des investissements consentis doit impliquer une attitude toute particulière en ce qui concerne l'entretien même s'il est vrai que la préoccupation dominante des responsables a toujours été, sous la pression des nouveaux besoins, le développement du réseau existant.

Au Sénégal, une attention toute particulière est attachée au problème de l'entretien même si les moyens dégagés ne sont jamais à la hauteur des besoins. Avec les recommandations de la société Louis Berger, une première ébauche de politique d'entretien a été initiée avec comme principal maître d'oeuvre, la Direction de l'Entretien Routier (D.E.R.) en 1970.

Les travaux d'entretien routier sont exécutés soit en régie (par les services régionaux de Travaux Publics) soit à l'entreprise (par des sociétés privées) selon leur importance.

On se rend compte qu'il y a une diversité d'intervenants et que dès lors l'absence de cadre formel de travail pour ce qui est de l'entretien plus particulièrement était préjudiciable au développement du réseau routier.

Avec presque 80 % d'enduits superficiels et moins de 15 % d'enrobés denses pour les routes bitumées, les techniques d'entretien sont diversifiées, de l'utilisation des monocouches ou bicouches à celle des enrobés stockables.

Contrairement aux techniques impliquant l'utilisation des enduits superficiels, l'utilisation des enrobés stockables se fait en l'absence de toute norme locale essentiellement au niveau de la fabrication et de la mise en oeuvre.

Cette étude se fixe pour objectif, après un aperçu sur l'interaction et la compatibilité des constituants des mélanges bitumineux, de dégager des formulations optimales à partir de critères les plus indicatifs sur la qualité des mélanges et d'établir une démarche rationnelle pour la fabrication des enrobés stockables. A propos de critères de qualité des mélanges, il faut préciser que les essais normalisés utilisés pour les enrobés denses ne sauraient être entièrement transposés dans le cadre de cette étude qui concerne les enrobés stockables.

Notre démarche est purement expérimentale. Nous avons utilisé les matériaux les plus couramment employés dans la fabrication des enrobés stockables. Il s'agit du granulat de basalte de granulométrie 3 - 8 et 8 - 16 et du bitume 60/70 et du Cut-back 150/250 pour les liants.

Les résultats des essais effectués sur les liants, les granulats et surtout les mélanges bitumineux devraient nous permettre de dégager les meilleures formulations et ceci en l'absence de critères normalisés pour les enrobés stockables.

## **CHAPITRE 1: LES ENROBES STOCKABLES ET LEURS CONSTITUANTS**

### **1.1 Généralités sur les enrobés stockables**

Les enrobés hydrocarbonés d'une manière générale, doivent être doués de propriétés qui leur permettent de répondre du mieux possible aux problèmes posés par le trafic et aux contraintes imposées par le climat et l'exploitation du réseau.

Les enrobés stockables sont des enrobés de différentes plages granulométriques, mis en oeuvre en couche mince et utilisés dans les opérations d'entretien (point à temps, entretien courant ...). Ils sont également utilisés dans l'entretien préventif des chaussées neuves ou renforcées. L'intérêt de cette utilisation tient au fait que l'emploi des bétons bitumineux en forte épaisseur est une option onéreuse et disproportionnée avec le but recherché.

Pour les pays en voie de développement tels que le Sénégal, cette technique apparaît très intéressante et gagnerait à être raffinée en prenant en compte les conditions spécifiquement locales.

Il faut ajouter également que d'autres techniques telles que celle des enduits superficiels s'avèrent parfois inadaptées aux cas à traiter si bien qu'il serait plus réaliste d'éviter de les utiliser.

### **1.2 Les constituants**

#### **1.2.1 Les granulats**

Le choix des granulats débute par une étude des possibilités offertes par les carrières et des caractéristiques physiques et chimiques des roches qui doivent donner un matériau compatible avec les exigences techniques spécifiées.

Au Sénégal, les granulats les plus utilisés sont le basalte (dans la plupart des cas), le granite et le calcaire.

#### **1.2.1.1 Le basalte**

Le basalte est une roche ignée effusive (lave ou roche volcanique) de couleur noire à verdâtre. Il contient des phénocristaux d'olivine et des vésicules vides (vacuoles) ou remplies (amygdales) par des minéraux secondaires comme le calcite et le quartz. Il constitue de loin le granulats le plus utilisé au Sénégal, dans la fabrication des bétons bitumineux.

##### **a- Origine et disponibilité**

On trouve le basalte essentiellement dans la partie Ouest du Sénégal (Dakar, Thiès). La carrière de Diack (par Khombole, région de Thiès) en est le site d'exploitation principal.

Les roches affleurent sous une couche de terre plus ou moins importante, permettant ainsi une exploitation à ciel ouvert, par abattage à explosif, introduit dans des forages profonds.

Les blocs issus de la fragmentation des roches sont broyés au passage dans les concasseurs pour donner des grains de différentes grosseurs : 0-3, 3-8, 8-16, 16-25, 25-40 et tout venant.

L'inégalité de la répartition des gisements de basalte à travers le pays fait que dans certaines régions, d'autres types de granulats sont utilisés dans la fabrication des bétons bitumineux.

##### **b- Caractéristiques**

Nous pouvons parler pour les granulats, de deux types de caractéristiques :

- les caractéristiques intrinsèques qui tiennent à la nature même de la roche d'origine (dureté, résistance au polissage, résistance aux chocs),
- les caractéristiques qui résultent de la fabrication (propreté, forme granularité, angularité, homogénéité). Nous en parlerons plus loin.

Pour le basalte particulièrement, on peut retenir les valeurs suivantes pour quelques caractéristiques:

- Los Angeles (LA): 12 à 15;
- Micro\_Deval en présence d'eau: 10 à 12;
- Coefficient d'applatissage: 12 à 15;

#### **c- Rôle dans le mélange bitumineux**

Le basalte utilisé dans le mélange bitumineux crée la rugosité du revêtement, lui conférant ainsi, ses qualités drainantes en surface. Pour associer ses fonctions, le basalte doit avoir une bonne adhésion au liant et des qualités de résistance aux effets néfastes, des agents atmosphériques.

#### **1.2.1.2. Les granulats de substitution**

##### **a- Le granite**

Le granite (ou granodiorite) est une roche ignée plutonique de couleur grise ou rosée toujours pâle, à gros cristaux de quartz et de feldspath et contenant généralement de petites quantités de biotite ou de hornblende.

Quantitativement, sa composition est :

- 50 à 70 % de feldspath blanc, gris ou rose;
- 10 à 30 % de quartz;
- 0 à 20 % de minéraux foncés (mica, hornblende ou pyroxène);

On retrouve cette roche dans le Sud-Est du Sénégal (Kédougou).

Le granite présente des qualités satisfaisantes, notamment du point de vue de la résistance. C'est pourquoi on peut l'utiliser à défaut du basalte.

#### **b- Le calcaire**

Le calcaire est une roche sédimentaire chimique consolidée constitué de calcite de couleur blanche, grise ou jaune.

On distingue parmi les calcaires une foule de variété plus ou moins pures qui passent graduellement du calcaire pur au schiste argileux. Nous pouvons citer ainsi :

- le calcaire pur;
- le calcaire argileux (impuretés de minéraux argileux);
- le calcaire fossilifère (contenant des fossiles);
- le calcaire lithographique (à grains exclusivement fins).

De toutes ces variétés, seul le calcaire pur présente des propriétés acceptables pour être employé comme granulats dans un mélange bitumineux.

Au Sénégal, on rencontre plus généralement cette roche à l'Ouest (Dakar) et au Sud-Est (Kédougou).

#### **1.2.2 Les liants**

Les liants hydrocarbonnés normalement utilisés sur les routes sont les goudrons et les bitumes. Pour le cas spécifique des enrobés stockables, on utilise plus généralement du bitume ou du cut-back.

#### **1.2.2.1. Les bitumes**

Ils proviennent soit des roches asphaltiques, soit de la distillation du pétrole (résidus de la distillation des pétroles bruts). Il existe quatre type de bitumes de pétrole : de distillation directe, reconstitués, soufflés, soufflés et reconstitués.

Le bitume est constitué essentiellement de trois composants : les asphaltènes, les résines et les huiles (malthènes). On appelle asphaltènes la partie du bitume insoluble dans l'éther de pétrole, les résines étant la partie du résidu adsorbée sur l'alumine et les huiles la partie non adsorbée.

Le bitume est une solution colloïdale lyophobic d'asphaltènes dans les huiles (phase intermicellaire) et les résines jouent le rôle de péptisants et de stabilisants de la suspension.

Le bitume peut se trouver soit à l'état sol (dispersion fine des asphaltènes) ou gel (dispersion grossière due à une insuffisance en résines péptisantes).

Les bitumes routiers sont des bitumes sols-gels et ont un comportement visco-élastique c'est à dire que la viscosité décroît lorsque le gradient de vitesse augmente.

#### **1.2.2.2 Les cut-backs**

Ils sont des mélanges de bitume et de solvants pétroliers. C'est pourquoi leur viscosité est faible. Les cut-back se distinguent par leur vitesse de prise ou vitesse d'évaporation du solvant : prise rapide (distillat : essence) moyenne (Kérosène), lente (gas-oil). Le temps de prise est affecté par des facteurs internes comme externes.

Parmi les facteurs internes, on peut citer : la volatilité du solvant, la quantité du solvant et la pénétrabilité du bitume semi-dur utilisé. Les facteurs externes sont la température, la surface spécifique exposée (proportion de la surface au volume) et la vitesse du vent.

### **1.3 Les caractéristiques du mélange liant-granulat**

Le liant et les granulats qui sont choisis séparément doivent être accouplés afin de constituer un mélange. Pour que ce mélange puisse répondre aux attentes du fabricant, il faut qu'il y ait entre ses constituants une bonne affinité. Cette affinité est déterminée par la possibilité de mouillage des granulats par le liant et par la résistance au désenrobage du couple en présence d'eau. Donc pour la confection des mélanges, deux aspects essentiels, concernant le liant et les granulats doivent être examinés :

- le mouillage des granulats par le liant c'est-à-dire création du couple liant-granulats,
- la permanence de la liaison, c'est-à-dire sa solidité dans le temps que les granulats soient secs ou humides.

Lorsque les granulats sont secs, le mouillage par le liant se fait sans aucune difficulté car dans ce cas, la propreté est bonne.

On parle alors d'adhésion mécanique ou globale.

Par contre, lorsque les granulats sont humides (cas le plus fréquent), on devra prendre la précaution de s'assurer que le liant peut parfaitement les mouiller : c'est l'adhésivité active.

Le couple liant-granulat doit également avoir une bonne résistance au désenrobage, c'est-à-dire qu'il ne doit pas pouvoir

être dissocié en présence d'eau : c'est l'adhésivité passive. Lorsqu'on désire améliorer le mouillage des granulats par le liant, on utilise des agents d'adhésivité communément appelé "dopes".

Les dopes d'adhésivité peuvent être utilisés de différentes manières :

- au moment de la préparation des constituants : on parle dans ce cas de dopage du liant dans la masse,
- au moment du chantier : on parle de dopage en interface.

Dans le cas du dopage dans la masse du liant, on procède à un mélange homogène et soigné des constituants avant l'utilisation à l'aide de moyens élaborés. Pour ce qui esat dopage en interface, on procède au répandage du dope sur la chaussée, par pulvérisation à l'interface liant-granulats.

Le traitement des granulats est un autre moyen pour améliorer l'affinité liant-granulats. A ce propos, le chauffage des granulats permet d'assurer pratiquement l'affinité liant-granulats.

#### **1.4 Les différentes sollicitations de la couche d'enrobés**

Les enrobés stockables qui sont utilisés dans l'entretien des chaussées souples viennent en remplacement d'une partie du revêtement emportés dans la dégradation de celui-ci. A ce titre, ils sont soumis aux mêmes sollicitations mais également aux mêmes agressions de la part du temps, du climat et du trafic principalement.

#### **1.4.1 Les effets du temps et du climat**

Le temps peut avoir des effets bénéfiques sur les bétons bitumineux comme il peut avoir des effets néfastes sur eux.

L'effet bénéfique du temps sur les bétons bitumineux le plus connu est l'autoréparation. Cet autoréparation désigne les possibilités qu'ont les bétons bitumineux de recouvrer une partie de leurs propriétés mécaniques, dès lors que le trafic leur laisse le temps de se reposer. Mais avec le temps, le bitume ou plus généralement le liant vieillit et ses propriétés se dégradent.

Les agents du climat que sont le soleil, l'air et l'eau ont eux aussi une action très marquée sur le liant.

Les liaisons entre le liant et les granulats sont rendues fragiles par la présence d'eau qui abaisse les facultés d'adhésivité passive du liant et favorise le désenrobage des granulats et la destruction du couple liant-granulats.

L'air favorise l'évaporation du solvant et participe à l'oxydation du liant en s'infiltrant à l'intérieur de la couche de béton bitumineux.

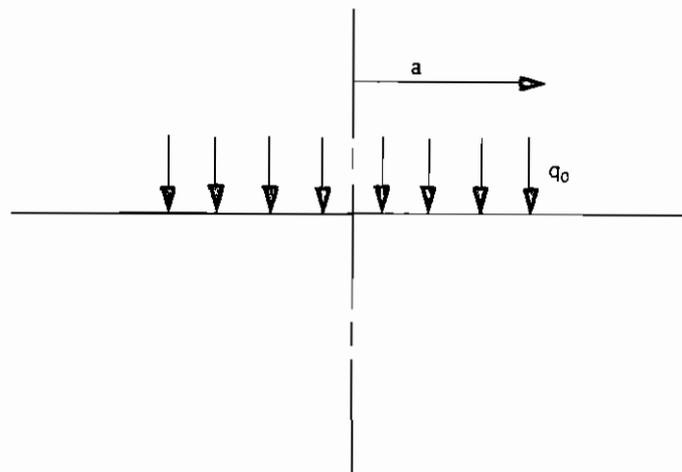
La température elle, influe sur les propriétés mécaniques des bétons bitumineux (module et allongement à la rupture). En effet, les variations de température peuvent conduire à la fissuration de la couche de roulement. Quant à la lumière, par ses rayonnements, elle influence la vitesse de vieillissement du liant.

#### **1.4.2 Les effets du trafic**

Les effets du trafic peuvent se résumer en trois types de dégradations: l'usure, le fluage et la rupture par fatigue.

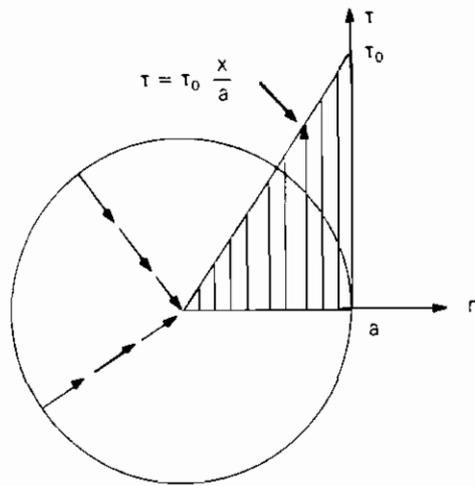
On peut retenir principalement deux types d'efforts dus au trafic:

- l'effort vertical qui égal au poids exercé sur le roue,
- l'effort horizontal qui est lié au frottement entre le pneumatique et la couche de béton bitumineux.



$p \sim 0,66 \text{ MPa}$   
 $a \sim 12,5 \text{ cm}$  pour un poids de 3,75 t par roue

**Fig 1.1 Efforts verticaux exercés par le trafic**

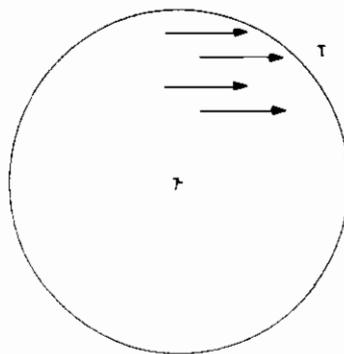


Rigidité du pneumatique

$$\tau = \tau_0 \frac{x}{a}$$

$$\tau_0 \sim 0,6 \text{ MPa}$$

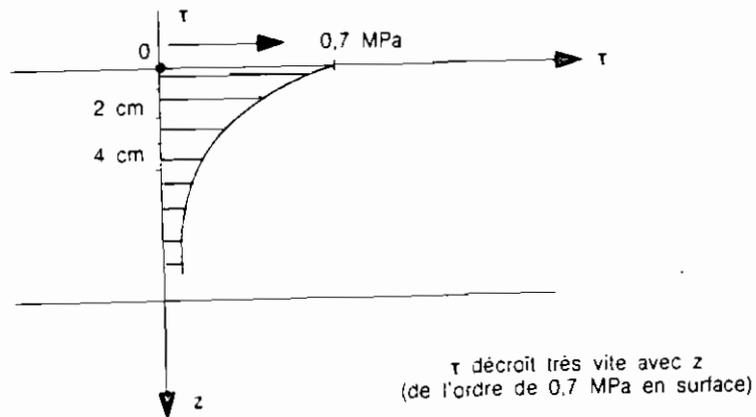
Freinage



$$\tau = \text{cste} \leq 0,6 \text{ MPa}$$

**Fig 1.2 Efforts horizontaux exercés par le trafic**

Les efforts horizontaux et les efforts verticaux peuvent participer à la dégradation des qualités de l'interface couche de base couche de surface.



**Fig 1.3 Contraintes dans la couche de surface : cisaillements**

## **CHAPITRE 2: L'INTERACTION ET LA COMPATIBILITE DES CONSTITUANTS**

### **2.1 GENERALITES**

L'étude de l'interaction et de la compatibilité du liant et des granulats revient à l'étude des mécanismes d'adhésion et de désenrobage des bitumes routiers

A ce jour, trois axes principaux sont privilégiés pour la compréhension de ce phénomène d'adhésivité :

- la recherche des systèmes susceptibles de présenter en pratique des problèmes d'adhésivité et l'évaluation des conséquences mécaniques du désenrobage,
- l'étude fondamentale du mouillage des bitumes aux interfaces bitume, minéral et air ou bitume, minéral et eau, ce qui fournit des fondements physiques à la compréhension des phénomènes d'adhésivité,
- l'étude des mécanismes de l'adhésion des bitumes et de la rupture des liaisons d'un point de vue chimique, afin de relier les phénomènes observés à la constitution des composants et à la nature de leurs interactions.

Nous nous intéresserons à l'étude des aspects chimiques de l'adhésion et du désenrobage.

### **2.2 Interaction entre le liant et les granulats**

#### **a- Etude de l'interface bitume-minéral**

Trois types de variables contrôlent l'adsorption à la surface du minéral: le bitume, la surface du minéral et les conditions de l'adsorption.

Pour avoir une meilleure idée de la contribution de chacune de ces variables, il faut considérer les conséquences engendrées par la modification de chacune d'elles.

Pour ce qui est du bitume, on s'est rendu compte que les corps adsorbés venaient des asphaltènes.

On peut dire également que pour la plupart des bitumes, la quantité totale adsorbée croît avec la température de séchage.

L'adsorption du bitume change suivant la nature du granulat utilisé et on peut dire qu'elle est plus importante pour les granulats avec lesquels il s'établit d'importantes liaisons hydrogènes à la surface.

#### **b- Etude de l'interface bitume-phase aqueuse**

Pour l'étude des propriétés de l'interface bitume-phase aqueuse, on a souvent recours à une méthode qui consiste en la mesure de la tension interfaciale des systèmes bitume-eau. Ces systèmes sont composés de résidus ou de fractions bitumineuses et des solutions aqueuses de pH variés.

D'une manière générale, les résultats se présentent ainsi :

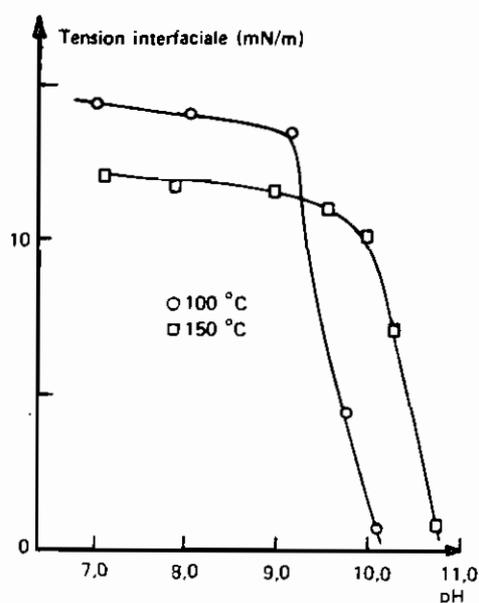
- tension interfaciale relativement élevées pour les pH intermédiaires,
- tension interfaciale peu élevée pour les pH faibles ou élevés.

La chute de la tension interfaciale vers les pH faibles ou élevés est l'indice d'une activité interfaciale élevée au contact des solutions acides ou basiques.

Il a été observé aussi que pour chaque combinaison bitume-minéral, la tension interfaciale obtenue à pH neutre présentait de petites variations qui dépendaient de la température d'adsorption et que la valeur du pH pour lequel la tension interfaciale commençait à diminuer, variait aussi.

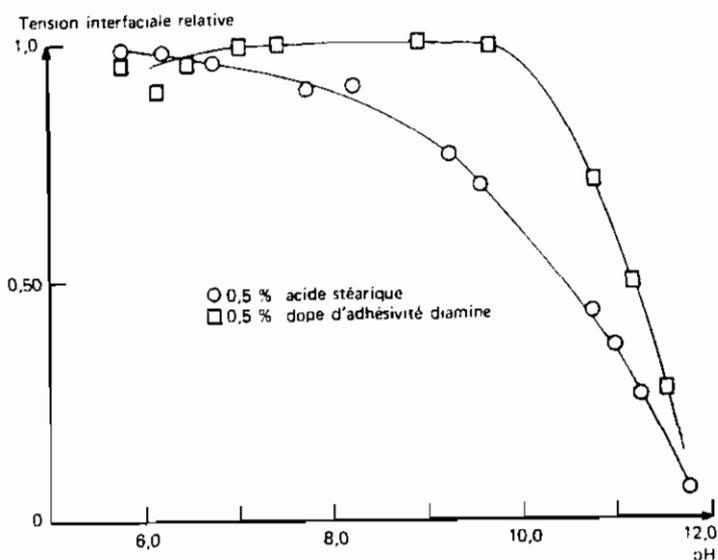
De tous ces résultats de mesure de la tension interfaciale, nous pouvons conclure que les corps adsorbés du bitume changent avec la nature de la phase aqueuse.

Les figures ci-dessous représentent la variation de la tension interfaciale en fonction du pH à des conditions de température différentes et avec des d'adhésivité différents.



( d'après Bitumes et Enrobés Bitumineux, LCPC Numéro spécial V, Décembre 1977 ).

**Fig. 2.1** Variation de la tension interfaciale en fonction du pH et de la température (solution dans le toluène de produits adsorbés à partir de bitume S.A. sur le verre.



**Fig. 2.2** Variation avec le pH des tensions interfaciales relatives de solutions dans le toluène de produits adsorbés à partir de partir du bitume M.O. contenant 0.5% d'acide stéarique et 0.5% de dope d'adhésivité diaminé à une température d'adsorption de 150°C.

( d'après Bitumes et Enrobés Bitumineux, LCPC Numéro spécial V, Décembre 1977 ).

### c- Etude de l'interface granulat-minéral-eau

Etant donné qu'on demande presque toujours à la surface du minéral d'être séchée avant d'être mise au contact du liant, on peut à juste titre, admettre que l'interface entre le minéral et l'eau est au moins aussi important pour l'étude des phénomènes d'adhésivité que celle entre le liant et l'eau ou entre le liant et le minéral.

Dès que l'eau entre au contact de la surface sèche du minéral, un grand nombre de processus complexes prend naissance et la nature de chacun d'entre eux dépend de la composition minéralogique de la surface, de son histoire passé au contact de l'eau et de la taille des minéraux. La formation d'une couche d'hydratation est très probablement la première réaction observée. C'est au fur et à mesure que les couches d'eau s'accumulent que toute une série de décompositions lentes s'amorce.

Des minéraux comme les carbonates élèvent le pH de l'eau avec laquelle ils sont en contact alors que le quartz pur (ou la silice) abaisse le pH de l'eau.

Par exemple, le granite qui est considéré comme une roche acide, et le calcaire qui est considéré comme basique donnent tous les deux un pH assez élevé à l'eau.

La surface minérale reste accessible à une réaction rapide avec l'eau même après qu'elle ait été recouverte d'une couche de produits adsorbés du bitume.

Plusieurs études dont celle de J.A.N. Scott et al. (Amsterdam, 1977) ont abouti à la conclusion que la présence d'un film de bitume adsorbée (ou autre liant) sur une surface minérale n'empêchera probablement pas les réactions normales que celle-ci peut avoir avec l'eau de se produire même si elle les retarde.

On est alors ramené aux interactions résultant du contact minéral-eau.

#### **d- Etude du désenrobage**

Ainsi que nous l'avons déjà souligné, l'eau peut s'infiltrer entre les composants soit en partant d'un contact triple bitume-minéral-eau soit en diffusant à travers le film de bitume pour atteindre la surface minéral sans qu'il y'ait un contact triple.

Une méthode couramment utilisée pour l'étude du désenrobage du bitume sur un granulat est la mesure de la conductivité électrique de surface. Lorsque l'eau s'infiltré dans l'interface bitume-granulat, la conductivité électrique commence à croître au bout d'un temps relativement court. Cette croissance s'accompagne de la rupture des liaisons entre le bitume et le granulat. La température d'adsorption et l'épaisseur du film de bitume n'ont pas d'influence importante sur le délai qui précède le début du désenrobage. Toutefois elles ont un effet sur la vitesse d'accroissement de la conductivité électrique de surface.

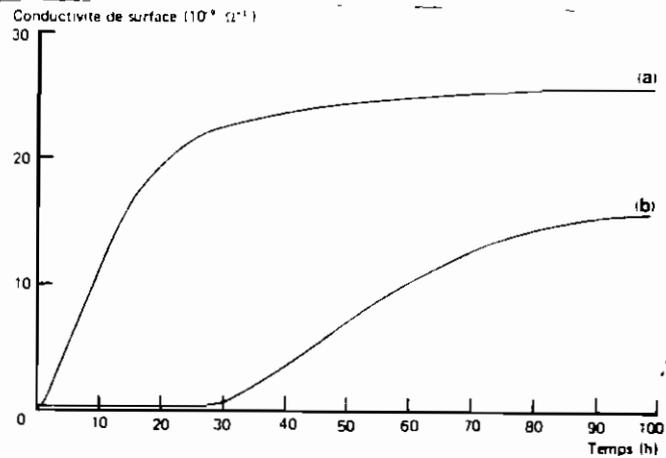
L'addition de dopes d'adhésivité au bitume se traduit généralement par un délai plus long avant la croissance de la conductivité initiale. Ce délai varie suivant le type de dope et sa concentration dans le bitume.

Alors que la présence d'un dope dans un bitume permettrait de maintenir l'adhésivité pendant une longue période, le même dope ajouté à un autre bitume accélérerait le désenrobage. Ceci découle de la nature des réactions qui se produisent à l'interface bitume-minéral.

Lorsque le granulat change, la vitesse d'accroissement de la conductivité est modifié, donc le comportement en désenrobage. La différence de comportement en désenrobage crée donc une sélectivité

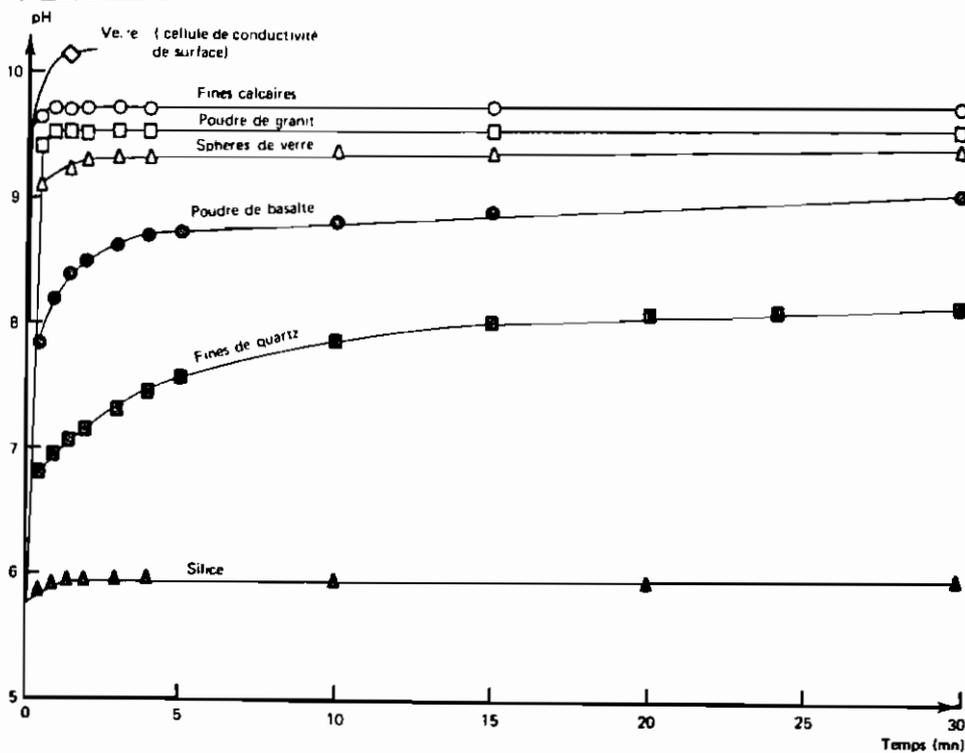
entre les différents types de granulats.

Les figures de la page suivante présentent la variation du pH en fonction du temps pour divers minéraux et la variation de la conductivité électrique de surface en fonction du temps.



( d'après Bitumes et  
Enrobés Bitumineux,  
LCPC Numéro  
spécial V,  
Décembre 1977 ).

**Fig. 2.3 Evolution avec le temps d'exposition à la vapeur d'eau de la conductivité de surface de bitume M.O.: a\_ non dopé ; b\_ dopé de diamine (0.3mm sur verre).**



( LCPC Numéro  
spécial V,  
Décembre 1977 ).

**Fig. 2.4 Evolution avec le temps des pH de suspensions de différents minéraux (5g) dans l'eau (100 cm3).**

### 2.3 Compatibilité entre le liant et les granulats

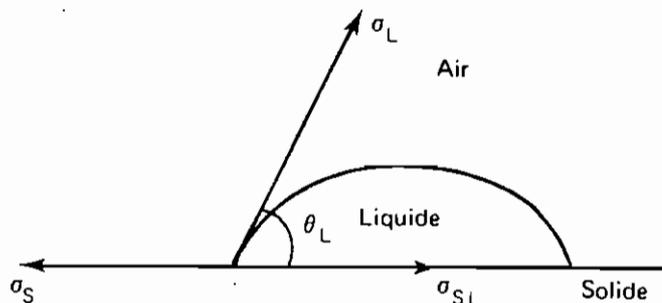
Après l'étude des différentes interactions au niveau des interfaces, nous allons examiner le problème de la compatibilité entre les constituants du béton bitumineux.

Il faut d'emblée dire que la conséquence la plus importante d'une mauvaise compatibilité entre les constituants du béton bitumineux est le désenrobage.

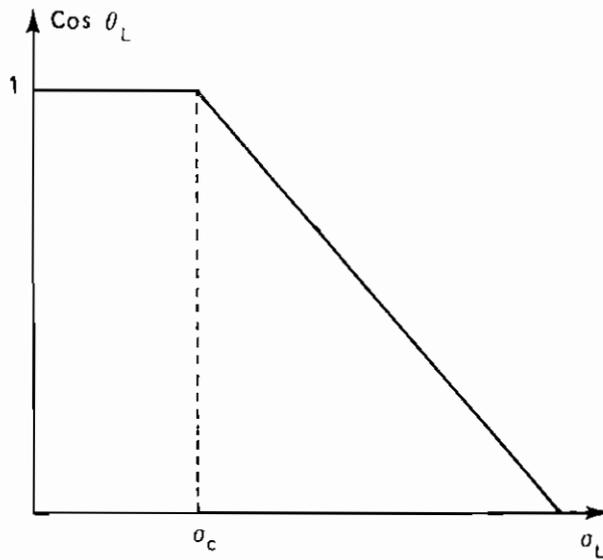
Les chaussées revêtues d'enrobés hydrocarbonés sont soumises à des contraintes de diverses natures, qui se répercutent sur le liant et bien sûr au niveau de l'interface liant-granulat. C'est pourquoi le choix du couple liant-granulat est déterminant pour la bonne tenue de la chaussée revêtue. La cohésion du liant, l'adhésion du liant au granulat et la résistance de la liaison face aux agressions des agents extérieurs, sont les principaux paramètres qui gouvernent ce choix.

Il s'agira donc d'examiner l'influence de la nature des matériaux sur la vitesse de désenrobage. Nous aborderons donc le mouillage et le démouillage.

On étudie le mouillage d'un matériau minéral par un liquide donné en observant l'angle de raccordement d'une goutte avec la surface minérale.



**Fig. 2.5** Equilibre des forces superficielles et interfaciales exercées sur une goutte posée sur un minéral.



**Fig. 2.6** Variation de l'angle de contact solide-liquide en fonction de la tension superficielle du liquide.

La condition d'équilibre s'écrit :

$$\sigma_s = \sigma_{sl} + \sigma_l \cos\theta_l$$

d'où

$$\sigma_s - \sigma_{sl} = \sigma_l \cos\theta_l ;$$

$$\tau_l = \sigma_l \cos\theta_l ;$$

La grandeur  $\tau_l$  est appelé tension d'adhésion.

Le travail d'adhésion, nécessaire pour détruire 1 cm<sup>2</sup> d'interface liant-granulat, est donné par la formule de Dupré (bitume et enrobés bitumineux, LCPC N Spécial V, 1977):

$$W_{sl} = \sigma_l + ( \sigma_s - \sigma_{sl} ) ;$$

On peut alors écrire que :

$$W_{sl} = \sigma_l + \sigma_l \cos\theta_l = \sigma_l ( 1 + \cos\theta_l ) ;$$

Donc le travail d'adhésion, fonction de  $\theta$  est plus élevé lorsque l'angle est petit.

L'étalement sera total si  $\theta_l = 0$ .

On a alors :

$$\sigma_s \geq \sigma_l + \sigma_{sl}$$

Lorsque l'étalement est total, le travail d'adhésion est supérieur au travail de cohésion du liant.

Tout matériau est caractérisé par sa tension critique de mouillage  $\sigma_c$  et tous les liquides ayant une tension inférieure à  $\sigma_c$  vont mouiller parfaitement le solide.

Connaissant donc un matériau de support, on peut prévoir :

- les valeurs des angles de contacts entre solide et liquide,
- les valeurs des tensions d'adhésion et les travaux d'adhésion.

On a noté que du point de vue technologique, l'adhésion mécanique des bitumes et des bitumes fluidifiés sur des granulats propres et secs sera limitée par la cohésion du liant.

### **2.3.1 Mouillage des matériaux routiers en présence d'eau**

L'adhésion mécanique vis à vis des matériaux secs et la cohésion ne sont pas les seuls problèmes routiers posés par l'utilisation des liants, il faut leur ajouter ceux de l'enrobage et du désenrobage en présence d'eau.

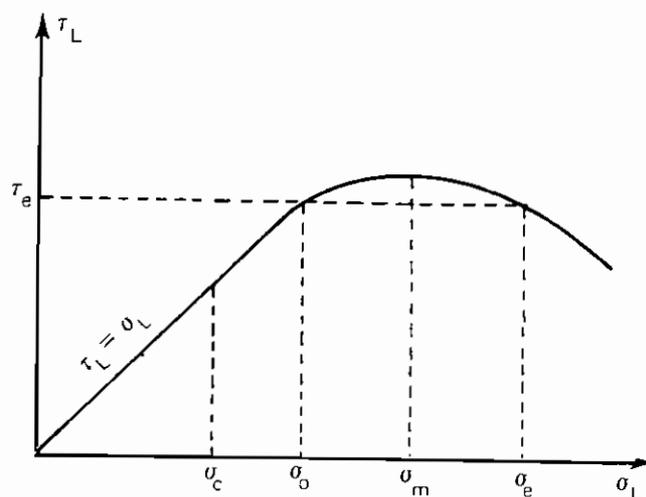
Le risque de désenrobage n'est réellement très préoccupant que si celui-ci se produit à une vitesse suffisamment grande.

Il a été démontré que la vitesse de désenrobage est

proportionnelle à la tension interfaciale et inversement proportionnelle à la viscosité du liant utilisé. Il est donc très important de connaître ces deux paramètres.

Il est à noter également que le désenrobage est fortement influencé par les variations de température qui abaissent la viscosité. De même il faut souligner que la rugosité et la nature du matériau ont un effet prépondérant sur l'adhésivité et leurs influences favorisent le liant lorsque l'on soumet à l'eau un granulat enrobé, et inversement l'eau si l'on veut enrober un matériau humide.

La figure suivante représente la parabole de mouillage c'est à dire la variation de la tension d'adhésion en fonction de la tension superficielle du liquide.



**Fig. 2.7 Variation de la tension d'adhésion en fonction de la tension superficielle du liquide.**

### CHAPITRE 3: FABRICATION ET CONTROLE DES ENROBES STOCKABLES

Une chose est d'aboutir à des formulations de composition de béton bitumineux en laboratoire, une autre également est de les respecter scrupuleusement lors de la fabrication. Les différentes opérations au cours de la réalisation des bétons bitumineux revêtent une complexité liée à la nécessité de respecter certains critères participant directement à leur qualité. Ainsi qu'on l'a constaté la qualité d'un béton bitumineux est liée au respect de sa composition, à l'obtention et au maintien de son homogénéité, à la non-dégradation du liant au cours de la fabrication (respect des limites de température spécifiées) et à son comportement mécanique au cours de la manutention et de la mise en oeuvre.

Les processus de fabrication (état, température, mode d'introduction des constituants, type de malaxage et durée de malaxage) sont en général bien maîtrisés. C'est ainsi qu'en laboratoire, on arrive à confectionner des éprouvettes de composition donnée et à les soumettre à des études notamment du point de vue des propriétés mécaniques.

Cependant, tant que la fabrication sur chantier du béton bitumineux n'est pas maîtrisée, on n'arrivera à aucun développement du matériau quels que soient les résultats des études en laboratoire. C'est précisément au niveau des centrales d'enrobage qu'il faut arriver à maîtriser la qualité des bétons bitumineux c'est-à-dire :

- s'approcher au plus près de la composition moyenne définie (teneur en liant et granulats),
- répartir les constituants de façon homogène afin d'obtenir l'enrobage des composants granulaires par le liant et la création de contacts assurant la durabilité.

### 3.1 Les procédés d'enrobage

L'enrobage s'effectue à chaud en centrale au moyen de deux procédés qui diffèrent par la continuité ou la discontinuité du malaxage.

- L'enrobage continu :

Il est caractérisé par la continuité du mélange. Les matériaux (liant et granulats), arrivent au malaxeur en flot continu dans les proportions fixées par la formulation et sortent en flot continu pour se déverser dans les camions de stockage.

- L'enrobage discontinu :

Il est caractérisé par un malaxage intermittent de gachées successives. Des tranches de granulats et de liant sont prélevées pesées séparément et mélangées avec les quantités de liant mesurées soit volumétriquement, soit par pesage.

Il existe également un autre type de centrale, d'apparition plus récente : c'est la centrale à tambour sécheur-enrobeur (TSE).

C'est une centrale de type continu, caractérisée par le rassemblement de deux fonctions séparées : séchage et malaxage en une seule unité dite "sécheur-enrobeur" constituée d'un tambour rotatif dans lequel s'effectue toutes les opérations.

Le fonctionnement des différents types de centrales peut être visualisé à l'aide de la figure 3.1.

- Eviter la destruction de la composition et de la répartition ainsi obtenue,
- conserver aux constituants les caractéristiques souhaitées,
- assurer une bonne mise en oeuvre et une compactabilité du

matériau.

Nous pouvons rattacher à chacun de ces critères une fonction de la centrale d'enrobage (tableau 3.1)

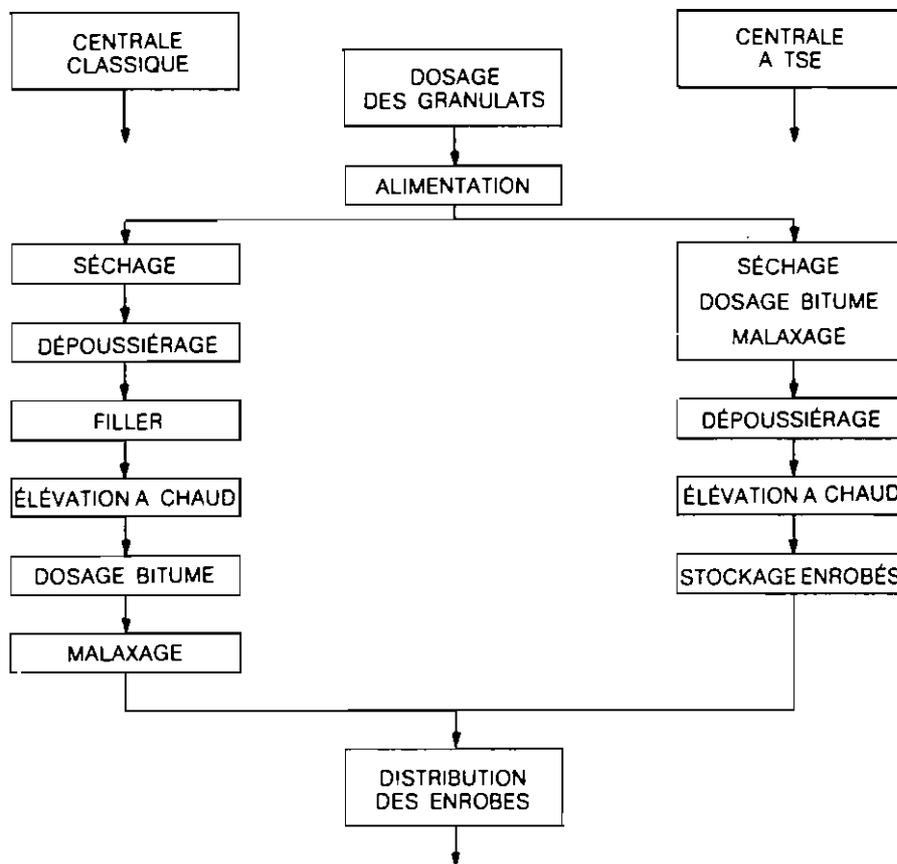
**Tableau 3.1: Critères et fonctions de la centrale d'enrobage**

Critère de qualité	Fonction de la Centrale
Composition moyenne	Dosage des constituants
Homogénéité	Malaxage
Conservation de l'homogénéité	Manutention-Stockage
Compactabilité	Séchage-Chauffage Malaxage
Non-dégradation des constituants	Stokage

Il existe différents types de centrales parmi lesquels on peut citer les centrales discontinues, continues, sécheurs-enrobeurs ou hybrides.

A propos du contrôle, il faut dire qu'une formule n'est jamais respectée de façon absolue. Dès lors, il s'agira plus de minimiser la dispersion des principaux facteurs qui déterminent la qualité du matériau. Ce qu'on arrive à réaliser quand bien même à partir d'un contrôle à différentes étapes du processus de fabrication du béton bitumineux.

La figure suivante illustre les différentes étapes du processus de fabrication du béton bitumineux selon le type de centrale.



**Fig. 3.1 Les différentes phases de fabrication d'un enrobé par la technique classique et dans une centrale TSE.**

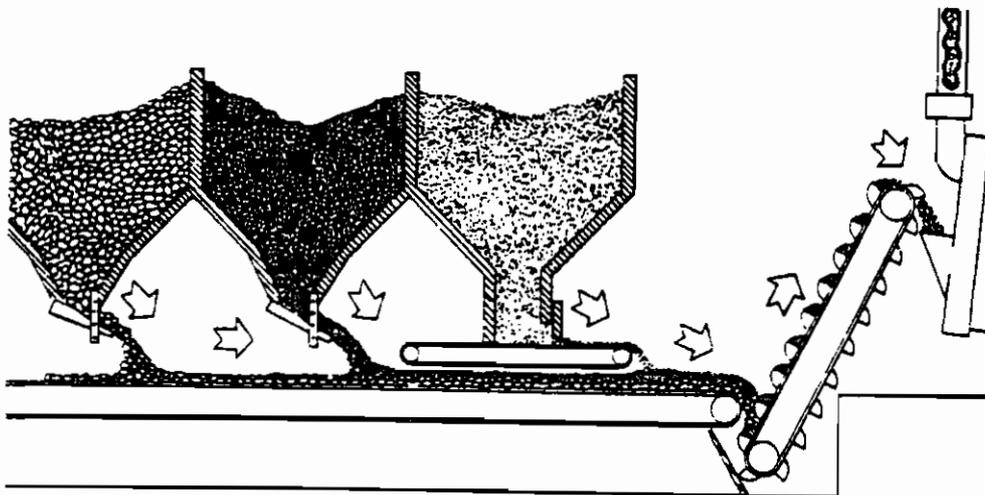
### **3.2 Influence des principaux paramètres des centrales sur la qualité des enrobés.**

#### **3.2.1 Composition moyenne du béton bitumineux-Dosage des constituants**

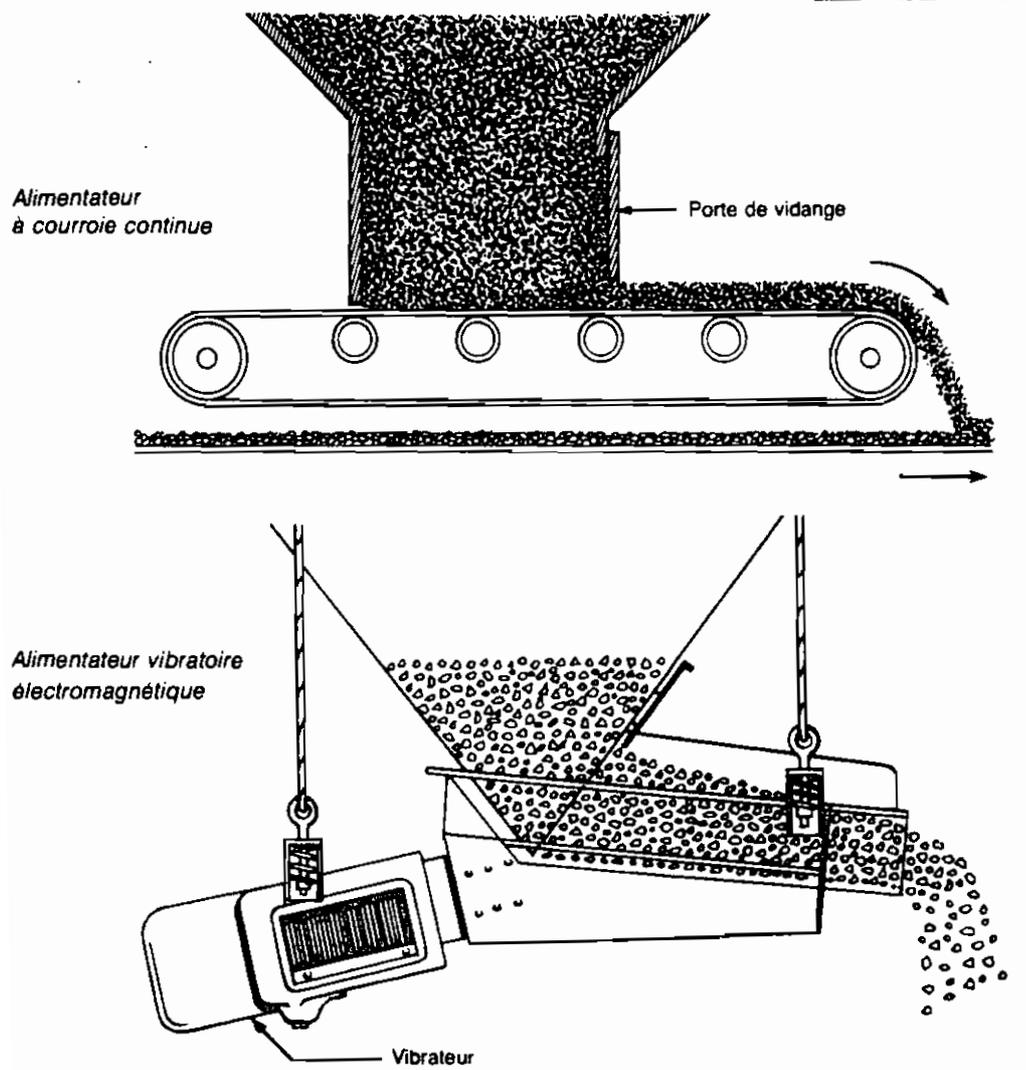
##### **a- Dosage des granulats**

La composition moyenne des granulats est assurée au niveau des prédoseurs. On distingue deux modes de fonctionnement :

- mode volumétrique où le débit est réglé par la vitesse de bande et la hauteur de la trappe de sortie de la trémie (fixée par réglage),
- mode pondéral où la vitesse  $V$  de bande est réglée en fonction des variations du poids  $P$  de matériau sur la bande transporteuse pour assurer le produit  $P \times V$  donc le débit humide constant.



**Alimentateur à froid à trois trémis et courroie d'alimentation**



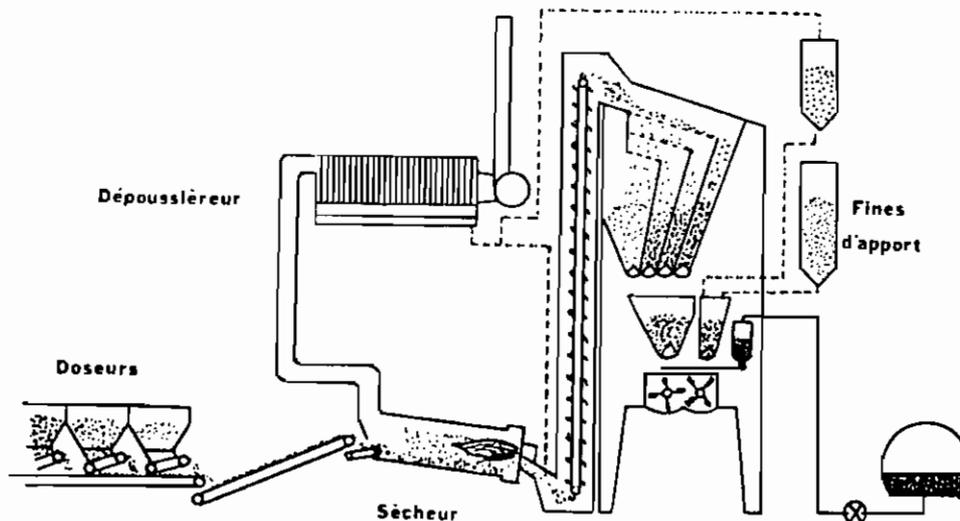
**Fig. 3.2 Dosage des granulats.**

## b- Dosage du liant

A ce niveau, il faut distinguer le dosage en centrales discontinues et en centrales continues :

### - Centrales discontinues

Dans ce cas, le dosage est effectué par pesée de la quantité nécessaire pour une gâchée et la maîtrise de la teneur en bitume moyenne pour chaque gâchée peut être obtenue si l'on dispose de bascules précises et bien étalonnées.



**Fig. 3.3 Dosage en liant dans le cas d'une centrale discontinue**

- Centrales continues

Elles sont plus modernes. Le dosage en liant est assuré à l'aide d'une pompe à vitesse variable dont le débit est contrôlé à l'aide d'un compteur de bitume.

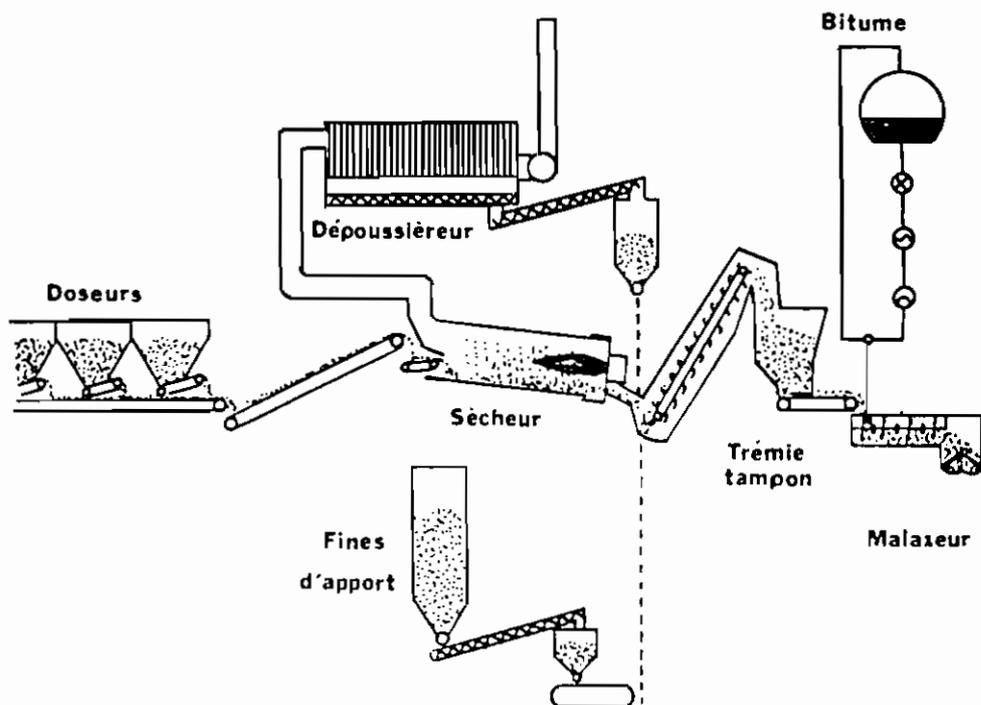
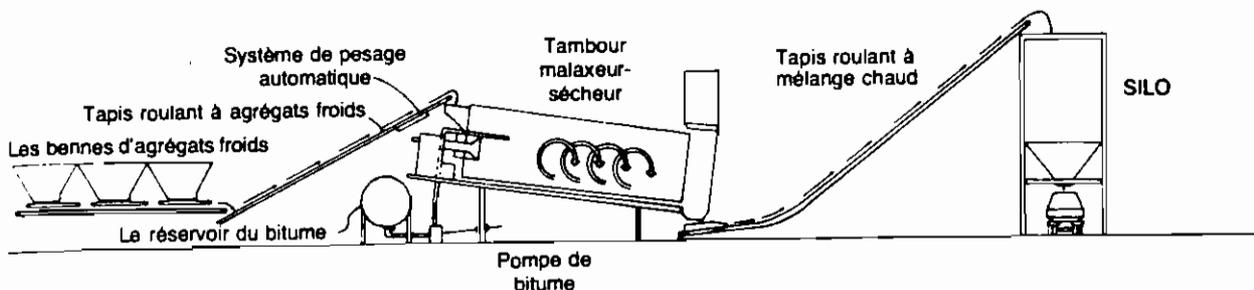


Fig. 3.4 Dosage en liant dans le cas d'une centrale continue



**Fig. 3.5 Centrale TSE avec ses systèmes de dosage en granulats et en liant.**

### **3.2.2 Homogénéité des bétons bitumineux - Malaxage**

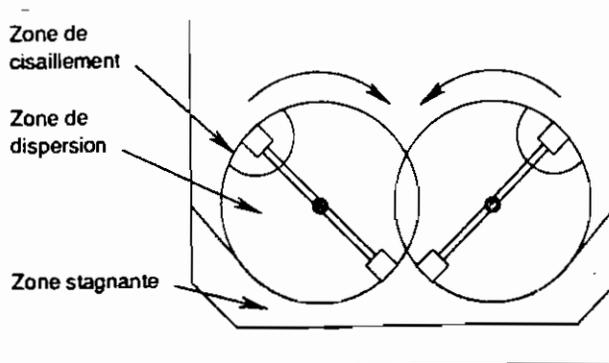
La réalisation du mélange est effectuée après la maîtrise des dosages moyens des constituants. C'est la fonction malaxage qui doit assurer aux matériaux enrobés fabriqués une bonne homogénéité. On dit d'un matériau qu'il est homogène lorsque l'étude d'échantillons prélevés au hasard dans la masse donne des résultats (courbe granulométrique, teneur en liant) conformes à la composition théorique et aux tolérances fixées.

Parmi les causes de défauts d'homogénéité, on peut citer :

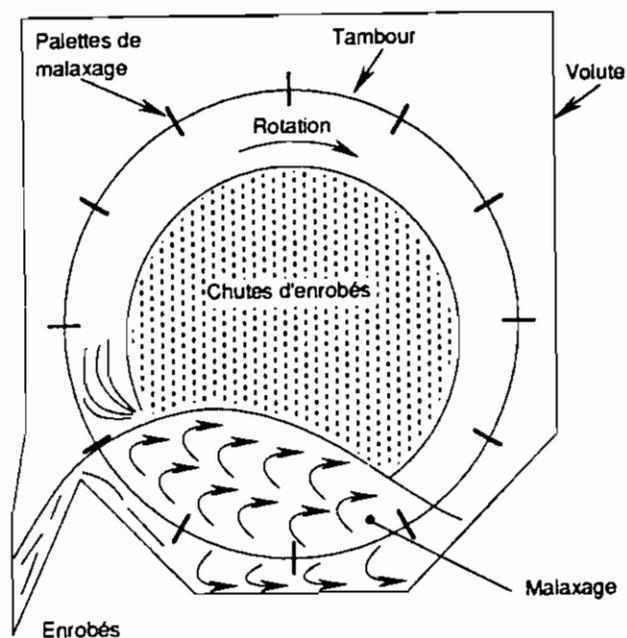
- la mauvaise répartition du liant dans le mélange,
- la ségrégation granulaire qui entraîne une variation de la teneur en liant.

Le mode de malaxage constitue par ailleurs un élément dont l'influence sur l'état de la structure interne du matériau (épaisseur du film de liant) est important. Il a ainsi un effet potentiel sur le comportement rhéologique de l'enrobé, à la mise en oeuvre (compactabilité, "ségréabilité"..) et mécanique à long terme (tenue à l'eau, fatigue, déformations permanentes...)

Les figures de la page suivante représentent deux systèmes de malaxage et leur fonctionnement.



### Malaxeur continu

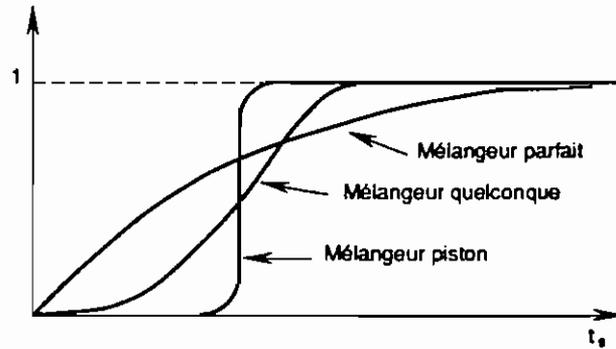


### Malaxeur TSE rotatif (cage d'écureuil)

Fig. 3.6 Malaxeur continu et malaxeur TSE rotatif dite cage d'écureuil

Actuellement, pour caractériser l'homogénéité d'un mélange on procède par des prises d'échantillons dans la masse du produit fabriqué. On effectue alors des contrôles de qualité sur la teneur en liant et la composition granulométrique.

Il est impossible jusqu'à nos jours de faire la caractérisation de l'homogénéité en continu.



**Fig. 3.7 Réponse de trois types de malangeurs idéaux à un échelon unité en entrée**

### **3.2.3 Compactabilité - Maniabilité - Durabilité des bétons bitumineux - Malaxage et stockage**

Le respect de la composition moyenne (dosage liant et granulats) et la bonne homogénéité (effet du malaxage) devraient assurer au béton bitumineux des caractéristiques (comportement à la mise en oeuvre, caractéristiques mécaniques à long terme) satisfaisantes.

Mais la seule notion d'homogénéité ne saurait permettre des prédictions sur certains effets du malaxage notamment en ce qui concerne la structure interne du béton bitumineux qui devrait s'apprécier à une échelle beaucoup plus réduite,

l'on peut citer ainsi :

- l'épaisseur de la couche de liant sur le granulat,
- le vieillissement du liant à l'enrobage et au stockage (dans les cas de longue durée).

### a- Maniabilité compactabilité d'un béton bitumineux

L'influence de ce paramètre (maniabilité) est encore mal connue, ainsi on a constaté que dans les centrales à TSE, on peut enrober à température plus basse (de l'ordre de 20 à 30°C) par rapport à une centrale classique continue ou discontinue et avec des propriétés équivalentes à celles de l'enrobé classique à température plus élevée.

La figure ci-dessous illustre la baisse de température obtenu avec une centrale TSE.

**Température d'enrobage  
assurant une maniabilité équivalente  
aux productions de grave-bitume 0/20  
d'un poste TSE et d'une centrale classique  
(résultats sur 9 lots)**

Température ambiante (°C)	Température poste classique (°C)	Température TSE (°C)	$\Delta t$
16	166	143	23
14	166	145	21
16	166	145	21
15	164	145	19
12	168	149	19
18	161	147	14
22	163	147	16
21	161	149	12
22	165	144	21
Moyenne :			
17,3	164	146	18

**Fig. 3.8 Réduction de la température d'enrobage  $\Delta t$   
avec une centrale TSE**

Pour ce qui est des liants que nous avons utilisé dans l'étude expérimentale, la température de malaxage se situait entre 93 et 149°C (mais toujours moins de 140°C pour le cut-back)

#### **b- Vieillissement du liant à l'enrobage**

Les températures trop élevées ont un effet négatif sur l'enrobage c'est pourquoi on définit des températures maximales d'enrobage, qui sont variables selon la classe du bitume.

Par exemple, on a constaté que les centrales à TSE laissent apparaître un vieillissement plus faible que les centrales classiques. Ceci s'explique aisément d'autant plus que la température d'enrobages est plus faible avec les centrales à TSE.

Les principaux facteurs favorables au vieillissement du liant sont:

- une température d'enrobage élevée,
- un débit de fabrication minimal,
- un excès d'air minimal.

#### **c- Stockage longue durée**

Jusqu'à présent, il n'a pas été déterminé avec précision, l'effet du stockage longue durée sur les bétons bitumineux. De même la définition des conditions d'utilisation restent à réaliser.

Mais tout de même, on a pu constater qu'après un stockage de longue durée du béton bitumineux, la pénétration baisse. Cependant, cette technique de stockage de longue durée se développe, notamment pour répondre aux besoins parfois imprévisibles.

### **3.2.4. Conservation de l'homogénéité des bétons bitumineux** **Manutention et stockage**

#### **a- Perte d'homogénéité des bétons bitumineux - Ségrégation**

La ségrégation se traduit par la séparation dans l'espace des gros éléments des plus fins. Elle découle de l'aptitude de certaines granulométries à se regrouper particulièrement sous l'effet d'un transport (chargement et déchargement des camions, vidange des trémies, cheminement sur bande convoyeur...)

Parmi les facteurs qui conditionnent la ségrégation, on peut citer:

- les différences morphologiques des matériaux (densité, géométrie,...).
- la différence de "mouillabilité" par le bitume, dues aux tensions superficielles interfaciale entre le solide et le liant.

Jusqu'à nos jours, il n'existe pas encore d'essai de ségrégabilité des bétons bitumineux.

#### **b- Paramètres influents sur la ségrégation**

Les paramètres qui peuvent influencer le plus sur la ségrégation sont:

La formulation des mélanges, l'équipement des centrales et leur conditions de fonctionnement et le chargement des camions. Sur la couche de roulement, la ségrégation se traduit par des dégradations.

- La formulation :

La faible teneur en liant, un écart important de la taille des éléments et une discontinuité granulométrique rendent le béton

bitumineux plus sensible à la ségrégation .

- L'équipement des centrales :

Les équipements qui peuvent le plus favoriser la ségrégation sont:

- les bandes transporteuses,
- la forme des trémies de réception,
- la position de l'arrivée des matériaux dans les trémies intermédiaires ou de stockage des bétons bitumineux.

Des solutions possibles pour ces problèmes on peut citer :

- la réduction des vitesses de convoyage,
- l'alimentation axiale des trémies (évite les angles morts),
- conditionnements de fonctionnement des centrales : on peut retenir parmi ceux-ci la température de production dont dépend la viscosité du liant et le débit ou la charge des malaxeurs ou des quantités déversées.

- Chargement des camions :

La formation d'un cône de pointe en haut au chargement ou au déchargement du béton bitumineux que fait le phénomène de ségrégation est inévitable. Cependant, on pourrait le diminuer par exemple en réduisant les hauteurs de chute au déchargement (resp. au chargement).

#### **c- Conservation de l'homogénéité**

Il est aussi important de veiller à la conservation de l'homogénéité qu'au dosage du liant ou à sa répartition.

Malheureusement, cet aspect est encore peu bien cerné et on continue à se fier aux impressions ou aux constatations visuelles, ce qui n'est pas suffisant.

## **CHAPITRE 4: ETUDE EXPERIMENTALE**

### **4.1 Essais sur les granulats et les liants**

Les matériaux que nous utilisons dans notre étude doivent être connus avec suffisamment de précision à l'effet de les comparer aux spécifications des normes (cas des liants) ou d'expliquer éventuellement des propriétés ou comportements de mélanges dont ils entrent dans la composition.

Nous avons ainsi choisi un certain nombre d'essais assez pertinents pour la caractérisation des différents matériaux et exécutables au niveau du laboratoire de Routes de l'école.

#### **4.1.1 Quelques essais sur les granulats**

##### **4.1.1.1 Description**

Pour la reconnaissance des granulats, nous avons choisi trois essais d'identification qui sont des plus courants en techniques routières. Il s'agit de :

- l'analyse granulométrique
- la densité relative brute et l'absorption des agrégats grossiers
- la détermination de la résistance à l'abrasion à l'aide de l'appareil Los Angeles

**a- Analyse granulométrique**

L'analyse granulométrique a été effectuée suivant la norme ASTM D-422. A partir des résultats obtenus, nous avons tracé des courbes granulométriques.

La principale caractéristique des agrégats utilisés est leur granulométrie serrée.

**b- Densité relative brute et absorption des agrégats grossiers**

La densité brute sert au calcul du volume occupé par le granulat dans les mélanges constitués de liant et de granulats comme les bétons bitumineux.

Nous avons utilisé dans la présente étude la norme ASTM C-127-73.

Trois propriétés des granulats sont à déterminer :

- **L'absorptivité** qui est la propriété par laquelle un liquide pénètre et remplit les pores perméables d'un corps solide poreux. Elle représente donc l'augmentation de masse du corps solide poreux par suite de la pénétration du liquide dans ses pores perméables.
- **La densité brute** qui est le rapport, à une température donnée entre la masse dans l'air d'une unité de volume d'un matériau perméable (vides perméables et imperméables inclus, dans des conditions normales) et la masse dans l'air de même densité d'un égal volume d'eau distillée et désaérée (débarrassée de tout gaz).
- **La densité apparente** qui est le rapport, à une température donnée entre la masse dans l'air d'une unité de volume d'un matériau et la masse dans l'air de même densité, d'un égal volume d'eau distillée et désaérée (débarrassée de tout gaz).

**c- Détermination de la résistance à l'abrasion à l'aide de l'appareil Los Angeles**

Il existe différents essais permettant d'évaluer la durabilité des granulats et plus particulièrement leur résistance à l'abrasion (essai Los Angeles, essai Micro-Deval, essai Dorry). Nous avons choisi l'essai Los Angeles qui convient bien pour les granulats utilisés (basalte).

L'essai est exécuté suivant les normes ASTM C-131 et ASTM C-535.

**4.1.1.2 Résultats des essais (Annexe A)**

Tous les résultats des essais sur les granulats sont consignés dans des tableaux à l'Annexe A.

Pour ce qui est de l'analyse granulométrique, ces résultats ont permis de tracer les courbes granulométriques des pages suivantes.

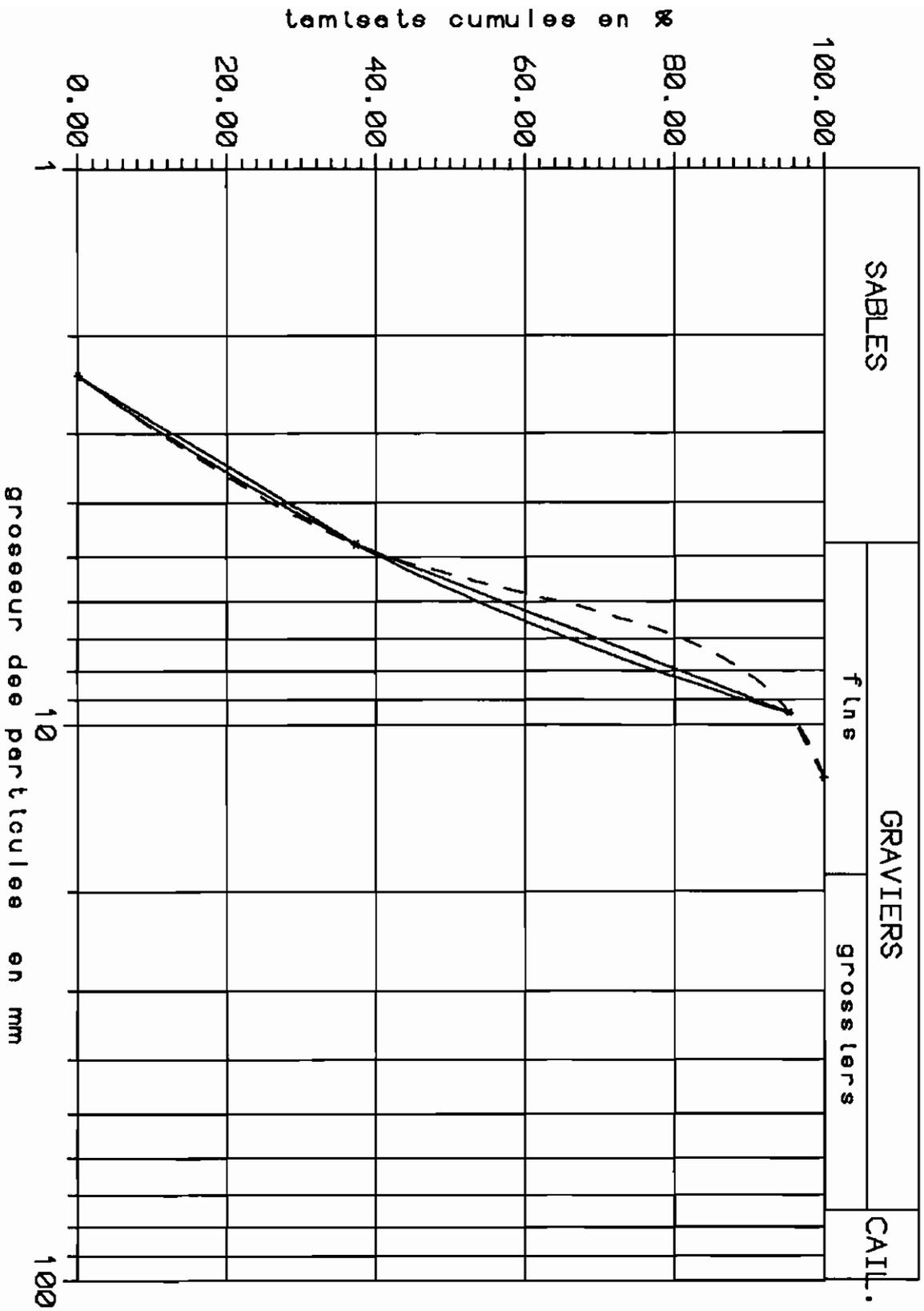


Fig. 4.1 COURBE GRANULOMETRIQUE — BASALTE 3/8

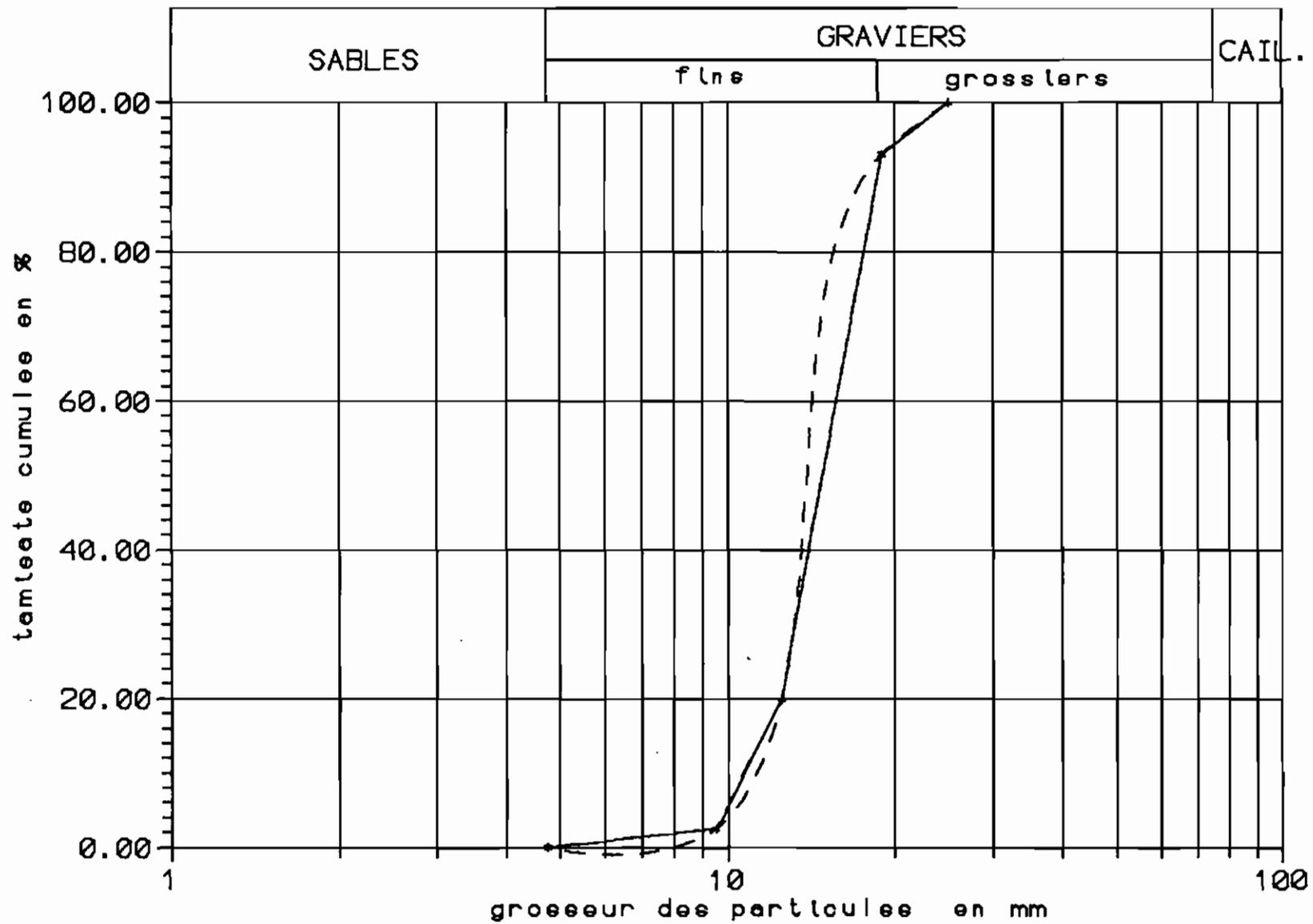


Fig. 4.2 COURBE GRANULOMETRIQUE \_ BASALTE 8/16

#### **4.1.1.3 Analyse des résultats**

##### **- Analyse granulométrique**

Les fractions granulométriques des granulats que nous avons utilisé (3-8 et 8-16) correspondent d'après le système de classification unifiée des sols (USCS) à des graviers fins (G).

A partir de la courbe granulométrique, nous déterminons le coefficient d'uniformité (Cu) pour chaque granulomètre (3-8 et 8-16).

Pour le 3-8, Cu est égal à 1.93, alors que pour le 8-16, Cu est égal à 0.96

Comme nous le constatons, dans tous les deux cas, le coefficient d'uniformité est inférieur à 2. Nous avons donc des matériaux de granulométries uniformes. Ceci est la caractéristique la plus importante des granulats utilisés dans la fabrication des enrobés stockables.

##### **- Densité relative brute et adsorption des granulats :**

L'indice de fidélité des résultats des essais que nous avons effectué devra bien être conforme aux spécifications du tableau suivant :

**Tableau 4.1: Indices de fidélité (Norme BNQ - 2560-067-83)**

Pour un même opérateur	Ecart-type (1S)*	Différence entre deux essais (d2S)*
Densité brute (base sèche)	0.011	0.031
Densité brute (SSS)	0.008	0.023
Densité apparente	0.007	0.020
Pourcentage d'adsorption	0.15	0.42

\* 1S représente l'écart-type maximale d'une série de résultats et D2S représente la différence entre deux résultats qui ne doit pas être dépassée dans plus de 5 % des cas.

Le tableau d'indice de fidélité obtenu avec les résultats des essais que nous avons effectué est le suivant :

**Tableau 4.2: Indice de fidélité des résultats des essais.**

Pour un même opérateur	Ecart-type (1S)	Différence entre deux essais (d2S)
Densité brute (SSS)	0.003	0.004
Densité apparente	0.009	0.018
Pourcentage d'adsorption	0.07	0.14

Comme nous pouvons le constater à la comparaison, l'indice de fidélité des résultats des essais est bien conforme aux spécifications des normes.

**- Détermination de la résistance à l'abrasion à l'aide de l'appareil Los Angeles**

D'après les normes (BNQ - 2560 - 400 - 83), pour un granulats de grosseur maximale de 20 mm et un pourcentage d'abrasion compris entre 10 et 45, dans le cas d'un opérateur travaillant à l'intérieur d'un même laboratoire, le coefficient de variation a été établi à 2.0 % (écart-type). Les résultats de deux essais convenablement exécutés par un même opérateur dans un même laboratoire sur un gros granulats donné, ne doivent pas s'écarter de plus de 5.7 % de leur moyenne.

Les résultats obtenus au laboratoire sont consignés dans le tableau suivant:

**Tableau 4.3 Résistance à l'abrasion \_ Appareil Los Angeles.**

ECHANTILLONS			
Masse initiale (g) (m1)	5000	5000	5000
Masse refusée sur tamis de 1.70 mm (g) (m2)	4420	4360	4390
100 x ((m1-m2/m1))	11.6	12.8	12.2
Valeur Moyenne (LA)	12.2		

A partir des résultats des essais effectués au laboratoire, nous pouvons établir le tableau suivant :

**Tableau 4.4: Fidélité des résultats de l'essai Los Angeles**

Granulométrie	Ecart-type	Différence entre deux essais
8 - 16	0.8	0.6

A la comparaison, ces résultats sont bien conformes aux spécifications de la norme.

#### **4.1.2 Quelques essais sur les liants**

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé 2 types de produits bitumineux : le bitume 60-70 et le cut-back 150-250.

Ces produits se distinguent surtout par la viscosité qui est beaucoup plus élevée pour le bitume que pour le cut-back.

Les caractéristiques de ces produits bitumineux peuvent être déterminées à l'aide de plusieurs essais. Parmi ceux-ci nous avons choisi quelques uns qui sont des plus courants et des plus caractéristiques également.

Parmi la foule d'essais utilisée, on distingue les essais de consistance et les essais de contrôle.

##### **4.1.2.1 Description**

###### **4.1.2.1.1 Essais de Consistance**

###### **a- Pénétrabilité: (Bitume 60-70)**

L'essai de pénétrabilité est une mesure empirique de la consistance mais elle tend à être suppléée de plus en plus par l'essai de viscosité.

L'essai est exécuté suivant la norme **ASTM-D5-73 (1978)** sur le bitume semi-dur.

###### **b- Point de ramolissement: (Bitume 60-70)**

L'essai est exécuté suivant la norme **ASTM-D2398-76** à l'aide de la méthode bille et anneau.

Les bitumes plus durs atteignent un degré de ramollissement arbitraire à certaines températures qu'indique justement l'essai. En effet, si on a une augmentation graduelle de la température, ces matériaux se modifient graduellement et de manière imperceptible, de matériaux fragiles et excessivement épais et en se versant lentement, à des matériaux plus mous et moins visqueux. Pour cette raison, le point de ramollissement doit être déterminé par une méthode fixe, arbitraire et bien définie, si les résultats doivent être comparables.

#### **4.1.2.1.2 Essais de contrôle**

##### **a- Densité relative du liant**

La densité relative est la proportion de la masse de n'importe quel volume du matériau à la masse d'un volume égal d'eau, les deux étant à une température spécifiée.

L'essai est exécuté selon la norme **ASTM-D70-76** et la température spécifiée est dans ce cas ci, **T = 25.0°C** .

Quoique la densité relative ne soit pas normalement spécifiée, il est préférable de la connaître pour le bitume utilisé afin de pouvoir faire des corrections de volume lorsqu'on mesure les volumes à des température élevées.

##### **b- Point Eclair - Point de Feu: (Bitume 60-70)**

Le point éclair du bitume indique la température à laquelle le matériau peut être chauffé en toute sécurité sans danger d'un éclair instantané en présence d'une flamme.

Cependant, cette température est ordinairement bien en dessous de celle à laquelle le matériau brûlera. Cette dernière température est appelée "point de feu" mais elle est rarement incluse dans les

spécifications sur les bitumes.

L'essai est exécuté selon la norme ASTM-D92-78 et D93-79

**c- Ductilité: (Bitume 60-70)**

L'essai consiste à mesurer la longueur d'allongement avant rupture d'une éprouvette normalisée de bitume.

L'essai se fait dans l'eau à 25°C, à la vitesse de 5cm/mn.

Nous avons utilisé la norme ASTM-D113-79

Dans plusieurs applications, la ductilité est une caractéristique importante. En général, la présence ou l'absence de ductilité est plus significatif que le degré actuel de ductilité.

**d- Viscosité cinématique: (Cut-back 150-250)**

La viscosité absolue ou dynamique des liquides newtoniens est la force par unité de surface (dyne/cm<sup>2</sup>) requise pour maintenir une différence de vitesse de 1cm/sec de deux couches parallèles espacées de 1 cm. L'unité est le poise.

La viscosité cinématique des liquides newtoniens et le rapport de la viscosité absolue ou dynamique sur la densité, les deux critères effectués à la même températures.

L'unité est le stocke (cm<sup>2</sup>/sec).

L'essai a été exécuté selon la norme ASTM D 2170.

**4.1.2.2 Résultats des essais: (Annexe B)**

Les résultats des essais sur les liants sont consignés dans les tableaux de l'Annexe B.

### 4.1.2.3 Analyse des résultats

#### A- Essais de consistance

##### - Pénétrabilité

La valeur moyenne de la pénétration qui est de 67.8 mm est bien compris entre 60 et 70. Le bitume est donc conforme à la norme.

De plus la faible valeur de l'écart-type ( $\sigma=0.58$ ) indique que nous avons une bonne précision dans les résultats de l'essai.

##### - Point de ramolissement

Selon les normes ASTM sur les produit pétroliers et les lubrifiants, les résultats en duplicata pour les points de ramolissement d'un même opérateur ne doivent pas être différents de plus de 1.1°C. La déviation standard est estimée à 0.73°C.

D'après les résultats des essais effectués, la valeur du point de ramolissement est 47.6 °C.

L'écart-type résultant est  $\sigma=1.01$

Cette valeur de l'écart-type est suffisamment faible pour qu'on puisse accepter la valeur trouvée du point de ramolissement.

Pour fins de comparaison aux normes, on peut utiliser le tableau suivant :

**Tableau 4.5: Point de ramolissement**

Résultat d'essais	Norme
47.6 °C	43°C à 56°C

On constate que le bitume 60-70 est conforme à la norme pour ce qui est du point de ramolissement.

## **B- Essais de contrôle**

### **- Densité relative**

Pour les matériaux bitumineux vérifiés à 25°C, la déviation standard est de 0.0082. Pour deux essais effectués par le même opérateur sur le même échantillon, la différence des résultats ne doit pas dépasser 0.002.

D'autre part, les normes recommandent, pour les cut-back, une densité à 15°C comprise entre 0.92 et 1.04 et pour les bitumes, une densité à 25°C comprise entre 1.0 et 1.1.

La valeur de la densité relative obtenue pour le bitume est 1.053 avec un écart-type de 0.02, à une température de 30 C et celle obtenue pour le cut-back est 1.021 avec un écart-type de 0.002 à une température de 32 C.

Ces résultats sont peu différents de ceux recommandés à 15° ou 25°C.

### **- Point d'Eclair - Point de Feu**

Les critères suivants seront utilisés pour juger de l'acceptation des résultats en assumant une probabilité de 95 % :

#### **- Répétabilité :**

- point éclair : 8°C
- point de feu : 8°C

#### **- Reproductibilité**

- point éclair : 17°C
- point de feu : 14°C

D'autre part, la norme exige un point éclair supérieur à 230°C, pour le bitume 60-70.

Les résultats des essais effectués sur le bitume 60-70, avec un écart-type de 1.73, donne une valeur du point éclair égale à 318 C. Ces résultats sont conformes à la norme et sont acceptables au vue des critères de précision énoncés ci-haut.

#### - **Ductilité**

La norme exige pour le bitume 60-70 que la ductilité soit supérieur à 80 cm.

Pour le bitume 60-70 que nous avons utilisé, la ductilité est supérieur à 150 cm. Ce qui est conforme à la norme.

#### - **Viscosité cinématique**

Les valeurs que nous avons obtenues pour la viscosité cinématique sur le cut-back 150-250 sont supérieures à 3000 et inférieures à 6000 cst. La valeur moyenne est égale à 3390 cst.

Les critères suivants devront être utilisés afin de juger acceptables les résultats (95% de probabilité).

#### - **Répétabilité**

Deux résultats obtenus par le même opérateur sur le même échantillon dans le même laboratoire en utilisant les mêmes appareils, seront considérés douteux s'ils diffèrent de plus que :

Bitume à 135° C	1.8%
Echantillon à 60°C	
Inférieur à 3000 cST	1.5%
Entre 3000 et 6000 cST	2.0%

Les valeurs mentionnées ci-haut ont été obtenues à l'aide de la formule  $2\sqrt{2}\sigma$ .

Donc en utilisant le critère de la déviation standard les résultats devront vérifier les conditions ci-après selon le cas :

	Deviation Standard (%)	
	<u>1 laboratoire</u>	<u>Plusieurs laboratoires</u>
Bitume à 135°C	0.64	3.1
Echantillon à 60°C		
inférieur à 3000 cST	0.53	1.06
entre 3000 cST et 6000 cST	0.71	3.11

La déviation entre les résultats est = 0.03%.

La valeur de la viscosité cinématique est conforme à la norme.

Les essais étant effectués dans un même laboratoire, la déviation sur les résultats est acceptable.

## **4.2 Etude du mélange liant-granulats:**

### **4.2.1 Description des essais:**

#### **a- Extraction quantitative du liant: (mélanges de E.J.L.)**

L'extraction quantitative du liant des mélanges bitumineux a pour objet de séparer le liant des agrégats afin de:

- vérifier la teneur en liant du mélange;
- vérifier la qualité des agrégats utilisés;

L'essai est exécuté selon la norme **ASTM-D2172-79**.

#### **b- Densité relative brute des mélanges bitumineux compactés**

La densité relative est la proportion de la masse d'un volume donné du matériau par rapport à celle d'un volume égal d'eau.

On peut déterminer la densité relative brute des bétons bitumineux compactés à partir d'échantillons coupés d'un pavage ou d'échantillons préparés en laboratoire comme ceux utilisés pour l'essai Marshall. La valeur de la densité relative brute obtenue (dm) sert à calculer le degré de compactage des pavages.

L'essai est exécuté selon la méthode normalisée **ASTM-D1188-71**.

**c- Essai Marshall - Stabilité et fluage:**

C'est un essai qui permet de déterminer deux propriétés physiques du béton bitumineux:

- la stabilité: résistance à la rupture en N;
- le fluage: déformation à la rupture en unités de 0.25mm.

La charge est appliquée sur la surface latérale de l'éprouvette à l'aide de l'appareil Marshall.

Du fait de la nature particulière des enrobés stockables, les conditions de température de l'essai Marshall n'ont pu être rigoureusement adoptées.

**d- Densité relative maximale théorique:**

La densité relative maximale théorique des bétons bitumineux non compactés ( $d_{max}$ ) sert à calculer le pourcentage des vides des mélanges ( $V_v\%$ ). Elle sert aussi à calculer le degré de compactage.

Pour connaître la densité relative maximale théorique d'un béton bitumineux, il faut déterminer:

- la masse de l'échantillon en g (par simple pesage);
- le volume de l'échantillon en  $cm^3$  sans les vides d'air.

L'essai est exécuté selon la méthode **ASTM-D2041-78**.

#### **4.2.2 Résultats des essais: (Voir courbes et Annexe C)**

Les résultats des essais sur les mélanges de béton bitumineux sont consignés dans les tableaux de l'annexe C.

Ces résultats ont permis de tracer les courbes suivantes.

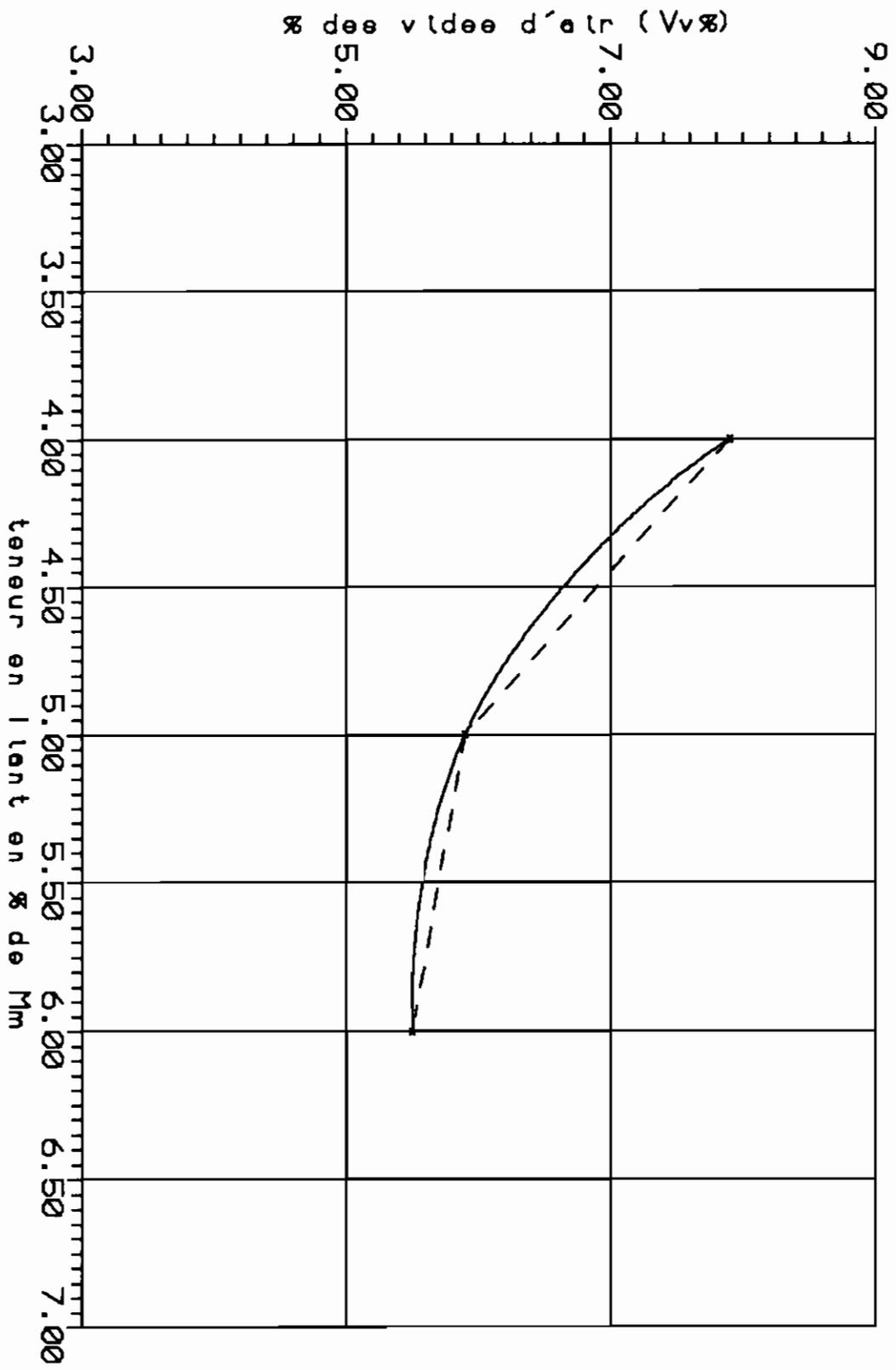


Fig. 4.3 COURBE CARACTERISTIQUE (1) — BASALTE 3/8

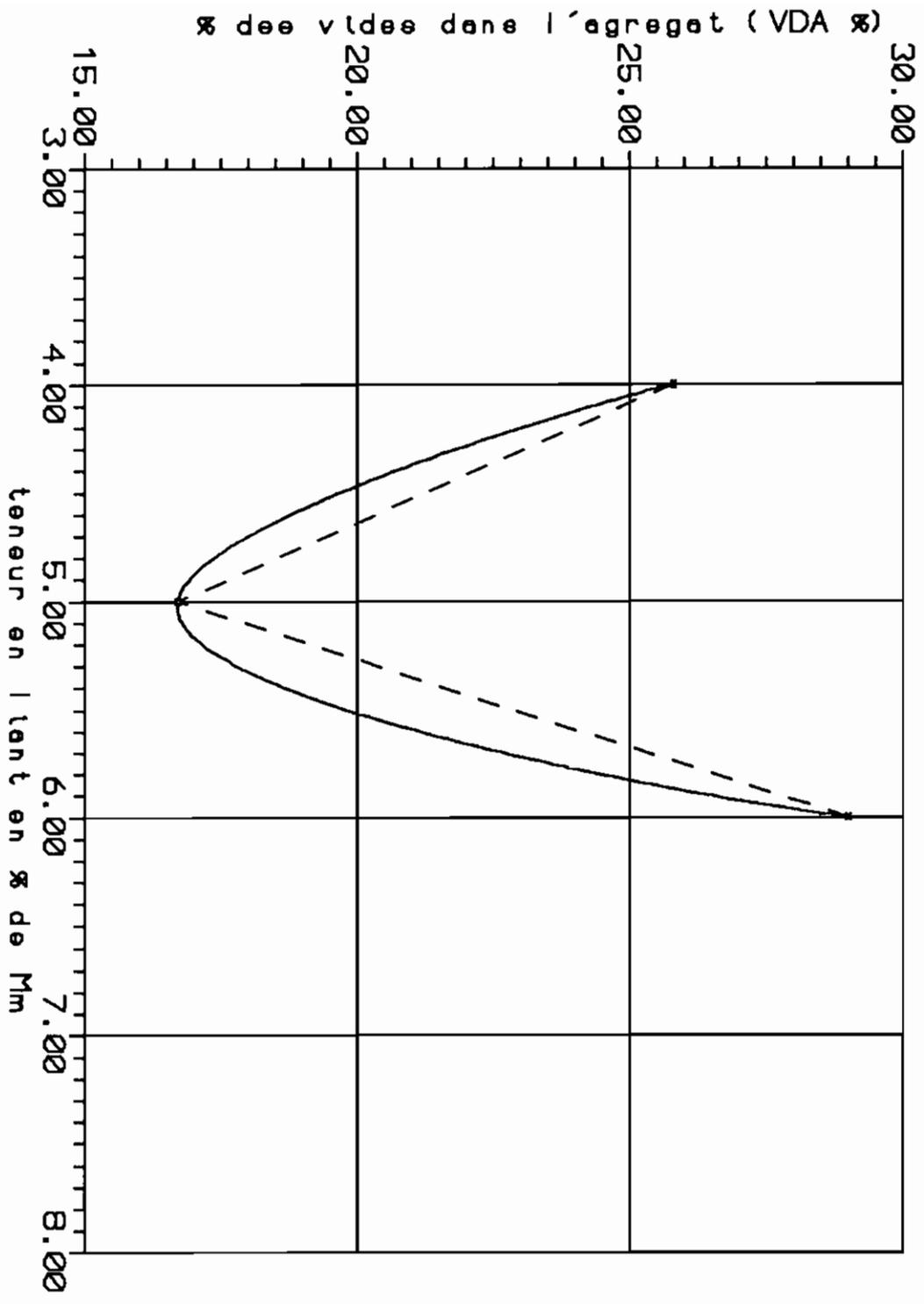


Fig. 4.4 COURBE CARACTERISTIQUE (2) — BASALTE 3/8

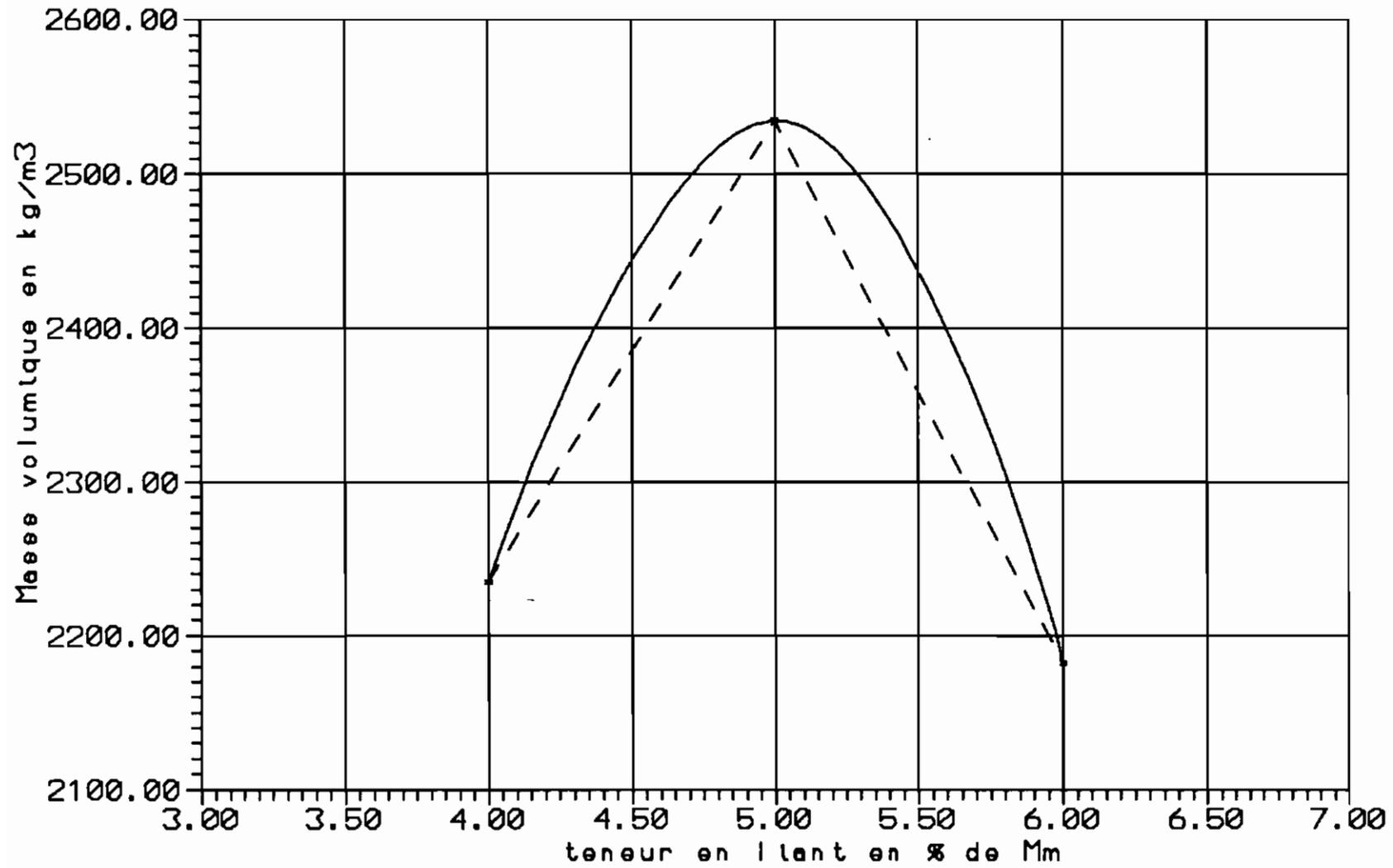


Fig. 4.6 COURBE CARACTERISTIQUE (3) \_ BASALTE 3/8

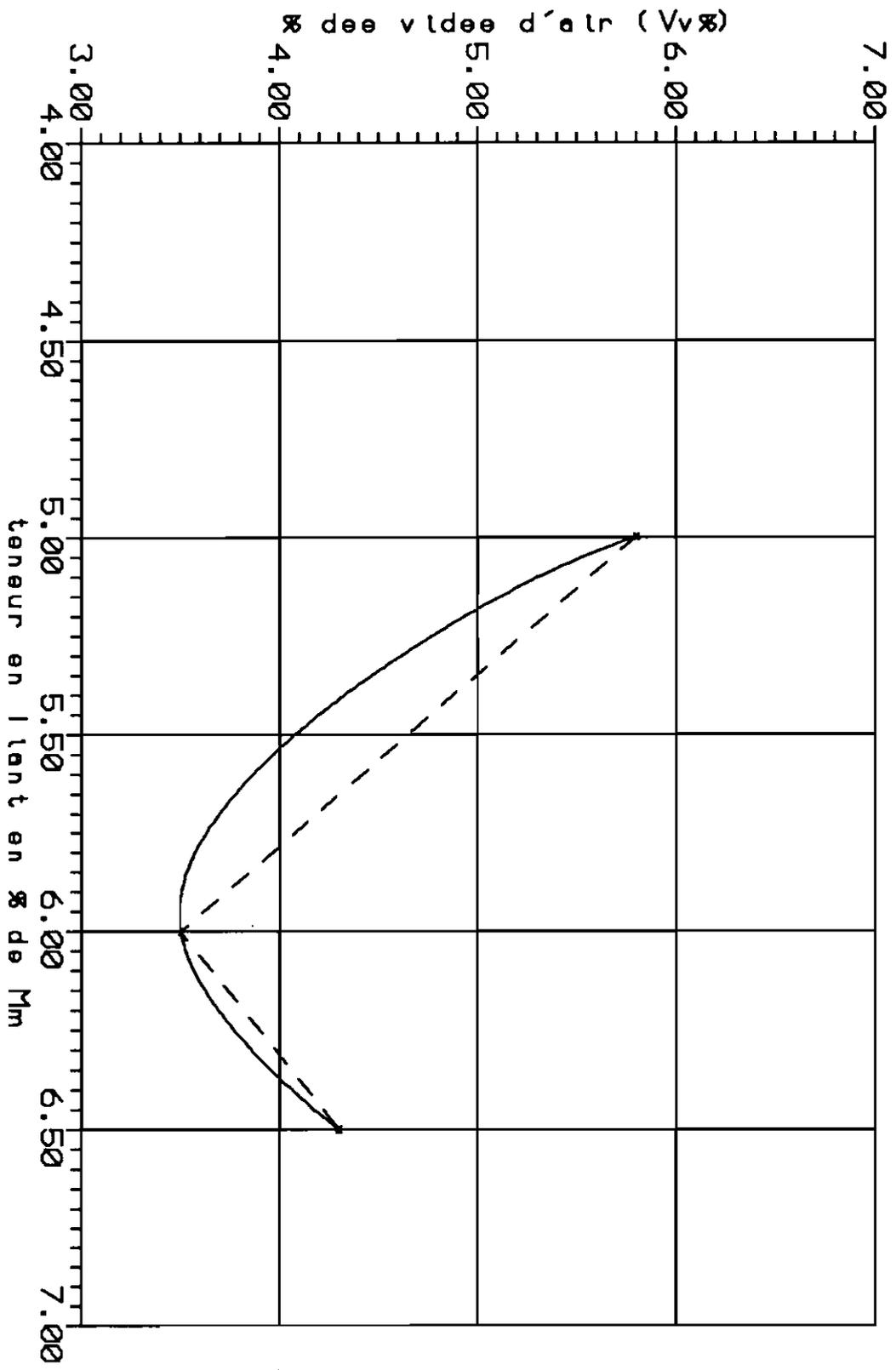


Fig. 4.6 COURBE CARACTERISTIQUE (1) - BASALTE 8/16

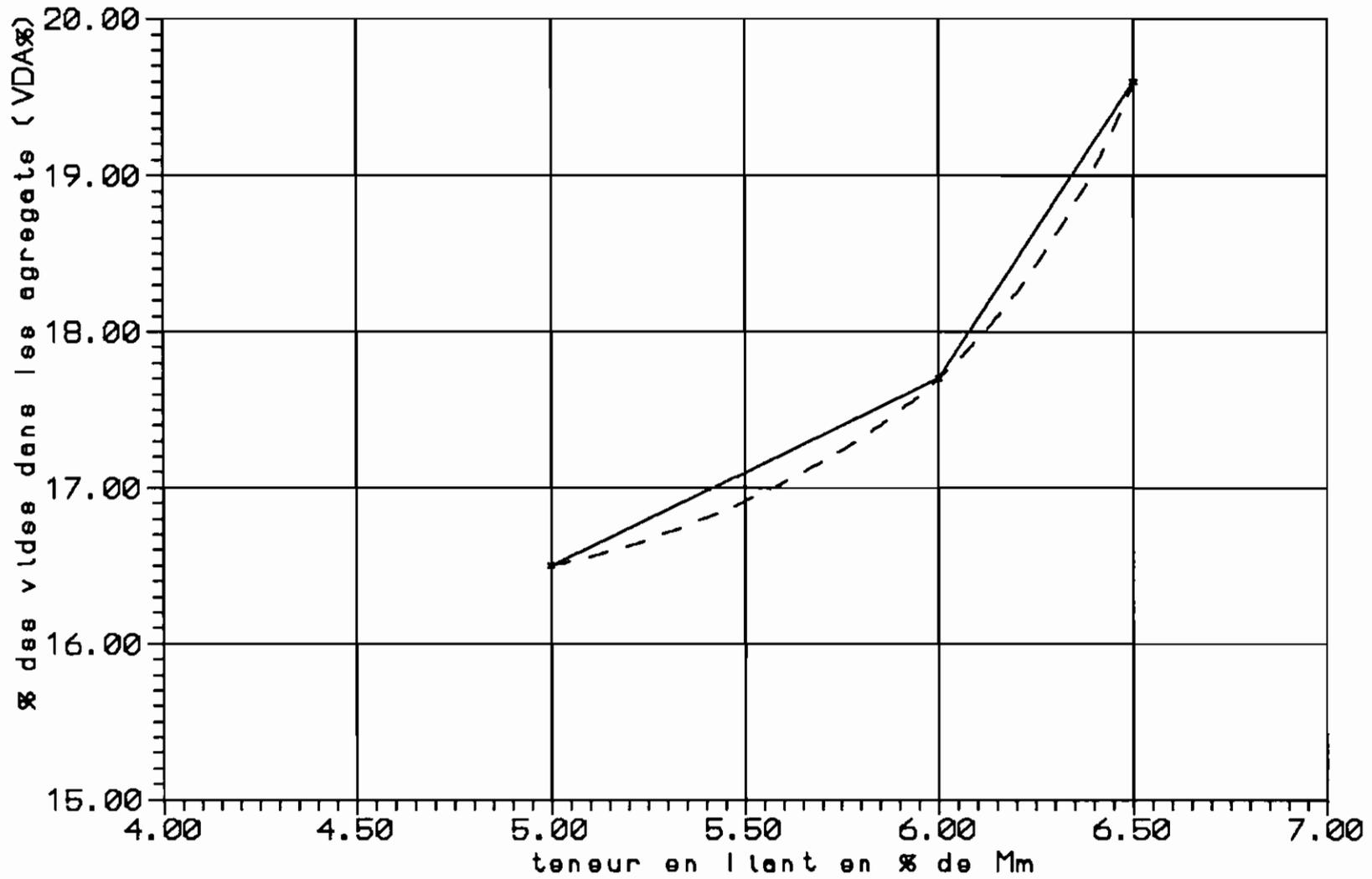


Fig. 4.7 COURBE CARACTERISTIQUE ( 2 ) \_ BASALTE 8/16

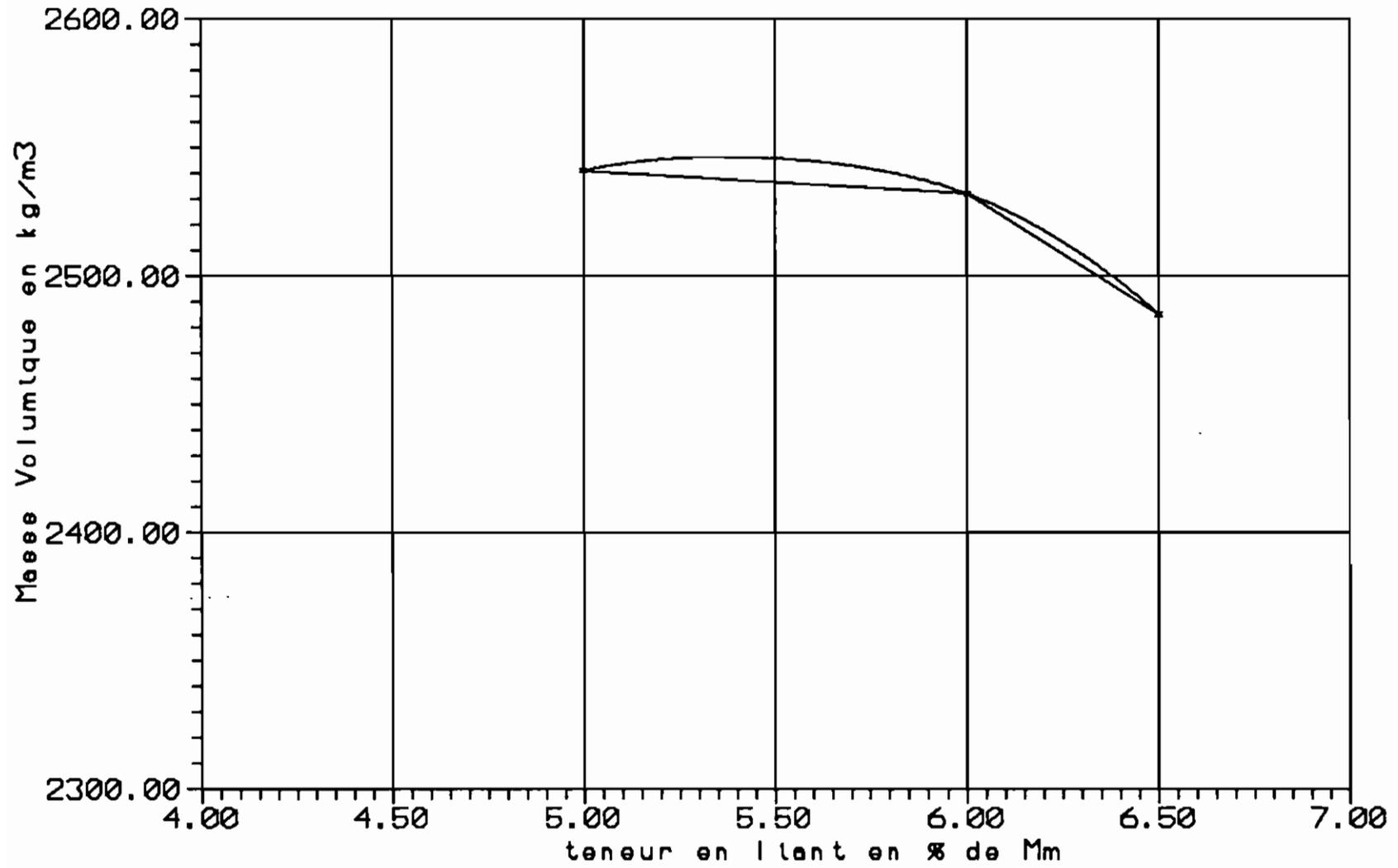


Fig. 4.8 COURBE CARACTERISTIQUE (3) \_ BASALTE 8/16

#### **4.2.3 Analyse des résultats:**

L'étude de formulation doit permettre d'obtenir à partir des matériaux à disposition ( différents types de granulats et de liants ), le meilleur mélange, eu égard aux conditions de mise en oeuvre, aux sollicitations du trafic et aux conditions climatiques.

Entre toutes les formulations possibles, il faut choisir celle qui est la moins sensible aux écarts de fabrication inévitables. On ne dispose pas à l'heure actuelle d'essais universellement admis et permettant de faire cette étude de formulation et les contrôles nécessaires. Le seul essai dont on dispose et qui soit normalisée est l'essai Marshall. C'est un essai de contrôle de la stabilité.

Cependant, il faut noter que les exigences de flexibilité et de stabilité sont contradictoires et l'essai Marshall ne peut dès lors, à lui seul, décrire un béton bitumineux. D'autre part, les conditions de l'essai ( fabrication de l'éprouvette, frettage de celle-ci lors de l'essai, mode de rupture ) ne sont absolument pas représentatives et surtout cet essai ne donne aucun renseignement quant aux grandeurs mécaniques définissant le matériau.

Il faut dire que dans l'exécution de l'essai Marshall, nous nous sommes heurtés à de sérieuses difficultés liées au fait que les enrobés stockables ne s'y prêtent pas facilement.

Pour surmonter la difficulté d'obtenir des éprouvettes stables par exemple, nous avons réduit les dimensions normalisées de celles-ci, ce qui du reste est permis par la norme.

Nous avons confectionné trois éprouvettes pour chaque teneur en liant considérée. La confection des éprouvettes se fait dans des conditions identiques à celles pour les enrobés denses.

Le compactage est effectué à la température ambiante après avoir laissé reposer le mélange un jour après la fabrication (pour être sûr que le mélange s'est bien refroidi). Ce qui nous ramène aux conditions réelles de mise en oeuvre des enrobés stockables.

Nous avons constaté qu'il est impossible d'obtenir des éprouvettes stables avec un mélange dont le liant est le bitume pur (60-70). Ces mélanges s'avèrent du coup moins intéressants comparativement aux mélanges à base de cut-back 150-250.

C'est pourquoi nous avons d'emblée limité leur étude pour ne continuer que celle des mélanges à base de cut-back 150-250.

Dans l'exécution de l'essai, la température s'est avéré être une difficulté insurmontable.

Conformément à la norme, il faut immerger les éprouvettes dans un bain d'eau à une température de 60.0°C pendant 30 à 40 minutes.

A cette température, les éprouvettes de bétons bitumineux se désagrègent au bout de 3 à 5 minutes. Ce qui du reste est bien compréhensible car à cette température, la viscosité du bitume diminue fortement.

C'est pourquoi nous avons juste testé une éprouvette dans l'optique d'avoir une indication sur l'ordre de grandeur des résultats.

Etant donné toutes ces considérations, nous ne pouvons tirer aucun renseignement significatif sur les éprouvettes que nous avons fabriqué, du point de vue des grandeurs mécaniques. C'est pourquoi nous nous sommes orientés, pour la détermination de la teneur optimale en liant, vers les quantités de vides, qui sont avec la stabilité et le fluage, les éléments d'évaluation pour la méthode Marshall. Ces vides sont reliés à la granulométrie.

Si le mélange ne comporte aucun vide après sa mise en place ou s'il perd son volume de vides durant la période de service, lorsque le liant se dilate, il occupe un plus grand volume et ce dernier n'est pas disponible. C'est tout comme si on avait un excès de liant. Le mélange doit donc comporter une certaine

quantité de vides pour permettre une compaction additionnelle sous charges de service. Cependant, trop de vides affectent la durabilité.

Pour arriver à une quantité optimale de vides, nous avons fait la représentation graphique de quelques paramètres d'évaluation du mélange en fonction de la teneur en liant de celui-ci. Ces paramètres sont la masse volumique, le pourcentage des vides d'air ( $V_v\%$ ) et le pourcentage de vides des agrégats ( $VDA\%$ ). Tous ces paramètres sont calculés à partir des résultats des essais sur le mélange bitumineux.

Les méthodes de dosage des bétons bitumineux reposent essentiellement sur la façon de sélectionner la teneur en liant et cela se justifie par le fait que celle-ci est d'une grande influence relativement à toutes les caractéristiques désirées d'un pavage.

Les teneurs en liant peuvent varier entre 3 et 9% et les valeurs habituelles pour les enrobés de surface oscillent autour de 6%.

A partir des trois courbes obtenues pour chaque classe granulométrique (3/8 et 8/16), nous déterminons la teneur en liant optimale.

L'allure générale de ces courbes est parfaitement conforme à la variation réelle de la teneur en liant en fonction de ces différentes propriétés étudiées.

Nous utilisons dans un premier temps la courbe de la masse volumique et celle du pourcentage des vides du mélange, en fonction de la teneur en liant du mélange.

La courbe de la masse volumique en fonction de la teneur en liant nous permet de déterminer la teneur en liant correspondant à la masse volumique maximale (pour le basalte 3/8 et le basalte 8/16).

Pour une couche de roulement,  $V_v\%$  doit se situer entre 3 et 5%. Pour être près de la médiane, à 4%, la teneur en liant doit être égale à 5% pour le mélange à base de basalte 3/8 et 5.5% pour le mélange à base de basalte 8/16. La moyenne des deux valeurs de la teneur en liant, obtenues à partir de la masse volumique maximale et du pourcentage des vides du mélange, donne une teneur en liant optimale de 5.05% pour le mélange à base de basalte 3/8 et de 5.45% pour le mélange à base de basalte 8/16.

Pour toute grosseur nominale maximale des particules, il correspond une valeur minimale de  $VDA\%$ . Ainsi, pour une grosseur nominale maximale de 19 mm (ouverture de tamis la plus proche de 16 mm dans l'ASTM), il faut que  $VDA\%$  soit au minimum de 14% alors que

pour une grosseur nominale de 9.5 mm (ouverture de tamis la plus proche de 8 mm dans l'ASTM), il faut que VDA% soit supérieur ou égal à 16%.

Pour le mélange à base de basalte 3/8, à la teneur en liant optimale calculée, il correspond un VDA% de 16.6% alors que pour le mélange à base de basalte 8/16, il correspond un VDA% de 16.8% toujours à la teneur en liant optimale. Ces valeurs sont conformes aux critères.

A partir des valeurs de la densité relative maximale théorique ( $d_{max}$ ) et de la densité relative du mélange bitumineux compacté ( $d_m$ ), nous avons évalué le degré de compactage (qui est le rapport  $d_m/d_{max}$ ) de chaque mélange préparé.

La limite de compactage généralement admise est :  
 $(d_m/d_{max}) = 92\%$ .

Des résultats des calculs effectués qui figurent dans les tableaux de compilation, nous déduisons que les mélanges ont été bien compactés.

A partir de cette analyse et des principaux enseignements de l'étude que nous venons de faire, il est fondamental de tirer une conclusion générale et de formuler des recommandations.

L'essai d'extraction a donné, pour les enrobés confectionnés par l'entreprise Jean Lefebvre une teneur en liant de 5.06% pour le granulat 3/8 et une teneur de 4.21% pour le granulat 8/16.

En comparaison des teneurs optimales de liant que nous avons obtenu, on peut dire que pour le granulat 3/8, les valeurs sont presque identiques alors que pour le granulat 8/16, la teneur en liant du mélange de E.J.L. est assez faible.

Nous constatons tout de même un fait curieux concernant les teneurs optimales de liant obtenues avec les deux variétés de béton bitumineux.

En effet, la teneur optimale en liant pour le béton bitumineux à base de granulats 3/8 est inférieure à celle obtenue pour le béton bitumineux à base de granulats 8/16.

L'explication qu'on pourrait donner à ce phénomène paradoxal est que le solvant contenu dans le liant (qui est le cut-back 150-250) n'ayant pas fini de s'évaporer, la teneur en liant utile n'est pas encore atteinte. Il faudrait pour cela d'avantage de temps et c'est seulement après une période de cure suffisamment longue que les résultats des essais pourront donner des valeurs suffisamment fiables des teneurs en liant optimales.

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Nous venons de faire une étude dont l'objet est de permettre une rationalisation des procédures de fabrication des enrobés stockables qui sont des produits d'un usage très courant dans l'entretien routier au Sénégal mais pour lesquels il n'existe pas de procédures codifiées de fabrication adaptées aux conditions locales (surtout climatiques). Nous avons également abordé l'interaction entre les constituants du mélange bitumineux (aspects physico-chimiques), de même que la compatibilité entre ceux-ci.

Au terme de cette étude, nous pouvons dire qu'elle nous a permis de déterminer l'influence de chacun des éléments du béton bitumineux sur sa qualité et de mettre en évidence les difficultés qui découlent de l'utilisation de l'essai Marshall avec les enrobés stockables.

En effet, nous avons constaté que les mélanges bitumineux à base de basalte 3/8 posent moins de difficultés dans la confection des éprouvettes. Cette étude nous a permis également de nous rendre compte qu'il était plus judicieux de préparer les enrobés stockables avec un liant d'une viscosité telle qu'il soit possible de les manier sans difficulté après un stockage assez long. Les cut-backs sont alors préférables aux bitumes purs.

Enfin, pour la détermination de la résistance mécanique, il

serait plus judicieux d'utiliser l'essai de compression triaxial ou l'essai de compression simple.

Dans le cas de l'essai de compression Triaxial, on détermine la stabilité et le volume des vides.

Le compactage se fait à 150°F (65.56°C) sous une charge statique de 2500 lb/po<sup>2</sup> et la température d'exécution de l'essai est 75°F (23.85°C).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **R. CROTTAZ, M. L. FIGOIS**, Construction de la superstructure routière, Tome II: "Liants hydrocarbonés et technologie de construction", LAVOC, Lausanne Juillet 1978, Février 1983.
- [2] **P. HERSCHKORN**, Cours de Routes. Couche de roulement, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1985.
- [3] **J. G. MALLOUK, ing.**, Les enrobés bitumineux, Tome 1: Théorie, Modulo Editeur, 1982.
- [4] **J. G. MALLOUK, ing.**, les enrobés bitumineux, Tome 2: Laboratoires, Modulo Editeur, 1982.
- [5] **Paul AUTRET**, Les enduits superficiels et les routes économiques, Ministère Français de l'Equipement, du Logement, des Transports et de la Mer, LCPC, Octobre 1982.
- [6] **LCPC**, Bitumes et Enrobés Bitumineux, Ministère Français de l'Equipement et de l'Aménagement du Territoire. Numéro spécial V, Décembre 1977.
- [7] **G. JEUFFROY**, Conception et Construction des Chaussées, Tome II, 2<sup>e</sup> édition Eyrolles, 1970.
- [8] **P. C. AITCIN et al**, Technologie des granulats, les éditions Le Griffon d'argile inc., 1983.

**ANNEXES**

**ANNEXE A**

**RESULTATS DES ESSAIS SUR LES GRANULATS**

## Résultats de l'analyse granulométrique des agrégats

### Basalte 8/16

Tamis po ou N°	mm	Refus en g	Refus cumulé g	Refus cumulé %	Tamisats cumulés %
1"	25	0	0	0	100
3/4"	19	346	346	6.92	93.08
1/2"	12.5	3312	3658	80.08	19.92
3/8"	9.5	1215	4873	97.46	2.54
N°4	4.75	127	5000	100	0

## Résultats de l'analyse granulométrique des agrégats

### Basalte 3/8

Tamis po ou N°	mm	Refus en g	Refus cumulé g	Refus cumulé %	Tamisats cumulés %
1/2"	12.5	0	0	0	100
3/8"	9.5	235	235	4.7	95.3
N°4	4.75	2899	3134	62.68	37.32
N°8	2.36	127	5000	100	0

**ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE**  
**DENSITE RELATIVE BRUTE ET ABSORPTION**  
**DES AGREGATS GROSSIERS**

Portion retenue sur le tamis de 4,75mm (n°4)

( norme ASTM C 127 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Mars 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	
MATERIAU (description, provenance, etc..) : <u>Basalte</u>	
<u>Provenant de la carrière de Diack (Thiès)</u>	

ESSAI N°	1	2	3
1 (B) MASSE DANS L'AIR DE L'AGREGAT SATURE MAIS SEC EN SURFACE ( état SSS ) à 0,1 g près	2509.0	2507.5	2505.0
2 (C) MASSE DANS L'EAU DE L'AGREGAT SATURE à 0,1 g près	1654.9	1651.2	1650.3
3 (A) MASSE DANS L'AIR DE L'AGREGAT SEC ( séché au four ) à 0,1 g près	2472.0	2474.0	2470.0
4 DENSITE RELATIVE BRUTE ( ASTM BULK ) $= \frac{A}{B - C} : d_s$ DENSITE RELATIVE BRUTE MOYENNE : $d_s$	2.894	2.889	2.890
	----- 2.891 -----		
5 DENSITE RELATIVE APPARENTE ( ASTM APPARENTE ) $= \frac{A}{A - C} : d_{app}$ DENSITE RELATIVE APPARENTE MOYENNE : $d_{app}$	3.025	3.007	3.013
	----- 3.015 -----		
6 ABSORPTION $= \frac{B - A}{A} : \% wa$ ABSORPTION MOYENNE : $\% wa$	1.497	1.354	1.417
	----- 1.423 -----		

Densité relative brute de l'agrégat obtenue en g/cm<sup>3</sup> ( équivalent à des t/m<sup>3</sup> ) ;  $d_s \times 1000 \rightarrow \text{kg/m}^3$

**NB:** Pour la densité relative brute et l'absorption des agrégats fins (portion passant le tamis n°4) il faut procéder selon la méthode ASTM C-126. Si l'agrégat utilisé est composé de particules plus grosses et plus petites que 4,75 mm, la densité brute et l'absorption du mélange sont alors les moyennes pondérées des valeurs obtenues pour chacune des portions analysées.

REMARQUES :

**ANNEXE B**

**RESULTATS DES ESSAIS SUR LES LIANTS**

**LA DENSITE RELATIVE DU BITUME SEMI-DUR**

( norme ASTM D 70 )

EQUIPE N° : \_\_\_\_\_ DATE : Avril 1992

NOMS : Abdoulaye KEITA

<p>Température de l'essai: il faut mentionner si l'essai a été effectué à une température de 25°C ou 15,6°C</p> <p>Echantillon n°</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Masse du pycnomètre propre et sec avec le bouchon (à 0,001 g près).</li> <li>Masse du pycnomètre complètement rempli d'eau distillée avec le bouchon, après au moins 30 min dans le bain à la température de l'essai (à 0,001 g près).</li> <li>Masse du pycnomètre rempli aux <math>\frac{3}{4}</math> de bitume qu'on a chauffé à une température de 146 à 168°C pour un maximum de 30 min et qu'on a refroidi à la température de la pièce pour un minimum de 40 min (à 0,001 g près).</li> <li>Masse du pycnomètre décrit au numéro 3 rempli d'eau distillée, le tout placé dans le bain à la température de l'essai pendant au moins 30 min (à 0,001 g près).</li> <li>Masse du bitume (à 0,001 g près): 3 — 1</li> <li>Masse de l'eau qui remplit complètement le pycnomètre (à 0,001 g près): 2 — 1</li> <li>Masse de l'eau qui remplit la partie du pycnomètre qui n'est pas occupée par le bitume (à 0,001 g près): 4 — 3</li> <li>Masse de l'eau dont le volume est égal à celui du bitume qui remplit à peu près les <math>\frac{3}{4}</math> du pycnomètre (à 0,001 g près): 6 — 7</li> <li>Densité relative du bitume exprimée à 3 décimales: 5 + 8</li> <li>Densité relative moyenne: la moyenne des deux valeurs obtenues au n° 9.</li> </ol>				
		1	2	3
		24.1834	24.5472	24.3944
		73.9460	73.9800	73.8519
		63.4899	63.7099	62.7999
		76.3897	76.5094	75.0399
		39.3065	39.1627	38.4055
		49.7626	49.4328	49.4575
		12.8898	12.4995	12.2400
	36.8628	36.9333	37.2175	
	1.066	1.060	1.032	
	1.053			

REMARQUES: Liant: Bitume 60-70

Température ambiante = 30°C

**LA DENSITE RELATIVE DU BITUME SEMI-DUR**

( norme ASTM D 70 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Avril 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

<p>Température de l'essai: il faut mentionner si l'essai a été effectué à une température de 25°C ou 15,6°C</p> <p>Echantillon n°</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Masse du pycnomètre propre et sec avec le bouchon (à 0,001 g près).</li> <li>2. Masse du pycnomètre complètement rempli d'eau distillée avec le bouchon, après au moins 30 min dans le bain à la température de l'essai (à 0,001 g près).</li> <li>3. Masse du pycnomètre rempli aux <math>\frac{3}{4}</math> de bitume qu'on a chauffé à une température de 146 à 168°C pour un maximum de 30 min et qu'on a refroidi à la température de la pièce pour un minimum de 40 min (à 0,001 g près).</li> <li>4. Masse du pycnomètre décrit au numéro 3 rempli d'eau distillée, le tout placé dans le bain à la température de l'essai pendant au moins 30 min (à 0,001 g près).</li> <li>5. Masse du bitume (à 0,001 g près): 3 — 1</li> <li>6. Masse de l'eau qui remplit complètement le pycnomètre (à 0,001 g près): 2 — 1</li> <li>7. Masse de l'eau qui remplit la partie du pycnomètre qui n'est pas occupée par le bitume (à 0,001 g près): 4 — 3</li> <li>8. Masse de l'eau dont le volume est égal à celui du bitume qui remplit à peu près les <math>\frac{3}{4}</math> du pycnomètre (à 0,001 g près): 6 — 7</li> <li>9. Densité relative du bitume exprimée à 3 décimales: 5 + 8</li> <li>10. Densité relative moyenne: la moyenne des deux valeurs obtenues au n° 9.</li> </ol>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:33%;"></td> <td style="width:33%;"></td> <td style="width:33%;"></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>24.3894</td> <td>24.1797</td> <td>24.2945</td> </tr> <tr> <td>73.8860</td> <td>73.9800</td> <td>73.8519</td> </tr> <tr> <td>61.8694</td> <td>61.8634</td> <td>61.8353</td> </tr> <tr> <td>74.6860</td> <td>74.6820</td> <td>74.6517</td> </tr> <tr> <td>37.4800</td> <td>37.6837</td> <td>37.5408</td> </tr> <tr> <td>49.4966</td> <td>49.8003</td> <td>49.5574</td> </tr> <tr> <td>12.8166</td> <td>12.8186</td> <td>12.8164</td> </tr> <tr> <td>36.6800</td> <td>36.9817</td> <td>36.7410</td> </tr> <tr> <td>1.022</td> <td>1.019</td> <td>1.022</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">1.021</td> </tr> </table>				1	2	3	24.3894	24.1797	24.2945	73.8860	73.9800	73.8519	61.8694	61.8634	61.8353	74.6860	74.6820	74.6517	37.4800	37.6837	37.5408	49.4966	49.8003	49.5574	12.8166	12.8186	12.8164	36.6800	36.9817	36.7410	1.022	1.019	1.022	1.021		
1	2	3																																			
24.3894	24.1797	24.2945																																			
73.8860	73.9800	73.8519																																			
61.8694	61.8634	61.8353																																			
74.6860	74.6820	74.6517																																			
37.4800	37.6837	37.5408																																			
49.4966	49.8003	49.5574																																			
12.8166	12.8186	12.8164																																			
36.6800	36.9817	36.7410																																			
1.022	1.019	1.022																																			
1.021																																					

REMARQUES: Liant: Cut-Back 150-250

Température ambiante: 32°C

---



---



---

LA PENETRABILITE DU BITUME

( norme ASTM D 5 )

EQUIPE N° : \_\_\_\_\_ DATE : Avril 1992  
 NOMS : Abdoulaye KELTA

1. Type de bitume utilisé.	60 - 70	
2. Durée du chauffage du bitume pour le liquéfier (maximum 30 min).	30 mn	
3. Température atteinte par le bitume pour qu'il devienne liquide (entre 125 et 147°C).	140°C	
4. Profondeur du bitume dans le récipient en mm (minimum = pénétration anticipée + 10 mm).	20	
5. Durée du refroidissement de l'échantillon à l'air à une température de 15 à 30°C: a) Pour les pénétrations inférieures à 200, on utilise un récipient ayant un diamètre de 55 mm et une profondeur de 35 mm. Dans ce cas, cette durée varie de 60 à 90 min. b) Pour les pénétrations entre 200 et 350, on utilise un récipient ayant un diamètre de 70 mm et une profondeur de 45 mm. Dans ce cas, cette durée varie de 90 à 120 min.	50 mn	
6. Durée du refroidissement de l'échantillon dans le bain maintenu à la température de l'essai. Il faut respecter les mêmes exigences que celles indiquées à la ligne 5.	80 mn	
7. Conditions de l'essai: Température en °C	62.4	
Masse en g	5	
Durée en secondes	1	69
	2	67
	3	66.5
8. Pénétrations obtenues exprimées en 0,1 mm pour les deux récipients utilisés.	69	69
	67	67
	66.5	66.5
9. Différence maximale permise entre la plus petite et la plus grande valeur de pénétration obtenue:	4	
0 à 49: 2 50 à 149: 4 150 à 249: 6 250 et plus: 8		
10. Pénétration moyenne à 1 près. Il ne faut pas oublier de rejeter les résultats qui ne sont pas conformes aux exigences indiquées à la ligne 9.	67.5	
11. Spécifications selon la norme de l'ASTM-D946 (voir paragraphe 10).	60 à 70	
12. Conformité aux spécifications.	Conforme	

REMARQUES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**LA PENETRABILITE DU BITUME**

( norme ASTM D 5 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Avril 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

		<b>60-70</b>
1. Type de bitume utilisé.		
2. Durée du chauffage du bitume pour le liquéfier (maximum 30 min).		<b>30 mn</b>
3. Température atteinte par le bitume pour qu'il devienne liquide (entre 125 et 147°C).		<b>145°C</b>
4. Profondeur du bitume dans le récipient en mm (minimum = pénétration anticipée + 10 mm).	<b>20</b>	
5. Durée du refroidissement de l'échantillon à l'air à une température de 15 à 30°C: a) Pour les pénétrations inférieures à 200, on utilise un récipient ayant un diamètre de 55 mm et une profondeur de 35 mm. Dans ce cas, cette durée varie de 60 à 90 min. b) Pour les pénétrations entre 200 et 350, on utilise un récipient ayant un diamètre de 70 mm et une profondeur de 45 mm. Dans ce cas, cette durée varie de 90 à 120 min.	<b>50mn</b>	
6. Durée du refroidissement de l'échantillon dans le bain maintenu à la température de l'essai. Il faut respecter les mêmes exigences que celles indiquées à la ligne 5.	<b>80mn</b>	
7. Conditions de l'essai: Température en °C		<b>62,4</b>
Masse en g		<b>5</b>
Durée en secondes		
8. Pénétrations obtenues exprimées en 0,1 mm pour les deux récipients utilisés.	1 <b>69</b> <b>69</b> 2 <b>68.5</b> <b>68.5</b> 3 <b>68</b> <b>68</b>	
9. Différence maximale permise entre la plus petite et la plus grande valeur de pénétration obtenue:		<b>4</b>
0 à 49: 2 50 à 149: 4 150 à 249: 6 250 et plus: 8		
10. Pénétration moyenne à 1 près. Il ne faut pas oublier de rejeter les résultats qui ne sont pas conformes aux exigences indiquées à la ligne 9.		<b>68.5</b>
11. Spécifications selon la norme de l'ASTM-D946 (voir paragraphe 10).		<b>60 à 70</b>
12. Conformité aux spécifications.		<b>Conforme</b>

REMARQUES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

LA PENETRABILITE DU BITUME

( norme ASTM D 5 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Avril</u> 19 <u>92</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

<p>1. Type de bitume utilisé.</p> <p>2. Durée du chauffage du bitume pour le liquéfier (maximum 30 min).</p> <p>3. Température atteinte par le bitume pour qu'il devienne liquide (entre 125 et 147°C).</p> <p>4. Profondeur du bitume dans le récipient en mm (minimum = pénétration anticipée -- 10 mm).</p> <p>5. Durée du refroidissement de l'échantillon à l'air à une température de 15 à 30°C:                  a) Pour les pénétrations inférieures à 200, on utilise un récipient ayant un diamètre de 55 mm et une profondeur de 35 mm. Dans ce cas, cette durée varie de 60 à 90 min.                  b) Pour les pénétrations entre 200 et 350, on utilise un récipient ayant un diamètre de 70 mm et une profondeur de 45 mm. Dans ce cas, cette durée varie de 90 à 120 min.</p> <p>6. Durée du refroidissement de l'échantillon dans le bain maintenu à la température de l'essai. Il faut respecter les mêmes exigences que celles indiquées à la ligne 5.</p> <p>7. Conditions de l'essai: Température en °C                  Masse en g                  Durée en secondes</p> <p>8. Pénétrations obtenues exprimées en 0,1 mm pour les deux récipients utilisés.</p> <p>9. Différence maximale permise entre la plus petite et la plus grande valeur de pénétration obtenue:</p> <p>10. Pénétration moyenne à 1 près. Il ne faut pas oublier de rejeter les résultats qui ne sont pas conformes aux exigences indiquées à la ligne 9.</p> <p>11. Spécifications selon la norme de l'ASTM-D946 (voir paragraphe 10).</p> <p>12. Conformité aux spécifications.</p>	<p>60 - 70</p> <hr/> <p>30 mn</p> <hr/> <p>140° C</p> <hr/> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">20</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">50mn</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">80mn</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table> <hr/> <p>62.4</p> <hr/> <p>5</p> <hr/> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">1 68</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">68</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">2 67</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">67</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">3 67.5</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">67.5</td> </tr> </table> <hr/> <p>4</p> <hr/> <p>67.5</p> <hr/> <p>60 à 70</p> <hr/> <p>Conforme</p>	20		50mn		80mn		1 68	68	2 67	67	3 67.5	67.5
20													
50mn													
80mn													
1 68	68												
2 67	67												
3 67.5	67.5												

REMARQUES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE  
POINT DE RAMOLLISSEMENT DU BITUME

( norme ASTM D 36 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Avril 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

Ce formulaire s'applique aux matériaux ayant des points de ramollissement de 80°C ou moins. Le point de ramollissement anticipé pour les bitumes ayant des pénétrations entre 40 et 300 se situe entre 35 et 57°C.

1. Type de bitume utilisé dans l'essai.	<u>60 - 70</u>
2. Heure au début de l'essai.	<u>16H 10mn</u>
3. Température de l'échantillon liquéfié (à 0,2°C près). Elle doit être entre 145 et 167°C.	<u>148° C</u>
4. Temps écoulé pour liquéfier le bitume. Maximum 2 h.	<u>1H 30mn</u>
5. Durée de refroidissement des échantillons moulés. Minimum 30 min.	<u>35mn</u>
6. Température du bain d'eau dans lequel on chauffe les échantillons de bitume. Avant le début du chauffage, l'échantillon doit être demeuré dans ce bain d'eau pendant 15 min à une température de $5 \pm 1^\circ\text{C}$ . Quand on commence le chauffage, il faut régler la chaleur de manière à ce que l'augmentation de la température soit de $5 \pm 0,5^\circ\text{C}/\text{min}$ et ce après les trois premières minutes.	Début: <u>7° C</u>
	1 min: <u>14° C</u>
	2 min: <u>18° C</u>
	3 min: <u>20.5° C</u>
	4 min: <u>23.0° C</u>
	5 min: <u>25.0° C</u>
	6 min: <u>28.0° C</u>
	7 min: <u>32.0° C</u>
	8 min: <u>35.0° C</u>
	9 min: <u>40.0° C</u>
	10 min: <u>44.5° C</u>
	11 min: <u>50.0° C</u>
12 min: _____	
Remarques: — on utilise l'eau distillée dans le bain d'eau; — on utilise un thermomètre ASTM 15C.	
REMARQUES: _____ _____ _____ _____	
7. Température du bain d'eau au moment où le bitume entourant une des deux billes touche la plaque inférieure à 0,2°C près.	<u>46.0° C</u>
8. Température du bain d'eau au moment où le bitume entourant l'autre bille touche la plaque inférieure à 0,2°C près.	<u>47.0° C</u>
9. Point de ramollissement à 0,2°C près. La moyenne des valeurs obtenues en 7 et 8.	<u>46.5° C</u>
10. Heure à la fin de l'essai juste au moment où le bitume entourant la 2° bille touche la plaque inférieure.	<u>18H00</u>
11. Durée de l'essai = 10 - 2 Maximum 4 h	<u>2H 15mn</u>

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE  
POINT DE RAMOLLISSEMENT DU BITUME

( norme ASTM D 36 )

EQUIPE N° : \_\_\_\_\_ DATE : Avril 1992 \_\_\_\_\_

NOMS : Abdoulaye KELTA \_\_\_\_\_

Ce formulaire s'applique aux matériaux ayant des points de ramollissement de 80°C ou moins. Le point de ramollissement anticipé pour les bitumes ayant des pénétrations entre 40 et 300 se situe entre 35 et 57°C.

1. Type de bitume utilisé dans l'essai.	<u>60 - 70</u>
2. Heure au début de l'essai.	<u>15H 00 mn</u>
3. Température de l'échantillon liquéfié (à 0,2°C près). Elle doit être entre 145 et 167°C.	<u>148° C</u>
4. Temps écoulé pour liquéfier le bitume. Maximum 2 h.	<u>1H 15 mn</u>
5. Durée de refroidissement des échantillons moulés. Minimum 30 min.	<u>46 min</u>
6. Température du bain d'eau dans lequel on chauffe les échantillons de bitume. Avant le début du chauffage, l'échantillon doit être demeuré dans ce bain d'eau pendant 15 min à une température de 5 ± 1°C. Quand on commence le chauffage, il faut régler la chaleur de manière à ce que l'augmentation de la température soit de 5 ± 0,5°C/min et ce après les trois premières minutes.	Début: <u>4.5° C</u>
	1 min: <u>10° C</u>
	2 min: <u>12° C</u>
	3 min: <u>16° C</u>
	4 min: <u>21° C</u>
	5 min: <u>24° C</u>
	6 min: <u>29° C</u>
	7 min: <u>32° C</u>
	8 min: <u>36° C</u>
	9 min: <u>41° C</u>
	10 min: <u>47° C</u>
	11 min: _____
	12 min: _____
Remarques: — on utilise l'eau distillée dans le bain d'eau; — on utilise un thermomètre ASTM 15C.	
REMARQUES: _____	
_____	
_____	
_____	
7. Température du bain d'eau au moment où le bitume entourant une des deux billes touche la plaque inférieure à 0,2°C près.	<u>48° C</u>
8. Température du bain d'eau au moment où le bitume entourant l'autre bille touche la plaque inférieure à 0,2°C près.	<u>49° C</u>
9. Point de ramollissement à 0,2°C près. La moyenne des valeurs obtenues en 7 et 8.	<u>48.5° C</u>
10. Heure à la fin de l'essai juste au moment où le bitume entourant la 2° bille touche la plaque inférieure.	<u>17H 16 mn</u>
11. Durée de l'essai = 10 - 2 Maximum 4 h	<u>2H 16 mn</u>

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE  
POINT DE RAMOLLISSEMENT DU BITUME

( norme ASTM D 36 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Avril 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye</u>	<u>KEITA</u>

Ce formulaire s'applique aux matériaux ayant des points de ramollissement de 80°C ou moins. Le point de ramollissement anticipé pour les bitumes ayant des pénétrations entre 40 et 300 se situe entre 35 et 57°C.

1. Type de bitume utilisé dans l'essai.	<u>60-70</u>
2. Heure au début de l'essai.	<u>15 H 10 mn</u>
3. Température de l'échantillon liquéfié (à 0,2°C près). Elle doit être entre 145 et 167°C.	<u>148° C</u>
4. Temps écoulé pour liquéfier le bitume. Maximum 2 h.	<u>1 H 30 mn</u>
5. Durée de refroidissement des échantillons moulés. Minimum 30 min.	<u>40 mn</u>
6. Température du bain d'eau dans lequel on chauffe les échantillons de bitume. Avant le début du chauffage, l'échantillon doit être demeuré dans ce bain d'eau pendant 15 min à une température de 5 ± 1°C. Quand on commence le chauffage, il faut régler la chaleur de manière à ce que l'augmentation de la température soit de 5 ± 0,5°C/min et ce après les trois premières minutes.	Début: <u>5° C</u>
	1 min: <u>11° C</u>
	2 min: <u>16° C</u>
	3 min: <u>18° C</u>
	4 min: <u>21.5° C</u>
	5 min: <u>23.0° C</u>
	6 min: <u>26.5° C</u>
	7 min: <u>29.5° C</u>
	8 min: <u>33° C</u>
	9 min: <u>37° C</u>
	10 min: <u>43° C</u>
	11 min: <u>49.5° C</u>
12 min: <u>47.5° C</u>	
Remarques: — on utilise l'eau distillée dans le bain d'eau; — on utilise un thermomètre ASTM 15C.	
REMARQUES: _____ _____ _____ _____	
7. Température du bain d'eau au moment où le bitume entourant une des deux billes touche la plaque inférieure à 0,2°C près.	<u>48° C</u>
8. Température du bain d'eau au moment où le bitume entourant l'autre bille touche la plaque inférieure à 0,2°C près.	<u>47.8° C</u>
9. Point de ramollissement à 0,2°C près. La moyenne des valeurs obtenues en 7 et 8.	<u>47.8° C</u>
10. Heure à la fin de l'essai juste au moment où le bitume entourant la 2° bille touche la plaque inférieure.	<u>17 H 35 mn</u>
11. Durée de l'essai = 10 - 2 Maximum 4 h	<u>2 H 25 mn</u>

**ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE**  
**LE POINT D'ÉCLAIR ET LE POINT DE FEU**

**Appareil Cleveland à vase ouvert**

( norme ASTM D 92 )

EQUIPE N° : \_\_\_\_\_ DATE : Janvier 1992 \_\_\_\_\_  
 NOMS : Abdoulaye KEITA \_\_\_\_\_

1. Type de bitume utilisé.		<b>60- 70</b>
2. Point d'éclair anticipé (P.E.A.).		<b>235° C</b>
3. Température maximale selon laquelle on peut chauffer le bitume pour le liquéfier (P.E.A. - 56°C).		<b>179° C</b>
4. Température actuelle du bitume dans le vase de Cleveland avant de commencer l'essai.		<b>151° C</b>
5. Température du bitume durant l'essai:	après 1 min	<b>120</b>
	2 min	<b>126</b>
	3 min	<b>140</b>
	4 min	<b>155</b>
	5 min	<b>170</b>
	6 min	<b>185</b>
	7 min	<b>201</b>
	8 min	<b>218</b>
	9 min	<b>237</b>
	10 min	<b>253</b>
On augmente la température à raison de 14 à 17°C/min jusqu'à ce que l'on atteigne la température indiquée à la ligne 3.		
6. Température du bitume durant l'essai:	après 1 min	<b>260</b>
	2 min	<b>266</b>
	3 min	<b>272</b>
	4 min	<b>279</b>
	5 min	<b>284</b>
	6 min	<b>290</b>
	7 min	<b>295</b>
	8 min	<b>302</b>
	9 min	<b>308</b>
	10 min	<b>312</b>
	11 min	<b>(316)</b>
	12 min	<b>321</b>
	13 min	<b>327</b>
	14 min	<b>333</b>
	15 min	<b>340</b>
	16 min	<b>(346)</b>
	17 min	
	18 min	
	19 min	
	20 min	
REMARQUES : _____ _____ _____ _____ _____ _____		
7. Point d'éclair (P.E.).		<b>316.0</b>
8. Point de feu (P.F.).		<b>346.0</b>
9. Pression barométrique en kPa.	P =	<b>101.3</b>
10. P.E. corrigé à 2°C près: P.E. + 0,225 (101,3 - P).		<b>316.0</b>
11. P.F. corrigé à 2°C près: P.F. + 0,225 (101,3 - P).		<b>346.0</b>
12. Spécifications relatives au point d'éclair.	Minimum =	<b>232° C</b>
13. Conformité.		<b>Conforme</b>

LE POINT D'ECLAIR ET LE POINT DE FEU

Appareil Cleveland à vase ouvert

( norme ASTM D 92 )

EQUIPE N° : \_\_\_\_\_ DATE : Février 1992

NOMS : Abdoulaye KEITA

1. Type de bitume utilisé.		60 - 70
2. Point d'éclair anticipé (P.E.A.).		235° C
3. Température maximale selon laquelle on peut chauffer le bitume pour le liquéfier (P.E.A. - 56°C).		179° C
4. Température actuelle du bitume dans le vase de Cleveland avant de commencer l'essai.		150° C
5. Température du bitume durant l'essai:	après 1 min	118
	2 min	124
	3 min	137
	4 min	152
	5 min	168
	6 min	181
	7 min	198
	8 min	217
	9 min	238
	10 min	254
On augmente la température à raison de 14 à 17°C/min jusqu'à ce que l'on atteigne la température indiquée à la ligne 3.		
6. Température du bitume durant l'essai:	après 1 min	260
	2 min	265
	3 min	272
	4 min	278
	5 min	283
	6 min	289
	7 min	296
	8 min	303
	9 min	309
	10 min	314
	11 min	(319)
	12 min	324
	13 min	330
	14 min	335
	15 min	341
	16 min	(348)
	17 min	
	18 min	
	19 min	
	20 min	
REMARQUES: _____		
_____		
_____		
_____		
_____		
_____		
7. Point d'éclair (P.E.).		319.0
8. Point de feu (P.F.).		348.0
9. Pression barométrique en kPa.	P =	101.3
10. P.E. corrigé à 2°C près: P.E. + 0,225 (101,3 - P).		319.0
11. P.F. corrigé à 2°C près: P.F. + 0,225 (101,3 - P).		348
12. Spécifications relatives au point d'éclair.	Minimum =	232° C
13. Conformité.		Conforme

LE POINT D'ECLAIR ET LE POINT DE FEU

Appareil Cleveland à vase ouvert

( norme ASTM D 92 )

EQUIPE N° : \_\_\_\_\_ DATE : Février 1992 \_\_\_\_\_

NOMS : Abdoulaye KEITA \_\_\_\_\_

1. Type de bitume utilisé.		60-70
2. Point d'éclair anticipé (P.E.A.).		235° C
3. Température maximale selon laquelle on peut chauffer le bitume pour le liquéfier (P.E.A. - 56°C).		179° C
4. Température actuelle du bitume dans le vase de Cleveland avant de commencer l'essai.		148° C
5. Température du bitume durant l'essai:	après 1 min	121
	2 min	127
	3 min	142
	4 min	156
	5 min	172
	6 min	186
	7 min	202
	8 min	219
	9 min	238
	10 min	254
On augmente la température à raison de 14 à 17°C/min jusqu'à ce que l'on atteigne la température indiquée à la ligne 3.		
6. Température du bitume durant l'essai:	après 1 min	260
	2 min	265
	3 min	271
	4 min	277
	5 min	283
	6 min	289
	7 min	295
	8 min	301
	9 min	307
	10 min	313
	11 min	(319)
	12 min	324
	13 min	329
	14 min	335
	15 min	341
	16 min	(347)
	17 min	
	18 min	
	19 min	
	20 min	
REMARQUES: _____		
_____		
_____		
_____		
_____		
7. Point d'éclair (P.E.).		319.0
8. Point de feu (P.F.).		347.0
9. Pression barométrique en kPa.	P =	101.3
10. P.E. corrigé à 2°C près: P.E. + 0,225 (101,3 - P).		319.0
11. P.F. corrigé à 2°C près: P.F. + 0,225 (101,3 - P).		347.0
12. Spécifications relatives au point d'éclair.	Minimum =	232
13. Conformité.		Conforme

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE  
LA DUCTILITE DES MATERIAUX BITUMINEUX

( norme ASTM D 113 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Février</u> <u>1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye</u> <u>KEITA</u>	

<p>1. Type de bitume. Bitume classifié selon sa pénétrabilité.          Bitume classifié selon sa viscosité.          Bitume qui a subi l'essai d'une couche mince à l'étuve.          Résidu d'un bitume liquide.          Résidu d'une émulsion bitumineuse.</p>	60-70
<p>2. Conditions d'essai. Vitesse en cm/s.          Température en °C.</p>	5
<p>3. Profondeur de l'éprouvette dans l'eau du bain (minimum 10 cm).</p>	11cm
<p>4. Distance entre la tablette perforée et le fond du bain (minimum 5 cm).</p>	5cm
<p>5. Type de thermomètre utilisé.</p>	
<p>6. Température de l'échantillon liquéfié avant de le passer au tamis 300 µm (n° 50).</p>	140° C
<p>7. Durée de refroidissement de l'échantillon à la température de la pièce (30 à 40 min).</p>	30 min
<p>8. Durée de refroidissement dans le bain avant d'enlever le surplus de bitume dans le moule (30 min).</p>	30 min
<p>9. Durée de la préservation de l'échantillon dans le bain à la température de l'essai (85 à 95 min).</p>	85min
<p>10. Distance entre le haut de l'échantillon et la surface de l'eau dans le bain (minimum 2,5 cm).</p>	10 min
<p>11. Distance entre le bas de l'échantillon et le fond du bain (minimum 2,5 cm).</p>	2.5 cm
<p>12. Température de l'eau du bain (température de l'essai ± 0,5°C).</p>	25° C
<p>13. Ductilité: distance en cm de l'étrirage avant la rupture</p>	<p>1<sup>er</sup> essai : &gt; 150          2<sup>e</sup> essai : &gt; 150          3<sup>e</sup> essai : &gt; 150</p>
<p>14. Rupture de l'éprouvette obtenue à un point où il n'y a pratiquement pas d'épaisseur.</p>	Non
<p>15. Rupture de l'éprouvette obtenue sans que le bitume ne touche ni la surface de l'eau ni le fond du bain.</p>	Non
<p>16. Ductilité moyenne: moyenne des trois valeurs obtenues à la ligne 13.</p>	> 150
<p>17. Spécifications.</p>	minimum 80
<p>18. Conformité.</p>	Oui

REMARQUES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE  
LA VISCOSITE CINEMATIQUE DES BITUMES  
 ( norme ASTM D 2170 )

EQUIPE N° : \_\_\_\_\_ DATE : Le 11 Mai 1992  
 NOMS : Abdoulaye KEITA

1. Type de bitume utilisé.	Cut - Back 150 - 250
2. Température de l'essai: 60°C ou 135°C.	60°C
3. Type de viscosimètre: il doit permettre un temps d'écoulement d'au moins 60 s.	Zeitfuchs
4. Numéro du viscosimètre: il est normalement inscrit sur le viscosimètre.	8T 777
5. Facteur de calibrage: il est normalement fourni par le manufacturier ou le fournisseur.	9.85
6. Durée du chauffage du pycnomètre rempli: (dans le bain; voir les instructions du manufacturier).	10 min
7. Type de thermomètre choisi: ASTM-47F ou ASTM-110F ou autre.	Autre
8. Liquide utilisé dans le bain: eau distillée ou huile blanche USP.	huile blanche USP
9. Température atteinte par le bitume lors de sa préparation: 63 ± 3°C ou 135 ± 5,5°C	60.0°C
10. Température du bain: 60 ± 0,01°C ou 135 ± 0,03°C	60.00°C
11. Durée réelle du chauffage du pycnomètre rempli d'échantillon (dans le bain) avant l'écoulement du bitume. Cette durée doit être égale ou supérieure à celle indiquée à la ligne 6.	12 min
12. Temps écoulé à 0,1 s près par l'extrémité directrice du ménisque pour passer de la première ligne de chronométrage à la deuxième.	5 min 38.07s
13. Calcul de la viscosité cinématique en mm <sup>2</sup> /s à trois chiffres significatifs: 12° × 5° =	3330
14. Spécifications (voir paragraphe 8).	3000 à 6000
15. Conformité.	Oui

REMARQUES \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE  
LA VISCOSITE CINEMATIQUE DES BITUMES  
 ( norme ASTM D 2170 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Le 11 Mai 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

1. Type de bitume utilisé.	Cut - Back 150 - 250
2. Température de l'essai: 60°C ou 135°C.	60°C
3. Type de viscosimètre: il doit permettre un temps d'écoulement d'au moins 60 s.	Zeitfuchs
4. Numéro du viscosimètre: il est normalement inscrit sur le viscosimètre.	8 T 779
5. Facteur de calibrage: il est normalement fourni par le manufacturier ou le fournisseur.	10.12
6. Durée du chauffage du pycnomètre rempli: (dans le bain; voir les instructions du manufacturier).	10 min
7. Type de thermomètre choisi: ASTM-47F ou ASTM-110F ou autre.	Autre
8. Liquide utilisé dans le bain: eau distillée ou huile blanche USP.	huile blanche USP
9. Température atteinte par le bitume lors de sa préparation: 63 ± 3°C ou 135 ± 5,5°C	60.0° C
10. Température du bain: 60 ± 0,01°C ou 135 ± 0,03°C	60.00° C
11. Durée réelle du chauffage du pycnomètre rempli d'échantillon (dans le bain) avant l'écoulement du bitume. Cette durée doit être égale ou supérieure à celle indiquée à la ligne 6.	15 min
12. Temps écoulé à 0,1 s près par l'extrémité directrice du ménisque pour passer de la première ligne de chronométrage à la deuxième.	5mn 30,5 s
13. Calcul de la viscosité cinématique en mm <sup>2</sup> /s à trois chiffres significatifs: 12° × 5° =	3345
14. Spécifications (voir paragraphe 8).	3000 à 6000
15. Conformité.	Oui

REMARQUES \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE  
LA VISCOSITE CINEMATIQUE DES BITUMES  
 ( norme ASTM D 2170 )

EQUIPE N° : \_\_\_\_\_ DATE : Le 11 Mai 1992  
 NOMS : Abdoulaye KEITA

1. Type de bitume utilisé.	C-B 150-250
2. Température de l'essai: 60°C ou 135°C.	60° C
3. Type de viscosimètre: il doit permettre un temps d'écoulement d'au moins 60 s.	Zeitfuchs
4. Numéro du viscosimètre: il est normalement inscrit sur le viscosimètre.	8T778
5. Facteur de calibrage: il est normalement fourni par le manufacturier ou le fournisseur.	10.20
6. Durée du chauffage du pycnomètre rempli: (dans le bain; voir les instructions du manufacturier).	10 min
7. Type de thermomètre choisi: ASTM-47F ou ASTM-110F ou autre.	Autre
8. Liquide utilisé dans le bain: eau distillée ou huile blanche USP.	huile blanche USP
9. Température atteinte par le bitume lors de sa préparation: 63 ± 3°C ou 135 ± 5,5°C	60° C
10. Température du bain: 60 ± 0,01°C ou 135 ± 0,03°C	60° C
11. Durée réelle du chauffage du pycnomètre rempli d'échantillon (dans le bain) avant l'écoulement du bitume. Cette durée doit être égale ou supérieure à celle indiquée à la ligne 6.	12 min
12. Temps écoulé à 0,1 s près par l'extrémité directrice du ménisque pour passer de la première ligne de chronométrage à la deuxième.	5min 42.5 s
13. Calcul de la viscosité cinématique en mm <sup>2</sup> /s à trois chiffres significatifs: 12° x 5° =	3494
14. Spécifications (voir paragraphe 8).	3000 à 6000
15. Conformité.	Oui

REMARQUES \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**ANNEXE C**

**RESULTATS DES ESSAIS SUR LES MELANGES DE BETON BITUMINEUX**

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE

DENSITE RELATIVE BRUTE

DES MELANGES BITUMINEUX COMPACTES

Sur éprouvettes saturées à surface sèche

( norme ASTM D 2726 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>juin 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

Ce formulaire s'applique uniquement au cas des éprouvettes parfaitement sèches

Éprouvettes préparées le : \_\_\_\_\_ Type de bitume : CB-150-250  
Désignation du mélange : \_\_\_\_\_ Teneur en bitume = 4,0 %

Eprouvette n° ( identification de référence )	1	2	3
1 (A) MASSE DANS L'AIR à 0,1 g près (éprouvette sèche)	793.9	798.2	795.4
2 (C) MASSE DANS L'EAU à 0,1 g près	465.3	466.5	467.2
3 (T°C) Température de l'eau à 1°C près	28	28	28
4 (B) MASSE DANS L'AIR à 0,1 g près (éprouvette saturée à surface sèche)	820.5	826.8	823.7
5 DENSITE RELATIVE BRUTE à T°C = $\frac{A}{B-C} \cdot d_w$	2.235	2.215	2.231
6 Si T°C ≠ 25 ± 1°C calculer : DENSITE RELATIVE BRUTE à 25°C = $d_b$ à T°C · k	2.233	2.213	2.229
7 DENSITE RELATIVE BRUTE MOYENNE à 25°C : $d_m$ ( Masse volumique du mélange compacté )	<u>2.225</u>		

Densité relative brute du mélange compacté obtenue en  $g/cm^3$  (équivalent à des  $t/m^3$ ) ;  $d_w = 1000 \rightarrow kg/m^3$

$k = \frac{d_w}{0,99704}$  où :  $\begin{cases} d_w = \text{masse volumique de l'eau à la température de l'essai (voir tableau)} \\ \text{(ou densité relative de l'eau } D_w \text{)} \\ 0,99704 = \text{masse volumique de l'eau à } 25^\circ\text{C} \end{cases}$

REMARQUES : Mélange Préparé à l'EPT  
Granulométrie des agrégats = 3-8

DENSITE RELATIVE BRUTE

DES MELANGES BITUMINEUX COMPACTES

Sur éprouvettes saturées à surface sèche

( norme ASTM D 2726 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>  Juin  </u> <u>  1992  </u>
NOMS : <u>  Abdoulaye  </u> <u>  KEITA  </u>	

Ce formulaire s'applique uniquement au cas  
des éprouvettes parfaitement sèches

Eprouvettes préparées le : \_\_\_\_\_ Type de bitume :   C-B-150-250    
 Désignation du mélange : \_\_\_\_\_ Teneur en bitume =   5,0   %

Eprouvette n° ( identification de référence )	1	2	3
1 (A) MASSE DANS L'AIR à 0,1 g près (éprouvette sèche)	1074.41	1079.20	1077.80
2 (C) MASSE DANS L'EAU à 0,1 g près	642.6	644.2	643.7
3 (T°C) Température de l'eau à 1°C près	28	28	28
4 (B) MASSE DANS L'AIR à 0,1 g près (éprouvette saturée à surface sèche)	1064.6	1071.1	1068.7
5 DENSITE RELATIVE BRUTE à T°C = $\frac{A}{B - C}$ ; d <sub>w</sub>	2.546	2.528	2.536
6 Si T°C ≠ 25 ± 1°C calculer : DENSITE RELATIVE BRUTE à 25°C = d <sub>w</sub> à T°C · k	2.544	2.526	2.534
7 DENSITE RELATIVE BRUTE MOYENNE à 25°C : d <sub>w</sub> ( Masse volumique du mélange compacté )	<u>  2.535  </u>		

Densité relative brute du mélange compacté obtenue en g/cm<sup>3</sup> ( équivalent à des t/m<sup>3</sup> ) ; d<sub>w</sub> = 1000 → kg/m<sup>3</sup>

$k = \frac{d_w}{0,99704}$  où :  $\left\{ \begin{array}{l} d_w = \text{masse volumique de l'eau à la température de l'essai (voir tableau)} \\ \text{ou densité relative de l'eau } D_w \end{array} \right.$   
 0,99704 = masse volumique de l'eau à 25°C

REMARQUES :   Mélange Préparé à L'EPT  

  Granulométrie des agrégats: 3-8

**DENSITE RELATIVE BRUTE  
DES MELANGES BITUMINEUX COMPACTES**

Sur éprouvettes saturées à surface sèche

( norme ASTM D 2726 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Jun 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

Ce formulaire s'applique uniquement au cas  
des éprouvettes parfaitement sèches

Eprouvettes préparées le : \_\_\_\_\_ Type de bitume : CB-150-250  
 Désignation du mélange : \_\_\_\_\_ Teneur en bitume = 6,0 %

Eprouvette n° ( identification de référence )				1	2	3
1	(A)	MASSE DANS L'AIR (éprouvette sèche)	à 0,1 g près	791.3	793.4	795.2
2	(C)	MASSE DANS L'EAU	à 0,1 g près	454.7	455.9	456.3
3	(T°C)	Température de l'eau	à 1°C près	28	28	28
4	(B)	MASSE DANS L'AIR (éprouvette saturée à surface sèche)	à 0,1 g près	815.6	819.2	821.7
5	DENSITE RELATIVE BRUTE à T°C = $\frac{A}{B-C} \cdot d_w$			2.193	2.184	2.176
6	Si T°C ≠ 25 ± 1°C calculer : DENSITE RELATIVE BRUTE à 25°C = $d_w \text{ à T°C} \cdot k$			2.191	2.182	2.174
7	DENSITE RELATIVE BRUTE MOYENNE à 25°C : $d_w$ ( Masse volumique du mélange compacté )			<u>2.182</u>		

Densité relative brute du mélange compacté obtenue en g/cm<sup>3</sup> ( équivalent à des t/m<sup>3</sup> ) ;  $d_w \cdot 1000 \rightarrow \text{kg/m}^3$

$k = \frac{d_w}{0,99704}$  où :

{	$d_w$ = masse volumique de l'eau à la température de l'essai (voir tableau) ( ou densité relative de l'eau $D_w$ ) $0,99704$ = masse volumique de l'eau à 25°C
---	--

REMARQUES : Mélange Préparé à l'EPT

Granulométrie des agrégats: 3-8

DENSITE RELATIVE BRUTE

DES MELANGES BITUMINEUX COMPACTES

Sur éprouvettes saturées à surface sèche

( norme ASTM D 2726 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Jun 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

Ce formulaire s'applique uniquement au cas des éprouvettes parfaitement sèches

Eprouvettes préparées le : \_\_\_\_\_ Type de bitume : 60-70  
 Désignation du mélange : \_\_\_\_\_ Teneur en bitume = 5,0 %

Eprouvette n° ( identification de référence )	1	2	3
1 (A) MASSE DANS L'AIR à 0,1 g près (éprouvette sèche)	555.46	559.93	561.94
2 (C) MASSE DANS L'EAU à 0,1 g près	331.7	332.8	333.1
3 (T°C) Température de l'eau à 1°C près	28	28	28
4 (B) MASSE DANS L'AIR à 0,1 g près (éprouvette saturée à surface sèche)	550.3	552.9	553.9
5 DENSITE RELATIVE BRUTE à T°C = $\frac{A}{B - C}$ ; d <sub>b</sub>	2.541	2.544	2.545
6 Si T°C ≠ 25 ± 1°C calculer : DENSITE RELATIVE BRUTE à 25°C = d <sub>b</sub> à T°C . k	2.539	2.542	2.543
7 DENSITE RELATIVE BRUTE MOYENNE à 25°C : d <sub>m</sub> ( Masse volumique du mélange compacté )	<u>2.541</u>		

Densité relative brute du mélange compacté obtenue en g/cm<sup>3</sup> ( équivalent à des t/m<sup>3</sup> ) ; d<sub>m</sub> = 1000 → kg/m<sup>3</sup>

$k = \frac{d_w}{0,99704}$  où :  $\begin{cases} d_w = \text{masse volumique de l'eau à la température de l'essai (voir tableau)} \\ \text{ ( ou densité relative de l'eau } D_r \text{ )} \\ 0,99704 = \text{masse volumique de l'eau à } 25^\circ\text{C} \end{cases}$

REMARQUES : Mélange Préparé à l'EPT

Granulométrie des agrégats: 8-16

**DENSITE RELATIVE BRUTE  
DES MELANGES BITUMINEUX COMPACTES**

Sur éprouvettes saturées à surface sèche

( norme ASTM D 2726 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Jun 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

Ce formulaire s'applique uniquement au cas  
des éprouvettes parfaitement sèches

Eprouvettes préparées le : \_\_\_\_\_ Type de bitume : 60-70  
 Désignation du mélange : \_\_\_\_\_ Teneur en bitume = 6,0 %

Eprouvette n° ( identification de référence )	1	2	3
1 (A) MASSE DANS L'AIR à 0,1 g près (éprouvette sèche)	761.67	762.53	760.36
2 (C) MASSE DANS L'EAU à 0,1 g près	434.8	436.5	437.6
3 (T°C) Température de l'eau à 1°C près	28	28	28
4 (B) MASSE DANS L'AIR à 0,1 g près (éprouvette saturée à surface sèche)	735.5	737.3	737.9
5 DENSITE RELATIVE BRUTE à T°C = $\frac{A}{B-C} \cdot d_w$	2.533	2.535	2.532
6 Si T°C ≠ 25 ± 1°C calculer : DENSITE RELATIVE BRUTE à 25°C = $d_b \text{ à } T^\circ\text{C} \cdot k$	2.531	2.533	2.530
7 DENSITE RELATIVE BRUTE MOYENNE à 25°C : $d_m$ ( Masse volumique du mélange compacté )	<u>2.532</u>		

Densité relative brute du mélange compacté obtenue en g/cm³ ( équivaleat à des t/m³ ) ;  $d_w = 1000 \rightarrow \text{kg/m}^3$

$k = \frac{d_w}{0,99704}$  où :  $\begin{cases} d_w = \text{masse volumique de l'eau à la température de l'essai (voir tableau)} \\ \text{( ou densité relative de l'eau } D_r \text{ )} \\ 0,99704 = \text{masse volumique de l'eau à } 25^\circ\text{C} \end{cases}$

REMARQUES : Mélange Préparé à l'EPT

Granulométrie des agrégats: 8-16

DENSITE RELATIVE BRUTE  
DES MELANGES BITUMINEUX COMPACTES

Sur éprouvettes saturées à surface sèche

( norme ASTM D 2726 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Jun 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

Ce formulaire s'applique uniquement au cas  
des éprouvettes parfaitement sèches

Eprouvettes préparées le : \_\_\_\_\_ Type de bitume : 60 - 70  
 Désignation du mélange : \_\_\_\_\_ Teneur en bitume = 6,5 %

Eprouvette n° ( identification de référence )		1	2	3
1	(A) MASSE DANS L'AIR (éprouvette sèche) à 0,1 g près	783.0	781.9	784.2
2	(C) MASSE DANS L'EAU à 0,1 g près	477.6	476.1	478.4
3	(T°C) Température de l'eau à 1°C près	28	28	28
4	(B) MASSE DANS L'AIR (éprouvette saturée à surface sèche) à 0,1 g près	792.5	790.1	793.9
5	DENSITE RELATIVE BRUTE à T°C = $\frac{A}{B - C} \cdot d_w$	2.486	2.490	2.485
6	Si T°C ≠ 25 ± 1°C calculer : DENSITE RELATIVE BRUTE à 25°C = $d_b \text{ à } T^\circ\text{C} \cdot k$	2.484	2.488	2.483
7	DENSITE RELATIVE BRUTE MOYENNE à 25°C : $d_m$ ( Masse volumique du mélange compacté )	<u>2.485</u>		

Densité relative brute du mélange compacté obtenue en g/cm<sup>3</sup> ( équivalent à des t/m<sup>3</sup> ) ;  $d_w \cdot 1000 \rightarrow \text{kg/m}^3$

$k = \frac{d_w}{0,99704}$  où :

- $d_w$  = masse volumique de l'eau à la température de l'essai (voir tableau) ( ou densité relative de l'eau  $D_r$  )
- 0,99704 = masse volumique de l'eau à 25°C

REMARQUES : Mélange Préparé à l'EPT

Granulométrie des agrégats: 8 - 16

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE

LA DENSITE RELATIVE MAXIMALE THEORIQUE

( norme ASTM D 2041 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Jun 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

Méthode B : Méthode de la fiole jaugée

Type de récipient utilisé: B ou C. No de la granulométrie du mélange. Dimension de la plus grosse particule d'agrégat. Masse minimale de l'échantillon en g. Éprouvette no.	<b>B</b>																														
1. Masse du récipient vide (en g).	-																														
2. Masse du récipient + l'échantillon (en g).	<b>8 mm</b>																														
3. Masse du récipient complètement rempli d'eau à 25 ± 0,5°C (en g).	-																														
4. Masse du récipient contenant l'échantillon et l'eau à 25 ± 1°C après 10 ± 1 min de vide; il doit être d'au moins 4 kPa ou 30 mm de mercure pendant 5 à 15 min (en g).	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td align="center">1</td> <td align="center">2</td> <td align="center">3</td> </tr> <tr> <td align="center">166.9</td> <td align="center">165.1</td> <td align="center">203.4</td> </tr> <tr> <td align="center">416.9</td> <td align="center">415.1</td> <td align="center">453.4</td> </tr> <tr> <td align="center">473.5</td> <td align="center">472.7</td> <td align="center">503.1</td> </tr> <tr> <td align="center">620.58</td> <td align="center">619.4</td> <td align="center">650.26</td> </tr> <tr> <td align="center">250.0</td> <td align="center">250.0</td> <td align="center">250.0</td> </tr> <tr> <td align="center">723.5</td> <td align="center">722.7</td> <td align="center">753.1</td> </tr> <tr> <td align="center">102.92</td> <td align="center">103.30</td> <td align="center">102.84</td> </tr> <tr> <td align="center">2.429</td> <td align="center">2.420</td> <td align="center">2.431</td> </tr> <tr> <td align="center" colspan="3">2.427</td> </tr> </table>	1	2	3	166.9	165.1	203.4	416.9	415.1	453.4	473.5	472.7	503.1	620.58	619.4	650.26	250.0	250.0	250.0	723.5	722.7	753.1	102.92	103.30	102.84	2.429	2.420	2.431	2.427		
1	2	3																													
166.9	165.1	203.4																													
416.9	415.1	453.4																													
473.5	472.7	503.1																													
620.58	619.4	650.26																													
250.0	250.0	250.0																													
723.5	722.7	753.1																													
102.92	103.30	102.84																													
2.429	2.420	2.431																													
2.427																															
5. Masse de l'échantillon (en g). = 2 - 1.																															
6. Masse de l'échantillon + récipient + eau qui remplit toute la fiole (en g) = 3 + 5.																															
7. Masse de l'eau dont le volume est égal à celui de l'échantillon = 6 - 4.																															
8. Densité relative maximale théorique = 5 ÷ 7.																															
9. Densité relative maximale théorique moyenne = $d_{max}$ .																															

REMARQUES Mélange Préparé à l'EPT

Granulométrie des agrégats: 3-8

Liant: C.B. 150-250, Teneur: 4%

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE

LA DENSITE RELATIVE MAXIMALE THEORIQUE

( norme ASTM D 2041 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>juin 1992</u>
NDMS : <u>Abdoulaye KEJTA</u>	

Méthode B : Méthode de la fiole jaugée

	<b>B</b>		
Type de récipient utilisé: B ou C.	-		
N° de la granulométrie du mélange.	8mm		
Dimension de la plus grosse particule d'agrégat.	-		
Masse minimale de l'échantillon en g.	-		
Éprouvette no.	1	2	3
1. Masse du récipient vide (en g).	166.9	165.1	203.4
2. Masse du récipient + l'échantillon (en g).	416.9	415.1	453.4
3. Masse du récipient complètement rempli d'eau à 25 ± 0,5°C (en g).	473.5	472.7	503.1
4. Masse du récipient contenant l'échantillon et l'eau à 25 ± 1°C après 10 ± 1 min de vide; il doit être d'au moins 4 kPa ou 30 mm de mercure pendant 5 à 15 min (en g).	631.3	629.6	660.2
5. Masse de l'échantillon (en g). = 2 - 1.	250.0	250.0	250.0
6. Masse de l'échantillon + récipient + eau qui remplit toute la fiole (eng) = 3 + 5.	723.5	722.7	753.1
7. Masse de l'eau dont le volume est égal à celui de l'échantillon = 6 - 4.	92.2	93.1	92.9
8. Densité relative maximale théorique = 5 ÷ 7.	2.711	2.685	2.691
9. Densité relative maximale théorique moyenne = $d_{max}$ .	2.696		

REMARQUES Mélange Préparé à l'EPT

Granulométrie des agrégats: 3-8

Liant: C.B. 150-250, Teneur: 5%

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE

LA DENSITE RELATIVE MAXIMALE THEORIQUE

( norme ASTM D 2041 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Jun 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

Méthode B : Méthode de la fiole jaugée

Type de récipient utilisé: B ou C. No de la granulométrie du mélange. Dimension de la plus grosse particule d'agrégat. Masse minimale de l'échantillon en g. Éprouvette no.	<b>B</b>		
	-		
	8 mm		
	-		
	1	2	3
1. Masse du récipient vide (en g).	166.9	165.1	203.4
2. Masse du récipient + l'échantillon (en g).	416.9	415.1	453.4
3. Masse du récipient complètement rempli d'eau à 25 ± 0,5°C (en g).	473.5	472.7	503.1
4. Masse du récipient contenant l'échantillon et l'eau à 25 ± 1°C après 10 ± 1 min de vide; il doit être d'au moins 4 kPa ou 30 mm de mercure pendant 5 à 15 min (en g).	615.37	613.86	645.34
5. Masse de l'échantillon (en g). = 2 - 1.	250.0	250.0	250.0
6. Masse de l'échantillon + récipient + eau qui remplit toute la fiole (en g) = 3 + 5.	723.5	722.7	753.1
7. Masse de l'eau dont le volume est égal à celui de l'échantillon = 6 - 4.	108.13	108.84	107.76
8. Densité relative maximale théorique = 5 ÷ 7.	2.312	2.297	2.320
9. Densité relative maximale théorique moyenne = $d_{max}$ .	2.310		

REMARQUES Mélange Préparé à l'EPT

Granulométrie des agrégats: 3 - 8

Liant: C.B. 150 - 250, Teneur: 6%

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE

LA DENSITE RELATIVE MAXIMALE THEORIQUE

( norme ASTM D 2041 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Jun 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

Méthode B : Méthode de la fiole jaugée

Type de récipient utilisé: B ou C. No de la granulométrie du mélange. Dimension de la plus grosse particule d'agrégat. Masse minimale de l'échantillon en g. Éprouvette no.	<b>B</b>		
1. Masse du récipient vide (en g).	-		
2. Masse du récipient + l'échantillon (en g).	16mm		
3. Masse du récipient complètement rempli d'eau à 25 ± 0,5°C (en g).	-		
4. Masse du récipient contenant l'échantillon et l'eau à 25 ± 1°C après 10 ± 1 min de vide; il doit être d'au moins 4 kPa ou 30 mm de mercure pendant 5 à 15 min (en g).	1	2	3
5. Masse de l'échantillon (en g). = 2 - 1.	166.9	165.1	203.4
6. Masse de l'échantillon + récipient + eau qui remplit toute la fiole (en g) = 3 + 5.	416.9	415.1	453.4
7. Masse de l'eau dont le volume est égal à celui de l'échantillon = 6 - 4.	473.5	475.7	503.1
8. Densité relative maximale théorique = 5 ÷ 7.	631.2	630.4	660.4
9. Densité relative maximale théorique moyenne = $d_{max}$ .	250.0	250.0	250.0
	723.5	722.7	753.1
	92.3	92.94	92.70
	2.708	2.690	2.697
	<b>2.698</b>		

REMARQUES Mélange Préparé à l'EPT

Granulométrie des agrégats: 8 - 16

Liant: C.B. 150 - 250, Teneur: 5%

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE

LA DENSITE RELATIVE MAXIMALE THEORIQUE

( norme ASTM D 2041 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Jun 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

Méthode B : Méthode de la fiole jaugée

Type de récipient utilisé: B ou C. No de la granulométrie du mélange. Dimension de la plus grosse particule d'agrégat. Masse minimale de l'échantillon en g. Éprouvette no.	<b>B</b>		
1. Masse du récipient vide (en g).	-		
2. Masse du récipient + l'échantillon (en g).	16mm		
3. Masse du récipient complètement rempli d'eau à 25 ± 0,5°C (en g).	-		
4. Masse du récipient contenant l'échantillon et l'eau à 25 ± 1°C après 10 ± 1 min de vide; il doit être d'au moins 4 kPa ou 30 mm de mercure pendant 5 à 15 min (en g).	1	2	3
5. Masse de l'échantillon (en g). = 2 - 1.	166.9	165.1	203.4
6. Masse de l'échantillon + récipient + eau qui remplit toute la fiole (eng) = 3 + 5.	416.9	415.1	453.4
7. Masse de l'eau dont le volume est égal à celui de l'échantillon = 6 - 4.	473.5	475.7	503.1
8. Densité relative maximale théorique = 5 ÷ 7.	628.12	627.46	657.9
9. Densité relative maximale théorique moyenne = $d_{max}$ .	250.0	250.0	250.0
	723.5	722.7	753.1
	95.38	95.24	95.20
	2.621	2.625	2.626
	2.624		

REMARQUES Mélange Préparé à l'EPT

---

Granulométrie des agrégats: 8-16

---

Liant: C.B. 150-250, Teneur: 6%

---

**ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE**

**LA DENSITE RELATIVE MAXIMALE THEORIQUE**

( norme ASTM D 2041 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Jun 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

Méthode B : Méthode de la fiole jaugée

Type de récipient utilisé: B ou C. No de la granulométrie du mélange. Dimension de la plus grosse particule d'agrégat. Masse minimale de l'échantillon en g. Éprouvette no.	<b>B</b>		
1. Masse du récipient vide (en g).	-		
2. Masse du récipient + l'échantillon (en g).	16 mm		
3. Masse du récipient complètement rempli d'eau à 25 ± 0,5°C (en g).	-		
4. Masse du récipient contenant l'échantillon et l'eau à 25 ± 1°C après 10 ± 1 min de vide; il doit être d'au moins 4 kPa ou 30 mm de mercure pendant 5 à 15 min (en g).	1	2	3
5. Masse de l'échantillon (en g). = 2 - 1.	166.9	165.1	203.4
6. Masse de l'échantillon + récipient + eau qui remplit toute la fiole (en g) = 3 + 5.	416.9	415.1	453.4
7. Masse de l'eau dont le volume est égal à celui de l'échantillon = 6 - 4.	473.5	475.7	503.1
8. Densité relative maximale théorique = 5 ÷ 7.	627.16	626.32	656.91
9. Densité relative maximale théorique moyenne = $d_{max}$ .	250.0	250.0	250.0
	723.5	722.7	753.1
	96.34	96.38	96.19
	2.595	2.594	2.595
	2.596		

REMARQUES Mélange Préparé à L.E.T

Granulométrie des agrégats: 8 - 16

Liant: C.B. 150 - 250, Teneur: 6,5 %

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE

LA DENSITE RELATIVE MAXIMALE THEORIQUE

( norme ASTM D 2041 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Jun 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

Méthode B : Méthode de la fiole jaugée

Type de récipient utilisé: B ou C. No de la granulométrie du mélange. Dimension de la plus grosse particule d'agrégat. Masse minimale de l'échantillon en g. Éprouvette no.	<b>B</b>			
	-			
	8mm			
	-			
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 33%;">1</th> <th style="width: 33%;">2</th> <th style="width: 33%;">3</th> </tr> </table>	1	2	3
1	2	3		
1. Masse du récipient vide (en g).	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">166.9</td> <td style="width: 33%;">165.1</td> <td style="width: 33%;">203.4</td> </tr> </table>	166.9	165.1	203.4
166.9	165.1	203.4		
2. Masse du récipient + l'échantillon (en g).	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">416.9</td> <td style="width: 33%;">415.1</td> <td style="width: 33%;">453.4</td> </tr> </table>	416.9	415.1	453.4
416.9	415.1	453.4		
3. Masse du récipient complètement rempli d'eau à 25 ± 0,5°C (en g).	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">473.5</td> <td style="width: 33%;">472.7</td> <td style="width: 33%;">503.1</td> </tr> </table>	473.5	472.7	503.1
473.5	472.7	503.1		
4. Masse du récipient contenant l'échantillon et l'eau à 25 ± 1°C après 10 ± 1 min de vide; il doit être d'au moins 4 kPa ou 30 mm de mercure pendant 5 à 15 min (en g).	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">630.77</td> <td style="width: 33%;">630.11</td> <td style="width: 33%;">660.54</td> </tr> </table>	630.77	630.11	660.54
630.77	630.11	660.54		
5. Masse de l'échantillon (en g). = 2 - 1.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">250.0</td> <td style="width: 33%;">250.0</td> <td style="width: 33%;">250.0</td> </tr> </table>	250.0	250.0	250.0
250.0	250.0	250.0		
6. Masse de l'échantillon + récipient + eau qui remplit toute la fiole (en g) = 3 + 5.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">723.5</td> <td style="width: 33%;">722.7</td> <td style="width: 33%;">753.1</td> </tr> </table>	723.5	722.7	753.1
723.5	722.7	753.1		
7. Masse de l'eau dont le volume est égal à celui de l'échantillon = 6 - 4.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">92.73</td> <td style="width: 33%;">92.59</td> <td style="width: 33%;">92.56</td> </tr> </table>	92.73	92.59	92.56
92.73	92.59	92.56		
8. Densité relative maximale théorique = 5 ÷ 7.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">2.696</td> <td style="width: 33%;">2.700</td> <td style="width: 33%;">2.701</td> </tr> </table>	2.696	2.700	2.701
2.696	2.700	2.701		
9. Densité relative maximale théorique moyenne = $d_{max}$ .	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td align="center" colspan="3">2.699</td> </tr> </table>	2.699		
2.699				

REMARQUES Mélange Préparé Par E.J.L

Granulométrie des agrégats : 3 - 8

Liant C.B. 150 - 250 , Teneur: 5.06%

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE

LA DENSITE RELATIVE MAXIMALE THEORIQUE

( norme ASTM D 2041 )

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Jun 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

Méthode B : Méthode de la fiole jaugée

Type de récipient utilisé: B ou C. No de la granulométrie du mélange. Dimension de la plus grosse particule d'agrégat. Masse minimale de l'échantillon en g. Éprouvette no.	<b>B</b>			
	-			
	16 mm			
	-			
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 33%;">1</th> <th style="width: 33%;">2</th> <th style="width: 33%;">3</th> </tr> </table>	1	2	3
1	2	3		
1. Masse du récipient vide (en g).	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">166.9</td> <td style="width: 33%;">165.1</td> <td style="width: 33%;">203.4</td> </tr> </table>	166.9	165.1	203.4
166.9	165.1	203.4		
2. Masse du récipient + l'échantillon (en g).	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">416.9</td> <td style="width: 33%;">415.1</td> <td style="width: 33%;">453.4</td> </tr> </table>	416.9	415.1	453.4
416.9	415.1	453.4		
3. Masse du récipient complètement rempli d'eau à 25 ± 0,5°C (en g).	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">473.5</td> <td style="width: 33%;">472.7</td> <td style="width: 33%;">503.1</td> </tr> </table>	473.5	472.7	503.1
473.5	472.7	503.1		
4. Masse du récipient contenant l'échantillon et l'eau à 25 ± 1°C après 10 ± 1 min de vide; il doit être d'au moins 4 kPa ou 30 mm de mercure pendant 5 à 15 min (en g).	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">630.94</td> <td style="width: 33%;">630.24</td> <td style="width: 33%;">660.58</td> </tr> </table>	630.94	630.24	660.58
630.94	630.24	660.58		
5. Masse de l'échantillon (en g). = 2 - 1.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">250.0</td> <td style="width: 33%;">250.0</td> <td style="width: 33%;">250.0</td> </tr> </table>	250.0	250.0	250.0
250.0	250.0	250.0		
6. Masse de l'échantillon + récipient + eau qui remplit toute la fiole (en g) = 3 + 5.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">723.5</td> <td style="width: 33%;">722.7</td> <td style="width: 33%;">753.1</td> </tr> </table>	723.5	722.7	753.1
723.5	722.7	753.1		
7. Masse de l'eau dont le volume est égal à celui de l'échantillon = 6 - 4.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">92.56</td> <td style="width: 33%;">92.46</td> <td style="width: 33%;">92.52</td> </tr> </table>	92.56	92.46	92.52
92.56	92.46	92.52		
8. Densité relative maximale théorique = 5 ÷ 7.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">2.701</td> <td style="width: 33%;">2.704</td> <td style="width: 33%;">2.702</td> </tr> </table>	2.701	2.704	2.702
2.701	2.704	2.702		
9. Densité relative maximale théorique moyenne = $d_{max}$ .	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td align="center" colspan="3">2.702</td> </tr> </table>	2.702		
2.702				

REMARQUES Mélange Préparé Par E.J.L

Granulométrie des agrégats: 8-16

Liant: C.B. 150-250, Teneur: 4.21%

L'EXTRACTION QUANTITATIVE DU BITUME

des mélanges bitumineux de pavage

( norme ASTM D 2172 )

EQUIPE N° : \_\_\_\_\_ DATE : Jun 1992  
 NOMS : Abdoulaye KEITA

MÉTHODE A

Mélange E.J.L : 3-8

	1236.40
1. Masse du bassin vide en g.	
2. Masse du bassin et de l'échantillon du mélange de béton bitumineux en g.	1362.13
3. Masse du papier filtre sec avant l'essai en g (voir paragraphe 8.3).	13.97
4. Masse du papier filtre sec à la fin de l'essai (voir paragraphe 8.5).	14.40
5. Masse du bassin et des agrégats après séchage à l'étuve.	1355.13
6. Volume total du liquide provenant de l'extraction (voir paragraphe 9).	250
7. Masse du premier tube vide de centrifugeur.	199.87
8. Masse du deuxième tube vide de centrifugeur.	224.69
9. Masse du premier tube de centrifugeur et de la cendre sèche.	199.95
10. Masse du deuxième tube de centrifugeur et de la cendre sèche.	224.78
11. Masse totale du mélange de béton bitumineux: $M_m = 2 - 1$	125.73
12. Masse des agrégats dans le bassin après séchage à l'étuve $= 5 - 1.$	118.73
13. Masse des agrégats secs sur le papier filtre $= 4 - 3.$	0.43
14. Masse totale des agrégats dans l'échantillon (dans le bassin et sur le filtre): $M_a = 12 + 13.$	119.16
15. Masse de l'eau dans l'échantillon, s'il y a lieu: $M_e$ .	0
16. Masse de la cendre dans le premier tube de centrifugeur $= 9 - 7.$	0.08
17. Masse de la cendre dans le deuxième tube de centrifugeur $= 10 - 8.$	0.09
18. Masse de la cendre dans les deux tubes de centrifugeur (dans 200 ml) $= 16 + 17.$	0.17
19. Masse totale de la cendre dans tout le liquide provenant de l'extraction: $M_c = 18 \times 6/200 \text{ ml}.$	0.21
20. Masse totale du bitume dans l'échantillon: $M_b = M_m - M_a - M_e - M_c = 11 - 14 - 15 - 19.$	6.36
21. Teneur en bitume en pourcentage de la masse totale du mélange: $b\% = (M_b/M_m) \times 100 = (20/11) \times 100.$	5.06

**ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES - LABORATOIRE DE VOIRIE**  
**L'EXTRACTION QUANTITATIVE DU BITUME**  
**des mélanges bitumineux de pavage**

( norme ASTM D 2172 )

EQUIPE N° : \_\_\_\_\_ DATE : Jun 1992 \_\_\_\_\_

NOMS : Abdoulaye KEITA \_\_\_\_\_

**MÉTHODE A**

Mélange E.J.L. : 8-16

1. Masse du bassin vide en g.	1236.40
2. Masse du bassin et de l'échantillon du mélange de béton bitumineux en g.	1500.43
3. Masse du papier filtre sec avant l'essai en g (voir paragraphe 8.3).	13.97
4. Masse du papier filtre sec à la fin de l'essai (voir paragraphe 8.5).	15.30
5. Masse du bassin et des agrégats après séchage à l'étuve.	1487.18
6. Volume total du liquide provenant de l'extraction (voir paragraphe 9).	250.0
7. Masse du premier tube vide de centrifugeur.	199.95
8. Masse du deuxième tube vide de centrifugeur.	224.69
9. Masse du premier tube de centrifugeur et de la cendre sèche.	200.26
10. Masse du deuxième tube de centrifugeur et de la cendre sèche.	225.02
11. Masse totale du mélange de béton bitumineux: $M_m = 2 - 1$	264.03
12. Masse des agrégats dans le bassin après séchage à l'étuve $= 5 - 1.$	250.78
13. Masse des agrégats secs sur le papier filtre $= 4 - 3.$	1.33
14. Masse totale des agrégats dans l'échantillon (dans le bassin et sur le filtre): $M_a = 12 + 13.$	252.11
15. Masse de l'eau dans l'échantillon, s'il y a lieu: $M_e$	0
16. Masse de la cendre dans le premier tube de centrifugeur $= 9 - 7.$	0.31
17. Masse de la cendre dans le deuxième tube de centrifugeur $= 10 - 8.$	0.33
18. Masse de la cendre dans les deux tubes de centrifugeur (dans 200 ml) $= 16 + 17.$	0.64
19. Masse totale de la cendre dans tout le liquide provenant de l'extraction: $M_c = 18 \times 6/200 \text{ ml}.$	0.80
20. Masse totale du bitume dans l'échantillon: $M_b = M_m - M_a - M_e - M_c = 11 - 14 - 15 - 19.$	11.12
21. Teneur en bitume en pourcentage de la masse totale du mélange: $b\% = (M_b/M_m) \times 100 = (20/11) \times 100.$	4.21

LESSAI MARSHALL - STABILITE ET FLUAGE

( norme ASTM D 1559 )

Deuxième partie : l'essai et les résultats

EQUIPE N° : _____	DATE : <u>Jun 1992</u>
NOMS : <u>Abdoulaye KEITA</u>	

1. Type d'échantillon utilisé: préparé en laboratoire ou coupé d'un pavage. 2. Type de mélange et n° de la granulométrie. 3. Teneur en bitume en pourcentage de la masse du mélange. 4. Nombre de fois que la truelle a été enfoncée autour du périmètre (il doit être de 15). 5. Nombre de fois que la truelle a été enfoncée à l'intérieur (il doit être de 10). 6. Nombre de coups de compactage par face. 7. Température du bain d'eau (normalement $60 \pm 1^\circ\text{C}$ ( $140 \pm 1,8^\circ\text{F}$ )). 8. Durée d'immersion des éprouvettes dans le bain d'eau (30 à 40 min). 9. Stabilité minimale exigée en N. 10. Fluage exigé en unités de 0,25 mm ou en mm. 11. Temps écoulé depuis l'enlèvement de l'éprouvette du bain d'eau jusqu'à la rupture (max 30 s). 12. Facteur de calibrage en N pour chaque unité de 0,0025 mm.	Echantillon Préparé en Laboratoire		
	-		
	4.21%		
	15		
	10		
	50		
	-		
	-		
	-		
	-		
	-		
	45.55		
	13. Éprouvette n°.	1	2
14. Lecture du cadran micrométrique du dynamomètre en unités de 0,0025 mm.	27		
15. Stabilité mesurée en N: 12 x 14.	1230		
16. Volume des éprouvettes en cm <sup>3</sup> ou Hauteur des éprouvettes en mm.	3079 38		
17. Facteur de correction (voir tableau).	2.78		
18. Stabilité corrigée en N: 15 x 17.	3419		
19. Indice de fluage en unités de 0,25 mm ou en mm.	7		
20. Stabilité moyenne corrigée en N.	3419		
21. Fluage moyen en unités de 0,25 mm ou en mm.	7		
22. Conformité: Stabilité	-		
Fluage	-		

1 lb-force 4,448 222 N.  
 1 kg-force 9,806 65 N.

REMARQUES: \_\_\_\_\_

## Granulométrie 3/8: mélanges préparés à l'E.P.T.

### Compilation des résultats du dosage

Teneur en liant en % de la masse globale	4	5	6
Pourcentage des agrégats (x)	96	95	94
Densité relative brute du mélange (dm)	2.235	2.535	2.182
Densité relative moyenne des agrégats (da)	2.891	2.891	2.891
Densité relative maximale théorique (dmax)	2.427	2.696	2.31
Masse volumique en Kg/m <sup>3</sup>	2235	2535	2182
Vv% = $(1 - dm/dmax)*100$	7.9	5.9	5.5
VDA% = $100 - x*dm/da$	25.8	16.7	29
Degré de compactage = $(dm/dmax)*100$ %	92.1	94	94.4

## Granulométrie 8/16: mélanges préparés à l'E.P.T.

### Compilation des résultats du dosage

Teneur en liant en % de la masse globale	5	6	6.5
Pourcentage des agrégats (x)	95	94	93.5
Densité relative brute du mélange (dm)	2.541	2.532	2.485
Densité relative moyenne des agrégats (da)	2.891	2.891	2.891
Densité relative maximale théorique (dmax)	2.698	2.624	2.596
Masse volumique en Kg/m <sup>3</sup>	2541	2532	2485
Vv% = $(1 - dm/dmax) * 100$	5.8	3.5	4.3
VDA% = $100 - x * dm/da$	16.5	17.7	19.6
Degré de compactage = $(dm/dmax) * 100$ %	94.2	96.5	97.5

## Compilation des résultats du dosage \_ Mélanges de E.J.L

Granulométrie	3/8	8/16
Teneur en liant en % de la masse globale	5.06	4.21
Pourcentage des agrégats (x)	95	94.5
Densité relative brute du mélange (dm)	2.531	2.563
Densité relative moyenne des agrégats (da)	2.891	2.891
Densité relative maximale théorique (dmax)	2.699	2.702
Masse volumique en Kg/m <sup>3</sup>	2531	2563
Vv% = $(1 - dm/dmax)*100$	9.9	5.1
VDA% = $100 - x*dm/da$	16.8	16.22
Degré de compactage = $(dm/dmax)*100$ %	93.8	94.8