

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Civil

# Sable Emulsion Etude Et Formulation

Proposé et dirigé par:

Mme KETTAB

Étudié par :

BABA-ALI Abdelhalim  
BOUKEMIDJA Amine

Année universitaire 2001/2002

استعمال الرمال في تقنية الطرقات هو الحل الأنسب في المناطق الفقيرة من حيث الصخور الصلبة و الغنية برمال الكثبان.

تأتي هذه الدراسة ضمن إطار تثمين المواد المحلية و تفعيل استعمالها.

نتطرق من خلال التجارب المخبرية إلى دراسة سلوك الرمال المستحلبة و مقارنتها بالرمال المزفتة.

---

## Résumé :

L'emploi des sables en technique routière est une éventualité intéressante dans les régions dépourvues des roches dures et disposant d'une quantité importante de sable de dune.

Cette étude intervient dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux et leur développement en vu de répondre aux exigences techniques.

Nous présenterons les résultats que nous avons obtenus dans l'étude expérimentale sur le comportement des sables émulsion et nous les comparons aux sables bitumes.

---

## Abstract :

The use of sands in road engineering is an interesting eventuality in the areas deprived of stones hard and having a quantity significant of sand of dune.

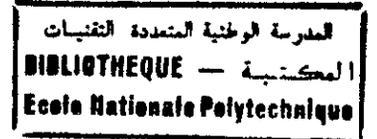
This study intervenes within the framework of the valorization of local materials and their development in considering agreement with the technical requirements.

We will present the results that we obtained in the experimental study on the behaviour of sands emulsion and we compare them with sands asphalt.

---

**Mots clés :** Sables traités, Emulsion, Sable d'ajout, Bitume, Formulation, Stabilité, Compacité.

## Remerciements

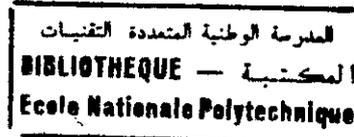


Nous tenons à remercier toute personne ayant contribué à notre formation de près ou de loin, en particulier notre promotrice **Mme KETTAB**.

On remercie également tout le personnel du **SONATRO**, du **LCTP** et du **CTTP**, en particulier **M.BEDRICI**, **M.BOUKERROU** et **Mme MEDDAD**.

Nous ne manquerons pas d'exprimer aussi toute notre gratitude et reconnaissances à nos amis.

# Table des Matières



Liste des figures	
Listes des tableaux	
Introduction générale	2
<b>Chapitre I</b>	<b>Préliminaires</b>
I.1. Introduction.....	4
I.2. Historique.....	5
I.3. Technique routière saharienne.....	6
I.3.1. Rappel des réalisations.....	6
I.3.2. Données de base et particularité saharienne.....	7
I.3.2.1. Données géographique et économiques.....	7
I.3.2.2. Données techniques.....	8
<b>Chapitre II</b>	<b>Enrobés bitumineux</b>
II.1. Introduction.....	10
II.2. Qualités des enrobés.....	12
II.2.1. La stabilité.....	12
II.2.2. La flexibilité.....	12
II.2.3. L'étanchéité.....	12
II.2.4. L'absence de sensibilité à l'eau.....	12
II.2.5. Résistance aux efforts tangentiels et aux efforts de poinçonnements.....	12
II.2.6. Liaison entre les enrobés et les autres couches.....	13
II.3. Essais sur les enrobés.....	13
II.3.1. Essai Marshall.....	13
II.3.2. Essai triaxial de Smith.....	13

II.3.3. Essai Hubbard-Field.....	13
II.3.4. Essai Duriez.....	13
II.3.5. Essai d'orniérage.....	14
II.3.6. Essai de compactage à la presse giratoire CPG.....	14
II.4. Liants hydrocarbonés.....	16
II.4.1. Introduction.....	16
II.4.2. Définition.....	16
II.4.3. Emploi des différents bitumes.....	16
II.4.4. Propriétés des bitumes et leurs dérivés.....	17
II.4.4.1. Propriétés physiques.....	17
II.4.4.2. Résistance à l'attaque chimique.....	17
II.4.5. Principaux essais de laboratoire pour le contrôle des bitumes.....	18
II.4.5.1. Mesure de la consistance du bitume.....	18
II.4.5.1.1. Essai de point d'éclair (point d'inflammabilité)..	19
II.4.5.1.2. Température de ramollissement.....	19
II.4.5.2. Pénétration des bitumes.....	19
II.4.5.3. Viscosité des bitumes.....	20
II.4.5.4. Essai de poids spécifique.....	21
II.4.5.5. Essai de perte de masse au chauffage.....	24
II.4.5.6. Essai de ductilité.....	22
<hr/>	
<b>Chapitre III</b>	<b>Enrobé à froid</b>
<hr/>	
III.1. Introduction.....	25
III.2. Définition.....	25
III.3. Classification des enrobés à froid.....	26
III.3.1. Classification en fonction de la composition des enrobés.	26

III.3.1.1. Enrobés ouverts à froid (OFD).....	26
III.3.1.2. Enrobés semi-denses à froid (SFD).....	26
III.3.1.3. Enrobés denses à froid (DFD).....	26
III.4. Les enrobés à émulsion.....	27
III.5. Les enrobés à froid au cut-back.....	28
III.6. Domaines d'emploi.....	29
III.7. Avantages et inconvénients des enrobés à froid.....	30
<hr/>	
<b>Chapitre IV</b>	<b>Emulsion de bitume</b>
<hr/>	
IV.1. Généralités.....	33
IV.2. Principaux emplois des émulsions.....	34
IV.3. L'émulsification.....	34
IV.3.1. Choix de la formulation.....	35
IV.3.2. Conditions d'émulsification.....	36
IV.4. Caractéristiques des émulsions.....	36
IV.4.1. Stabilité des émulsion.....	36
IV.4.1.1. Aspect théorique.....	36
IV.4.1.2. Signification de la stabilité.....	37
IV.4.1.2.1. Stabilité au stockage.....	37
IV.4.1.2.2. Stabilité des émulsion vis-à-vis des granulats...	39
IV.4.2. Adhésivité.....	39
IV.4.3. Viscosité.....	41
IV.4.3.1. Méthodes de mesure.....	41
IV.4.3.2. Facteurs influençant la viscosité.....	42
IV.4.3.2.1. La teneur en liant.....	42
IV.4.3.2.2. La granulométrie de l'émulsion.....	42
IV.4.3.2.3. La nature de l'émulsifiant.....	42

IV.5. Caractéristiques physico-chimiques.....	42
IV.5.1. Le pH des émulsions.....	42
IV.5.2. Conductivité des émulsions.....	43
IV.5.3. La granulométrie.....	43

<b>Chapitre V</b>	<b>Sables traités</b>
-------------------	-----------------------

V.1. Généralités.....	45
V.1.1. Différents types de sables.....	45
V.1.1.1. Les sables artificiels.....	45
V.1.1.2. Les sables naturels.....	45
V.1.1.2.1. Sables fluviatiles.....	45
V.1.1.2.2. Sables marins.....	46
V.1.1.2.3. Sables marins littoraux.....	46
V.1.1.2.4. Sables éoliens.....	46
V.2. Caractéristiques des sables pour leur emploi dans la technique routière.....	46
V.2.1. La granulométrie.....	46
V.2.2. La propreté.....	47
V.2.3. L'angularité.....	47
V.2.4. La dureté.....	47
V.2.5. La forme.....	48
V.2.6. L'aspect de surface.....	48
V.3. Traitement des sables.....	48
V.3.1. Traitement des sables aux liants hydrocarbonés.....	49
V.4. Sable bitume en technique routière.....	50
V.4.1. Définition.....	50
V.4.2. Spécifications.....	51

V.4.3. Chaussées réalisées en sable bitumé.....	51
<b>Chapitre VI</b>	<b>Formulation du sable émulsion</b>
VI.1. Introduction.....	54
VI.2. Essais d'identification.....	54
VI.2.1. Sables.....	54
VI.2.1.1. Sable de dune de Hassi-Berkine.....	55
VI.2.1.2. Sable concassé de Haoud El Hamra.....	57
VI.2.1.3. Sable gypseux.....	59
VI.2.2. Emulsion de bitume.....	61
VI.2.2.1. Essais sur l'émulsion.....	61
VI.2.2.2. Classification de l'émulsion.....	61
VI.2.3. Bitume pur 40/50.....	63
VI.2.3.1. Essai sur le bitume 40/50.....	63
VI.3. La formulation.....	63
VI.3.1. Principe de la formulation.....	63
VI.3.1.1. Détermination des compacités.....	65
VI.3.2. Programme de l'expérimentation.....	66
VI.3.2.1. Présentation du travail.....	66
VI.3.2.2. Première série d'essais.....	67
VI.3.2.3. Deuxième série d'essais.....	70
VI.3.2.4. Troisième série d'essais.....	76
VI.3.2.5. Influence du pourcentage en fines.....	82
VI.3.2.6. Comparaison entre l'enrobé à froid et à chaud.....	84
Conclusion.....	89
Annexe	
Bibliographie	

## Liste des figures

N°	Titre	Page
II.1	Classification des enrobés selon leur usage.	10
II.2	Classification des enrobés selon le type des granulats.	11
III.1	Solution pour enrobage à froid.	27
IV.1	Forme moléculaire de l'émulsion.	36
IV.2.a	Mouillage préférentiel par l'eau.	40
IV.2.b	Mouillage préférentiel par le bitume.	40
VI.1	Courbe granulométrique du sable de dune de Hassi-Berkine.	56
VI.2	Courbe granulométrique du sable concassé.	58
VI.3	Courbe granulométrique du sable gypseux.	60
VI.4	Variation de la stabilité H.F en fonction de la teneur en bitume (100% sable de dune).	68
VI.5	Variation de la compacité en fonction de la teneur en bitume (100% sable de dune).	68
VI.6	Variation de la stabilité H.F en fonction de la teneur en sable concassé.	71
VI.7	Variation de la compacité en fonction de la teneur en sable concassé.	71
VI.8	Variation de la stabilité H.F en fonction de la teneur en sable gypseux.	74
VI.9	Variation de la compacité en fonction de la teneur sable gypseux.	74
VI.10	Variation de la stabilité H.F en fonction de la teneur sable concassé (à chaud).	77
VI.11	Variation de la compacité en fonction de la teneur sable concassé (à chaud)	77
VI.12	Variation de la stabilité H.F en fonction de la teneur sable gypseux (à chaud).	80
VI.13	Variation de la compacité en fonction de la teneur sable gypseux (à chaud).	80
VI.14	Influence de la teneur en fines sur la stabilité H.F à 18°C pour un enrobé à froid.	82
VI.15	Influence de la teneur en fines sur la stabilité H.F à 60°C pour un enrobé à froid.	82
VI.16	Comparaison entre les stabilités H.F d'un enrobé à froid et un enrobé à chaud à 18°C pour différents pourcentages de sable concassé.	84
VI.17	Comparaison entre les stabilités H.F d'un enrobé à froid et un enrobé à chaud à 60°C pour différents pourcentages de sable concassé.	84
VI.18	Comparaison entre les stabilités H.F d'un enrobé à froid et un enrobé à chaud à 18°C pour différents pourcentages de sable gypseux.	85
VI.19	Comparaison entre les stabilités H.F d'un enrobé à froid et un enrobé à chaud à 60°C pour différents pourcentages de sable gypseux.	85
VI.20	Comparaison entre les compacités d'un enrobé à froid et un enrobé à chaud pour différents pourcentages de sable concassé.	86
VI.21	Comparaison entre les compacités d'un enrobé à froid et un enrobé à chaud pour différents pourcentages de sable gypseux.	86

## Liste des tableaux

N°	Titre	Page
III.1	Dosage en liant optimal selon la granulométrie du matériau.	27
IV.1	Densité de bitume pour différents degrés de température.	38
V.1	Spécifications pour les sables bitumes.	51
VI.1	Analyse chimique sommaire du sable de dune de Hassi-Berkine.	55
VI.2	Analyse chimique sommaire du sable concassé.	57
VI.3	Analyse chimique sommaire du sable gypseux.	59
VI.4	Caractéristiques de l'émulsion.	61
VI.5	Emulsion cationique.	62
VI.6	Caractéristiques du bitume pur 40/50.	63
VI.7	Résultats des essais H.F obtenus avec le sable de dune de Hassi-Berkin.	67
VI.8	Résultats des essais H.F obtenus avec le mélange (sable de dune+sable concassé) pour un enrobé à froid.	70
VI.9	Résultats des essais H.F obtenus avec le mélange (sable de dune+sable gypseux) pour un enrobé à froid.	73
VI.10	Résultats des essais H.F obtenus avec le mélange (sable de dune+sable concassé) pour un enrobé à chaud.	76
VI.11	Résultats des essais H.F obtenus avec le mélange (sable de dune+sable gypseux) pour un enrobé à chaud.	79

# **Introduction générale**

## Introduction générale

En technique routière, le choix de la structure des chaussées se fait à partir de deux critères principaux : la circulation et le type du sol de fondation. L'épaisseur de cette structure, qui peut atteindre un mètre selon les matériaux et les techniques employées, donne une idée des quantités énormes des matériaux utilisés dans l'industrie routière.

Jusqu'à nos jours, les matériaux constituant le corps des chaussées ont été limitées à certains matériaux dits nobles (graves, roches concassées ...), tandis que les sables étaient toujours considérés comme des matériaux secondaires et de caractéristiques médiocres.

Pour des raisons diverses, notamment économiques, la tendance actuelle est d'adapter la technique routière à l'emploi des matériaux locaux, tel que les sables, et d'orienter ainsi la recherche vers l'utilisation de ces matériaux.

Il y a plusieurs raisons qui font que l'utilisation des sables en technique routière est indispensable dont :

- ❖ Les immenses gisements qui se trouvent en de nombreuses régions où les autres matériaux sont rares ;
- ❖ Plusieurs régions sont pauvres en matériaux doués de caractéristiques qui répondent aux exigences de la technique routière actuelle, ce qui nécessite le transport des matériaux satisfaisants. En effet le transport des granulats pose un double problème, le coût de transport de grandes quantités des granulats et la dégradation du réseau routier crée par cet effet ;
- ❖ Les gisements des matériaux dits nobles sont rares et s'épuisent de plus en plus ;
- ❖ Les sollicitations modérées de la circulation exigent une modification de la structure classique des chaussées ;
- ❖ L'insensibilité à l'eau pour les sables propres, et l'imperméabilité qui en fait un matériau drainant.

C'est dans ce volet que s'inscrit notre travail, qui consiste à étudier l'utilisation du sable émulsion en technique routière saharienne, et qui est la suite d'une étude générale sur cette technique en vue de l'améliorer et de mettre la lumière sur ce qu'on pourra utiliser dans l'avenir dans les routes au Sahara, en exploitant les ressources en matériaux locaux.

# Chapitre 1

## **Préliminaires**

# I. Préliminaires

## I.1. Introduction

L'évolution du trafic routier et le grand développement qu'a connu l'industrie des véhicules, ont contribué à une grande innovation dans la construction des chaussées, soit en terme de résistance soit en terme d'esthétique.

Ceci a donné naissance à plusieurs recherches dans le but de :

- ❖ Supporter le trafic croissant des véhicules par la réalisation des chaussées ;
- ❖ Renforcer les chaussées déjà conçues et en assurer un entretien permanent ;
- ❖ Améliorer les conditions de réalisation ;
- ❖ Améliorer l'aspect des revêtements ;
- ❖ Optimiser le coût de réalisation.

Ainsi, des recherches portant sur l'emploi des matériaux locaux dans le cas de pénurie.

Les progrès d'exécution des revêtements routiers qu'ont apportés les procédés d'enrobage, a permis aux recherches de s'orienter vers ces procédés en vue de les améliorer et développer à partir des différents liants utilisés, des granulats mis en œuvre, des procédés employés et des matériels édifiés à la demande des chantiers. Ces recherches contribuent aussi à spécifier une technique routière pour chaque milieu et spécialement le Sahara suivant la nature du sous-sol, du climat et des matériaux disponibles.

La construction routière en milieu désertique est devenue un besoin actuel, urgent et de plus en plus important. Les régions désertiques ont été toujours dépourvues à cause de leurs conditions climatiques difficiles et l'absence totale de ressources naturelles en surface. La présence de l'homme est y très faible aussi, ce qui a limité les projets de construction et d'infrastructures de toute sorte.

Les activités qui sont nées au Sahara, du fait de l'exploitation de l'homme et l'industrie pétrolière, sont accompagnées par une forte volonté de sédentarisation des populations. Il est nécessaire par conséquent de développer le réseau routier dans les régions sahariennes.

Cependant, le milieu saharien présente non seulement les conditions les plus défavorables au développement économique et humain, mais aussi des particularités techniques pour la conception et la réalisation des routes, d'où le besoin d'opter pour une technique routière saharienne plus développée.

## I.2. Historique

L'évolution des chaussées s'est faite par induction mutuelle avec celle du véhicule et ceci, compte tenu de l'évolution de l'économie et de la société.

Les tous premiers véhicules utilisant la traction animale, les constructeurs se tournèrent vers des solutions à base de dalles et de pavés. Cette situation dura depuis l'époque des premières voies romaines jusqu'à la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle.

Plus tard, avec l'apparition de véhicules plus lourds et plus nombreux et le début de la mécanisation des travaux, on vit apparaître les structures à base de Hérisson et de macadam. Les assises étaient composées de blocs de 250 mm pour le Hérisson, 40/70 pour le macadam. Dans les années 1900, avec l'évolution du véhicule et du trafic, la lutte contre les dégradations de surface et la poussière furent à l'origine de l'utilisation du goudron puis du bitume.

L'homme étant partout remplacé par la machine, les techniques à base de mise en œuvre manuelle furent remplacées par des techniques adaptées aux moyens mécaniques. C'est ainsi qu'on vit apparaître vers 1940 en corps de chaussée à la place des matériaux à granulométrie serrée continue.

Depuis les années 60, avec les conditions modernes de trafic élevé, lourds et rapide, ces solutions sont avérées encore insuffisantes et, actuellement on assiste à une généralisation des matériaux liés, tant dans le corps de la chaussée, qu'en surface. Il convient de noter que la technique routière devient de plus en plus complexe mettant en œuvre des matériaux et des matériels plus en plus performants.

La construction routière nécessite des quantités énormes de granulats. Le caractère assez restrictif des spécifications routières fait que seules certaines catégories de matériaux sont couramment utilisées : Ce sont essentiellement des alluvions et des matériaux provenant des roches massives. Les sables naturels, formations superficielles extrêmement répandues dans certaines régions, et les sables de concassage ont été trop longtemps considérés comme des matériaux de caractéristiques médiocres et d'importance secondaire en technique routière.

La raréfaction des ressources en granulats dans certaines régions, le renchérissement des transports et la prise en compte des problèmes d'environnement ont incité maîtres d'ouvrages, maîtres d'ouvres, organismes techniques de l'Administration et entreprises à rechercher des remèdes, notamment en faisant appel aux techniques permettant de valoriser les matériaux disponibles localement. Dans ce contexte, il était alors aisé de d'entrevoir l'intérêt tant économique qu'écologique que pourrait présenter la valorisation des sables pour la réalisation des chaussées en sables bitumes dont le sable serait le matériau principal.

### I.3. Technique routière saharienne

#### I.3.1. Rappel des réalisations

La construction des routes au Sahara a commencé, industriellement, dans le courant 1956, c'est à dire à l'époque de la découverte des premiers gisements pétroliers. Jusqu'à cette époque, il n'existait que deux antennes très sommaires, inadaptées au trafic lourd ou rapide, se terminant l'une à Noumérat, à proximité de Ghardaïa, et l'autre à Ouargla. (Elles durent être entièrement reconstruites ultérieurement).

Cette construction démarra sur une très grande échelle, dans le Nord du Sahara, afin de desservir au plus vite les centres pétroliers et les grandes villes du Nord. En trois ans, de fin 1956 à fin 1959, furent construits : Noumerate-El Goléa, Ghardaïa-Ouargla, Ouargla-Fort Lallemand, Ghardaïa-Tilrempt, Stile-Touggourt, Square Bresson, Fort-Lallemand-Hassi Tartrat et, dans la Wilaya de la Saoura, Ain Sefra-Bechar, soit au total environ 1000 km dans la Wilaya des Oasis et 270 dans celle de la Saoura.

De 1960 à 1962, fut achevée la desserte du centre pétrolier d'In-Amenas depuis Hassi Tartrat, soit 530 km, la modernisation de Tilrempt Laghouat et Ouargla-Square Bresson, soit 800 km environ, et en Saoura, la liaison de Bechar à Beni-Abbès, de 270 km. Parallèlement, démarrait la construction de routes secondaires, financées sur les budgets départementaux.

Les années 1963 et 1964 furent un peu plus calmes avec dans les Oasis l'achèvement de Touggourt-El Oued, le revêtement de Square Bresson-Hassi Rhenani, la construction de In-Amenas-Ghadamès et Hassi Messaoud-Rhourde El Baguel (au total 430 km) et en Saoura la continuation de la route en direction d'Adrar, de Beni-Abbès à Sba, sur environ 100 km.

L'année 1965 vit le démarrage de la construction de la route Abadla Tindouf, longue de 700 km, qui fut terminée en 1967, et suivie en 1968 de Sba-Timimoun El Goléa, longue de 450 km. La desserte d'Adrar fut terminée en 1966, de même que dans les Oasis, la route de 100 km reliant In Amenas à El Adeb-Larache.

Il faut ajouter aux chiffres précédents les routes départementales, revêtues en général sur une largeur de 4 m, dont la longueur totale atteint actuellement 450 km dans les Oasis et 100 km dans la Saoura.

On remarque donc que l'activité routière fut prépondérante dans les Oasis jusqu'en 1963, et qu'ensuite, après la période 1964-65, que nous pourrions qualifier de transitoire, cette activité se transféra presque entièrement en Saoura.

### I.3.2. Données de base et particularité saharienne

#### I.3.2.1. Données géographiques et économiques

Ce qui frappe en premier lieu au Sahara, c'est l'énormité des distances : In Amenas, centre de gravité des gisements pétrolifères, du Sud-est saharien, est à 1600 km d'Alger et à 1200 km de la limite Nord du Sahara. A ces distances, il faut ajouter 600 km pour Djanet. L'oasis de Tamanrasset, capitale du Hoggar et haut lieu touristique, est à 2000 km d'Alger et à 1600 km de la limite Nord du Sahara.

Le deuxième point à signaler, favorable pour la tenue des chaussées mais défavorable pour la rentabilité des investissements est la faible intensité du trafic, qui ne dépasse guère 300 véhicules / jour, dont la moitié de poids lourds, sur les tronçons les plus circulés. Ces chiffres font sourire lorsqu'on pense à ceux du Nord de l'Algérie ou d'Europe. Il faut dire que les poids lourds sont réellement très lourds, beaucoup atteignant la limite de 13 T/ essieu, et qu'ils vont à très grande vitesse.

Les liaisons routières représentent donc des investissements très importants, en raison de leur longueur et il est encore plus nécessaire qu'ailleurs de trouver des solutions économiques. On est donc amené à prendre des marges de sécurité plus faibles et à construire des routes au moindre coût.

### I.3.2.2. Données techniques

La première caractéristique du Sahara est la sécheresse, mis à part une bande de 100 km de large environ le long de l'Atlas saharien, la moyenne des précipitations annuelles est inférieure à 50 mm. Elle diminue du Nord vers le sud.

Cette sécheresse est favorable pour la construction des routes car, sauf en quelques rares points tels que chotts ou oasis, les sols ne sont jamais imbibés.

La plupart des sols conservent donc une portance suffisante, ce qui permet de faire jouer aux terrassements le rôle de fondation et est possible d'employer pour les couches de base des matériaux absolument inutilisables en pays tempérés. (En dehors des bas fonds, la teneur en eau des sols est de l'ordre de 1 à 2 %, elle peut atteindre 4 à 10 %, suivant les cas, après une pluie), mais il pleut quelque fois et violemment : Les pentes transversales restent donc nécessaires, car certains revêtements ne sont pas absolument étanches et certaines couches de base ne résisteraient pas à une imbibition, même de courte durée. Les fossés, dans les sections en délais ou en profil mixte, restent nécessaires et utiles, bien qu'ils soient rapidement comblés par le sable éolien et les passages d'oueds, s'ils ne sont pas traités correctement, réservent parfois des surprises désagréables.

La deuxième caractéristique qui vient à l'esprit et qui frappe le visiteur est l'extrême monotonie des paysages, monotonie qui se retrouve en dessous du point de vue géologique. On trouve certes, de l'Atlas au socle cristallin du Hoggar, toute la série des roches sédimentaires habituelles, mais à l'échelle de la dizaine, voir même de la centaine de km, le terrain, sauf exception, varie peu. Il en résulte que d'immenses régions sont dépourvues de matériaux routiers classiques et qu'étant donné l'impossibilité pour des raisons économiques évidentes, d'en faire venir de très loin, on est bien obligé de se contenter de ce que l'on trouve sur place, en essayant de choisir le moins mauvais et de l'utiliser au mieux.

De cette monotonie résulte la forme et le tracé des routes. Le Sahara est constitué de vastes pénéplaines où les caractéristiques géométriques peuvent être, sans augmentation de dépenses, très confortables et la circulation très rapide, séparées par des marches parfois très hautes (jusqu'à 150 m de dénivellation) qui nécessitent des terrassements importants, et souvent une réduction des caractéristiques géométriques, d'où création de points singuliers, de part et d'autre des quels il faut aménager des zones de transition à caractéristiques progressivement croissantes.

# Chapitre 2

## **Enrobés bitumineux**

## II. Enrobés bitumineux

### II.1. Introduction

Un mélange bitumineux, produit par l'association (granulat bitume), et mis en œuvre à chaud, constitue ce qu'on appelle un béton bitumineux.

Si les granulats sont liés entre eux par le bitume (i.e. : le bitume adhère bien entre les granulats), on dira que ces granulats sont enrobés par le bitume, d'où l'appellation d'enrobés bitumineux.

On peut classer les enrobés bitumineux par différentes manières, soit par :

- ❖ Leur compacité : enrobés denses, ouverts, semi-ouverts ...
- ❖ Le type de granulat utilisé : grave bitume, sables bitume, enrobés fins ...
- ❖ Enrobés coulés à chaud ou à froid
- ❖ Liant utilisé : émulsion de bitume, bitume fluidifié ou fluxé, bitume pur.

Il faut noter que chaque type d'enrobé employé dépend de la couche dont il va être répandu ou bien de la qualité que l'on exige de la chaussée ; ceci peut être abrégé comme suit :

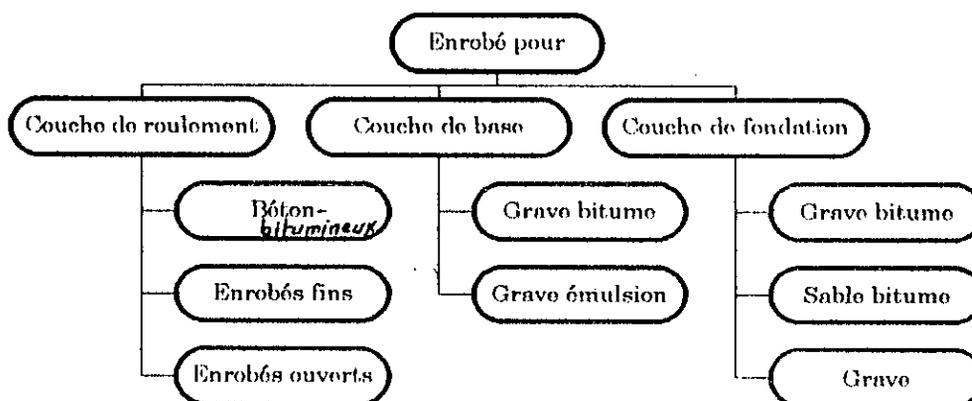


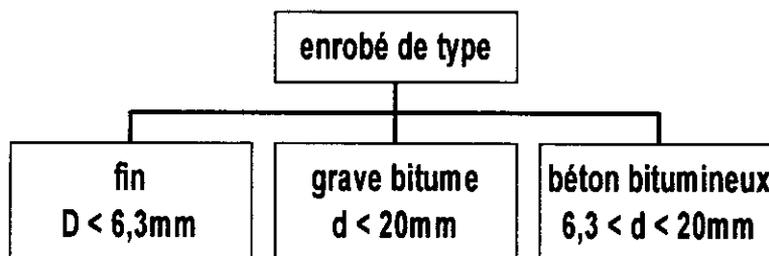
Figure II.1 : Classification des enrobés selon leur usage.

On peut aussi les classer suivant leurs compacités :

Enrobés denses (jusqu'à 8 % de vide), semi-denses (8 à 12 %), ouverts (plus de 12%)

On distingue les enrobés à froid et les enrobés à chaud selon que le granulat passe ou non dans un tambour sécheur qui le déshydrate (Cette distinction ne préjuge pas de chauffage du liant).

Autres types de classification :



FigureII.2 : Classification des enrobés selon le type de granulat.

Quelle que soit la couche considérée (de roulement, de base ou de fondation), et quel que soit l'enrobé employé, le problème posé reste sensiblement le même. Il faut mettre en œuvre un matériau enrobé en assurant un reprofilage de la couche de dessous (ou de support brut de terrassement), tout en assurant l'homogénéité du produit moyennant un compactage étudié, car tout erreur et tout défaut de mise en place demeurent visibles et définitifs.

Les avantages qu'offrent les enrobés sont nombreux. Grâce à son épaisseur, l'enrobé concourt très efficacement à la structure de la chaussée car, l'épaisseur répandue est fonction du calibre maximal du granulat, elle peut tout de même varier d'une façon importante.

Il y a lieu à noter qu'on peut avoir des fissurations pour les enrobés à chaud dans les zones de déflexion sur la route, mais l'emploi des enrobés à froid remédie à cet inconvénient et donne des résultats satisfaisants, ceci par l'ouvrabilité et la maniabilité qu'il présente.

Au moment du répandage, les risques dus au climat sont bien moindres contrairement aux enduits superficiels, il n'y a aucun rejet dû à la circulation durant les premières heures qui font suite à la mise en œuvre. Ajoutons aussi que le bruit parfois gênant qui se manifeste lors du roulement des véhicules sur les enduits à gros éléments est beaucoup plus faible sur les enrobés.

## II.2. Qualités des enrobés

Les qualités que doivent posséder un enrobé sont :

### II.2.1. La stabilité

C'est la résistance permanente de la couche elle-même sous les charges dynamiques et sous les charges statiques appliquées pour une longue durée. Une insuffisance de stabilité peut se traduire par un fluage, avec formation de dépression (creux), d'ornièrre (traces des roues) et d'ondulations. La stabilité croît en augmentant l'angle de frottement interne des matériaux et la dureté du liant utilisé, c'est à dire en choisissant une granulométrie convenable avec un liant approprié, et pour assurer la stabilité dans les chaussées à trafic lourd, on emploie des bétons bitumineux à base de bitumes durs (40-50), et de granulats durs et anguleux. L'essai de traction montre une résistance décroissante quand la température s'élève et quand la déformation est moins rapide.

### II.2.2. La flexibilité

C'est s'opposer sans se fissurer aux déformations dues aux déflexions des couches inférieures. La flexibilité dépend de la ductilité du liant qui doit rester bonne aux basses températures, donc pour obtenir un enrobé à la fois flexible et stable, il faut utiliser un liant qui reste visqueux en été sans devenir fragile en hiver et qui résiste bien au vieillissement.

### II.2.3. L'étanchéité

Les enrobés doivent assurer l'imperméabilité de la chaussée vis à vis de l'eau, qui est une caractéristique essentielle du bitume. Donc pour assurer l'étanchéité il faut bien enrober les granulats (comme le cas des enrobés ouverts).

### II.2.4. L'absence de sensibilité à l'eau

L'humidité ou bien l'eau ne doit pas pouvoir désenrober les granulats, ce qui exige une bonne adhérence liants-granulats. Notons que le désenrobage peut se produire par cassure des grains ou vieillissement de liant.

### II.2.5. Résistance aux efforts tangentiels et aux efforts de poinçonnements

Pour remplir cette qualité, il faut utiliser des granulats à faible pourcentage de sable et à fort pourcentage de gravillons durs et anguleux, ceci avec un bitume dur.

## II.2.6. Liaison entre les enrobés et les autres couches

Cette liaison doit être parfaitement assurée en vue d'empêcher les décollements.

## II.3. Essais sur les enrobés[7]

### II.3.1. Essai Marshall

C'est un essai de compression simple exercé suivant la génératrice d'une éprouvette cylindrique semi-frettée. Cette compression est appliquée une demi-heure après immersion dans l'eau à 60 °C à une vitesse de 0,86 mm/sec.

### II.3.2. Essai triaxial de Smith

Il s'effectue sur des éprouvettes compactées à la presse à 176kg/cm<sup>2</sup>, l'éprouvette est de hauteur 20,3 cm et de diamètre 9,7 cm. Dans une cellule triaxiale, on impose des charges axiales croissantes par palier de 700kg/cm<sup>2</sup> à 10kg/cm<sup>2</sup> et on note la pression radiale transmise. De la courbe des pressions radiales en fonction des pressions axiales, on peut déduire l'angle de frottement et la cohésion de l'enrobé.

### II.3.3. Essai Hubbard-Field

Le but de l'essai est de déterminer la stabilité Hubbard-Field, il consiste à mesurer l'effort maximum s'exerçant sur une éprouvette placée sur un appui cylindrique creux d'un diamètre intérieur légèrement inférieur au diamètre extérieur de l'éprouvette. L'essai s'effectue à 60°C aux Etats-unis, et à 18°C en France en écrasant l'éprouvette avant et après 7 jours dans l'eau. La charge est appliquée à la face supérieure de l'éprouvette à une vitesse de 1 mm/sec, de l'effort maximum durant l'extrusion de l'éprouvette on peut définir la stabilité Hubbard-Field.

### II.3.4. Essai Duriez

Le but de l'essai Duriez est de caractériser les qualités de résistances mécaniques et de résistance au désenrobage par l'eau, dans le cas de matériau enrobés classiques, les résultats de l'essai Duriez suffisent à eux de caractériser convenablement la qualité du matériau, dans d'autres cas, on pourra avoir avantage à les compléter par les résultats d'autres essais (Essai Hubbard-Field pour les matériaux fins, et l'essai Marshall pour les matériaux à base de granulats ronds ou très anguleux).

L'essai Duriez diffère de l'essai Marshall dans la température de l'essai qui est de 18°C au lieu de 60°C, il lui diffère aussi dans le mode d'application de la charge qui est axial alors qu'il était radial pour l'essai Marshall.

### II.3.5. Essai d'orniérage

C'est un essai nouveau qui sert à l'étude des nouvelles formulations, il éclaire les lumières sur :

- ❖ La nature du liant (dureté, susceptibilité ...)
- ❖ L'angularité des granulats ;
- ❖ Le rapport fillers / bitume.

### II.3.6. Essai de compactage à la presse giratoire CPG

Tout d'abord, elle fut conçue pour réaliser des éprouvettes d'échantillons homogènes, mais elle peut donner des informations sur la mise en place de l'enrobé. L'appareil soumis le matériau aux effets simultanés d'une force de compression statique et pétrissage par cisaillement qui oriente les grains du squelette minéral. Ce processus permet d'obtenir des compacités très élevées avec une attrition minimale.

Les essais exposés ci-dessus se rapportent à trois caractéristiques du revêtement :

Sa stabilité mécanique, sa compacité et son insensibilité à l'eau :

- ❖ La stabilité mécanique est liée :
  - A la forme et à la nature des grains ;
  - Au dosage en fillers et en liant ;
  - A la nature du liant.

Et elle dépend aussi de la température à laquelle s'effectue l'essai et de la vitesse avec laquelle est imposée soit la charge soit la déformation, notons aussi que les seuls facteurs importants sont le squelette minéral, le dosage en filler, le dosage en liant et la pénétration du liant (sa viscosité). La courbe intrinsèque déduite de cet essai nous permet d'évaluer la cohésion de l'enrobé et son angle de frottement interne qui sont des paramètres qui ne reflètent pas le comportement réel sous trafic, mais il est important de les connaître dans l'étude de la stabilité des revêtements (surtout pour des revêtements inclinés, effet du fluage) ;

- ❖ La compacité est liée à la granulométrie du squelette minéral, si la courbe granulométrique du mélange est convenable, il restera peu de vides à remplir avec le filler et/ou le liant. Mais la compacité est également liée au compactage et à la forme des grains : deux mélanges identiques compactés différemment auront des pourcentages de vides différents, d'autre part, deux mélanges ayant la même courbe granulométrique mais l'un étant constitué de matériaux très durs et entièrement concassés, et l'autre de granulats plus tendres et comportant une proportion de grains ronds, auront sous le même compactage des compacités différentes. Donc on partira de fuseaux granulométriques qui permettent d'essayer au laboratoire des mélanges de granulats qu'on envisage d'utiliser afin d'obtenir une courbe de mélange à l'intérieur du fuseau. L'intérêt d'avoir un mélange sec compact est qu'il permet de réduire la consommation en filler, en liant et en matériaux onéreux pour remplir les vides. A noter qu'une courbe granulométrique donnant un mélange sec compact, va donner un enrobé plus stable ;
- ❖ La tenue à l'eau est influencée par deux facteurs essentiels :
  - L'adhésivité du liant au granulat ;
  - L'absence de tout élément argileux susceptible de gonfler en présence d'eau.

Cette stabilité à l'eau est étudiée en comparant les résistances mécaniques d'échantillons d'enrobés soit immédiatement après moulage, soit après une immersion plus ou moins prolongée. Le rapport des résistances après et avant immersion est une bonne mesure de sensibilité de l'enrobé à l'eau.

Lorsqu'on constate une chute de stabilité après immersion, il faut savoir la cause, donc si la valeur de l'équivalent sable est supérieure à 80 il est à peu près certain que l'adhésivité est seule en cause, si elle est inférieure à 40 il est probable que les fines du mélange sont nocives. On peut remédier à ça, soit par ajout de la chaux au filler, soit par ajout d'adhésivité au liant.

## II.4. Liants hydrocarbonés

### II.4.1. Introduction

Les liants hydrocarbonés qui diffèrent des liants hydrauliques, sont des liquides fortement visqueux qui peuvent se présenter aussi sous forme de solides demi-mous.

On distingue deux grandes classes de liants hydrocarbonés :

- ❖ Les goudrons et brais de houille ;
- ❖ Les bitumes naturels et brais de pétrole.

Les goudrons de houille proviennent de la distillation, en vase clos et en atmosphère non oxydante, de diverses variétés de charbon notamment des charbons gras. Les brais de houille sont le résidu résineux des goudrons soumis à la distillation.

Aux brais de houille correspondent les brais de pétrole et les bitumes naturels. Les liants hydrocarbonés, normalement utilisés sur les routes, sont les goudrons et les bitumes.

Nous nous intéressons en particulier aux bitumes.

### II.4.2. Définition

Le bitume est la fraction la plus anciennement connue et utilisée du pétrole. Le bitume est dérivé des mots latins PIXTUMEN ou GUITUMEN qui signifient produits qui ont un rapport à la poix ou qui donnent cette dernière sous forme de gouttelettes.

Le bitume est un liquide visqueux ou bien un solide. Il est essentiellement constitué d'hydrocarbures et de leurs dérivés solubles dans le sulfure de carbone. La présence d'atomes tel que l'oxygène, l'azote et le soufre ainsi que de certains métaux (soit sous forme d'hétéroatomes soit sous forme de groupements polaires) indique l'existence de structures condensées très complexes.

### II.4.3. Emploi des différents bitumes

Selon leurs caractéristiques physiques et leurs compositions, les bitumes sont répartis en quatre catégories ayant chacune plusieurs qualités. Les bitumes routiers proprement dit, composent la première de ses catégories et sont répartis en cinq qualités en fonction de leur pénétration :

Bitume 180/220 ; Bitume 80/100 ; Bitume 60/70 ; Bitume 40/50 ; Bitume 20/30.

Les bitumes 180/220 sont utilisés pour la confection des émulsions et des enrobés fins, outre leur emploi en répandage superficiel. Ils ne sont utilisés qu'exceptionnellement pour la confection d'enrobés denses, lorsqu'il s'agit d'obtenir des revêtements particulièrement souples sur des sols très déformables.

Les bitumes 80/100 et 60/70 sont destinés à la confection des enrobés denses et des bétons.

Les bitumes 40/50 et 60/70 sont des bitumes durs qui peuvent avoir les mêmes emplois que les précédents, mais sous les climats chauds. A signaler toute fois la tendance actuelle à utiliser des bitumes 40/50 pour la confection d'enrobés particulièrement soignés destinés aux renforcements des chaussées.

#### II.4.4. Propriétés des bitumes et leurs dérivés

##### II.4.4.1. Propriétés physiques

Les bitumes de pétrole sont de véritables matières thermoplastiques. Sous l'influence de la chaleur, ils se ramollissent, se liquéfient et deviennent suffisamment fluides pour être mis en œuvre. Ils reprennent leurs caractéristiques originales dès qu'ils se refroidissent.

Les bitumes sont des liants dont le pouvoir collant est grand et leur adhésivité à la plupart des matériaux (pierres, bois, métal, verre...) est excellente. Ils sont insolubles dans l'eau et ne sont pas toxiques. Leur perméabilité à l'eau et à la vapeur d'eau est pratiquement nulle.

L'étanchéité est donc l'une des qualités principales des bitumes, ils sont de bons isolants thermiques et leur résistance au vieillissement est très bonne.

##### II.4.4.2. Résistance à l'attaque chimique

L'expérience a montré que les structures bitumineuses ne sont pas affectées par les solutions chimiques aux concentrations rencontrées dans les sols et les eaux souterraines. Chimiquement, les bitumes sont très peu réactifs. A température ordinaire, ils n'attaquent pas les corps avec les quels ils sont mis en contact et ils sont solubles dans de nombreux solvants organiques.

### II.4.5. Principaux essais de laboratoire pour le contrôle des bitumes

Le bitume chaud est un fluide qui adhère aux autres matériaux et qui peut être ainsi appliqué sur d'autres substances, ou leur être mélangé. Après refroidissement à la température ambiante, il devient presque solide mais flexible. Aux très basses températures, il devient dur et fragile, ce qui limite son emploi.

On prépare de grandes quantités de bitumes dont les propriétés mécaniques variées doivent répondre aux spécifications routières et industrielles.

Pour caractériser ces qualités et pour vérifier si un bitume donné répond aux spécifications d'une certaine qualité, différentes méthodes d'essai ont été mises au point. Au début, elles ne visaient qu'à mesurer une propriété mécanique arbitraire permettant de sélectionner les bitumes :

- ❖ Le point de FRASS, dans le domaine fragile ;
- ❖ La pénétration, dans le domaine quasi-solide ;
- ❖ La température de ramollissement Bille et Anneau, au début du domaine fluide.

#### II.4.5.1. Mesure de la consistance du bitume

Le bitume est :

- ❖ Un solide dur, fragile et cassant à basses températures et à faible temps de charge. On est alors dans la zone dite élastique où le bitume est, pour la plupart de ses applications, trop fragile pour résister sans se casser aux sollicitations mécaniques.
- ❖ Un liquide fluide à haute température et à temps de chargement, on est donc dans la zone fluide. Elle correspond aux températures de mise en œuvre, c'est à dire à la fabrication, à la mise en place et au compactage des enrobés.
- ❖ Ni franchement liquide ni franchement solide, pour des températures et des temps de charge moyens. On est alors dans la zone viscoélastique qui correspond aux températures de services des enrobes sur la chaussée.

Les zones extrêmes nous intéressent peu sur le plan pratique, car il n'est pas souhaitable pour un enrobé de subir ni des températures assez basses pour se trouver dans la zone fragile ni des températures assez élevées pour être dans la zone fluide de son liant.

On s'efforcera donc, d'une part, de définir les limites des zones de comportement, et d'autre part de caractériser la consistance de ses variations dans la zone médiane.

De point de vue technologique, le passage d'un film de bitume de 0,5 mm d'épaisseur, déposé sur une lame d'acier sera soumis à des flexions répétées à température décroissante.

#### II.4.5.1.1. Essai de point d'éclair (point d'inflammabilité)

Cet essai consiste à déterminer la température à laquelle une quantité de bitume, chauffée selon des prescriptions spécifiées, dégage des gaz qui s'enflamment en un éclair au contact d'une flamme.

L'appareil Cleveland à coupe ouverte est largement utilisé tant pour les bitumes purs que pour les bitumes fluxés sauf pour un bitume à séchage rapide, pour lequel on emploie généralement l'appareil TAG à coupe ouverte.

Cet essai ne donne rien de plus qu'une indication sur les dangers d'incendie pendant le chauffage et la mise en œuvre d'un produit bitumineux. Le point d'éclair minimum tel qu'il est donné par cet essai est la température de travail en toute sécurité, avec des précautions habituelles qui ne sont nullement synonymes. Cet essai est parfois imposé par les douanes et les transporteurs.

#### II.4.5.1.2. Température de ramollissement

Les bitumes n'étant pas des corps purs, ils n'ont pas de point de fusion franc ; leurs consistances décroissent progressivement lorsque leur température s'élève. Pour cette raison, la détermination de la température de ramollissement doit être faite suivant une méthode bien définie si on veut avoir des résultats comparables.

Dans la méthode Bille&Anneau, une bille d'acier est placée sur un petit disque de bitume contenu dans un anneau de métal. L'ensemble est chauffé avec une vitesse constante. La température à laquelle la bille s'enfonce à travers le bitume et son poids imprime à l'échantillon une déformation verticale est la température de ramollissement Bille&Anneau  $T_{BA}$ .

#### II.4.5.2. Pénétration des bitumes

En 1889, BOWEN a mis au point la méthode d'essai par pénétration qui, à quelques modifications près, est encore d'usage courant en raison de sa simplicité et de sa rapidité.

Une aiguille de forme normalisée représentant une charge de 100 gr, s'enfonce pendant 5 sec dans un échantillon de bitume. La mesure de la pénétration est exprimée en 1/10 de mm. Cette mesure doit être faite à une température bien déterminée.

La pénétration la plus couramment utilisée est celle à 25 °C, qui est employée pour spécifier la qualité d'un bitume. A une température donnée, plus un bitume est dur plus sa pénétration est faible. Elle varie :

1. En fonction de la charge :

$$\ln P = D \cdot \ln M + E$$

P : La pénétration ;

M : La mesure de la charge en gr;

E, D: Constantes.

2. En fonction de la température :

A plus haute température, le bitume est plus mou et de pénétration plus forte. En 1936, PFEIFFER a montré l'existence d'une relation linéaire entre le logarithme de la pénétration et la température :

$$\ln P = A \cdot T + C$$

C : Constante

A : Susceptibilité thermique. Sa valeur varie entre 0,015 et 0,06.

3. En fonction du temps :

Tous les bitumes ont tendance à fluer (i.e. sous une charge constante leur déformation n'est jamais limitée). On peut étudier ce phénomène en mesurant leur pénétration en fonction du temps de charge t.

#### II.4.5.3. Viscosité des bitumes

La viscosité d'un liquide est la mesure de son frottement interne. Elle est définie comme la résistance offerte par un fluide à la mobilité relative de ces molécules.

Soient deux plans de surface S situés à une distance d et se déplaçant parallèlement l'un par rapport à l'autre sous l'effet d'une force F à une vitesse V.

La viscosité dynamique  $\mu$  est définie par la relation :

$$\frac{F}{S} = \mu * \frac{V}{d}$$

$\frac{F}{S} = \tau$  : Est la contrainte de cisaillement exprimée en N/m<sup>2</sup>

$\frac{V}{d}$  : exprimé en sec<sup>-1</sup>

d'après le principe de mesure de viscosité évoqué ci-dessus, on cite les méthodes suivantes :

❖ Les rhéomètres à plaques parallèles :

Ils comprennent essentiellement deux plaques séparées par un film de bitume d'épaisseur constante (comprise entre 3 et 10 mm). L'une des plaques est maintenue à l'aide d'une mâchoire fixe et l'autre dans une mâchoire mobile, cette seconde plaque sous l'action d'une force glisse sur la plaque fixe. Le film de bitume est ainsi soumis à une force de cisaillement et sa viscosité peut être déterminée grâce à la mesure simultanée de la force et de la vitesse de déplacement.

❖ Les appareils à cylindres coaxiaux :

Le bitume est introduit dans le vide séparant les deux cylindres coaxiaux. L'un des cylindres est fixe, l'autre tourne avec une vitesse connue. La valeur du couple exercé sur le bitume est liée à sa viscosité.

❖ Les appareils cône-plateaux :

Le principe est sensiblement le même que dans les appareils précédents, mais le bitume est placé entre un cône et un plateau dont l'un est fixe et l'autre est mis en rotation.

Dans une autre catégorie, on retrouve des appareils qui mesurent des temps d'écoulement, ils fournissent la viscosité cinématique, c'est :

- Les viscosimètres capillaires ;
- Les viscosimètres à coupes.

#### II.4.5.4. Essai de poids spécifique

Les résultats sont généralement donnés à 20- 25°C, ce qui signifie que l'essai a été effectué sur la base des volumes égaux de produit et d'eau, tous deux à 25°C. Cette détermination est nécessaire pour les conversions volume/ poids.

#### II.4.5.5. Essai de perte de masse au chauffage

Dans l'essai de chauffage, un échantillon de 50 gr est placé dans un récipient normalisé, et maintenu pendant 5 heures à 163°C dans une étuve, le pourcentage perdu, en poids est alors mesuré.

On détermine ensuite la pénétration du bitume résiduel ; la chute de pénétration est exprimée en pourcentage de pénétration de l'échantillon.

#### II.4.5.6. Essai de ductilité

Cet essai détermine la distance en cm dont peuvent être éloignées l'un de l'autre à une vitesse spécifiée, les deux extrémités d'une éprouvette de bitume confectionnée dans un moule de dimensions normalisées et plongées dans un bain d'eau, avant rupture du filament ainsi formé.

Les conditions usuelles de l'essai sont :

- Température du bain 25°C ;
- Vitesse 5 cm/min.

La section de l'étranglement de l'éprouvette avant l'essai est de 1 cm<sup>2</sup>.

#### Remarques sur la physique des enrobés

Les essais pratiqués lors de l'étude des mélanges bitumineux sont en général des essais mécaniques durant lesquels une éprouvette d'enrobé est soumise à des efforts provoquant une déformation à vitesse constante selon une direction. Mais il faut noter que ces essais sont peu représentatifs des phénomènes qui se manifestent sur la chaussée au passage des charges. Ces phénomènes sont en effet différents :

- ❖ Fluage sous l'effet de la pression des pneumatiques ;
- ❖ Densification due au martèlement ;
- ❖ Fissuration due à la flexion répétée ;
- ❖ Cisaillement dans certains cas spéciaux (Chenille, Jantes ferrées).

Quoi qu'il en soit, on peut admettre que les enrobés nécessitant l'effort le plus élevé pour se rompre à vitesse de déformation constante sont vraisemblablement ceux qui flueront le moins vite. Il n'est pas établi que ce soient ceux qui se fissureront le moins vite.

Ces essais n'étant pas toujours conduits dans des conditions identiques, il y a lieu d'être circonspect lorsqu'on rapproche des résultats provenant de sources différentes.

Ce qu'on appelle la physique des enrobés se développe dans deux directions :

D'une part, l'étude de résistance sous vitesse de déformation donnée se poursuit, en fonction de divers paramètres (granulats, liant, vitesse et température de l'essai, préparation des éprouvettes ...). D'autre part des recherches sont entreprises sur la rhéologie des mélanges, c'est à dire sur la réponse complexe des éprouvettes à des sollicitations variées en vue de représenter l'enrobé par un modèle rhéologique simple.

Les facteurs principaux lors de l'étude des conditions de rupture ou de fluage des enrobés à vitesse constante, sont :

- ❖ *Le liant* : pénétration, susceptibilité thermique, origine, dosage ;
- ❖ *Les granulats* : granulométrie, dureté et granularité ;
- ❖ *Le filler* : granularité, origine, dosage ;
- ❖ *Préparation des éprouvettes* : température au malaxage, compactage, conservation ;
- ❖ *Les conditions d'exécution de l'essai* : température, vitesse de déformation imposée.

# Chapitre 3

## **Enrobés à froid**

## III. Enrobés à froid

### III.1. Introduction

Les enrobés à chaud qui constituent les revêtements les plus répons des autoroutes, des routes à fort trafic et des aérodromes, sont remplacés par des enrobés à froid pour diverses raisons :

- ❖ Coût de séchage des granulats et de chauffage du liant pour des petits chantiers ;
- ❖ Absence des gravillons et exécution des revêtements avec des matériaux tout venants ;
- ❖ Distances de transport importantes à partir d'installations fixes, qui conduisent à rechercher des enrobés pouvant être transportés pendant plusieurs heures voir plusieurs jours ;
- ❖ Commodité d'emploi de l'enrobé à froid pour l'entretien routier (enrobés stockables).

### III.2. Définition [7]

L'enrobage à froid est un procédé dans lequel les matériaux sont à température ambiante, on peut les utiliser soit avec des bitumes fluidifiés soit avec d'émulsion bitume. Les avantages des enrobés à froid résident d'une part dans le fait qu'ils nécessitent un matériel beaucoup plus réduit que les enrobés à chaud, et d'autre part dans le fait que les enrobés ainsi obtenus sont stockables et peuvent être mis en place à l'instant désiré.

Les postes d'enrobage à froid sont des postes continus de conception simple, facilement transportable.

Les enrobés à froid sont de type ouverts OF (%vides >12%), semi-denses SF (%vides entre 8 et 12%). Le caractère ouvert de ces enrobés est impliqué par la nature de l'enrobage, il permet en effet :

- ❖ Soit l'évaporation du solvant contenu dans le cut-back ;
- ❖ Soit l'évacuation de l'eau après rupture de l'émulsion.

### III.3. Classification des enrobés à froid [13]

L'appellation enrobée à froid s'applique à trois types de produits que l'on peut définir ainsi :

- Enrobés pour entretien et petites réparations de chaussées ;
- Enrobés pour usages spécifiques (sols sportifs en particulier) ;
- Enrobés pour couche de roulement des chaussées.

#### III.3.1. Classification en fonction de la composition des enrobés

##### III.3.1.1. Enrobés ouverts à froid (O.F.D)

Les enrobés ouverts à froid sont fabriqués avec des granulats dont la classe granulaire est l'une des suivantes : 2 / 4, 4 / 6, 6 / 10, 10 / 14, 10 / 20.

Le mélange des granulats de plusieurs classes est parfois adopté.

Le pourcentage de vide de ces enrobés est supérieur à 15 %.

##### III.3.1.2. Enrobés semi-denses à froid (S.F.D)

Les enrobés semi-denses à froid sont fabriqués avec des granulats 0/4, 0/6, 0/10 ou 0 / 14.

Leur pourcentage de vide est compris entre 10 et 15 %.

##### III.3.1.3. Enrobés denses à froid (D.F.D)

Les enrobés denses à froid sont fabriqués avec les mêmes granulats que les enrobés semi-denses à froid mais leur teneur en filler est plus importante. Leur pourcentage de vide est inférieur à 10 %.

L'émulsion d'enrobage étant à base de bitume pur, la stockabilité de ces enrobés est très réduite.

L'utilisation des bitumes à température ambiante est très délicate, du fait de la grande viscosité qu'ils présentent, donc on a envisagé deux types de solutions pour remédier à ce problème : soit l'utilisation de diluant, soit la mise en émulsion dans l'eau, et suivant le type de liant utilisé, on distingue les bitumes fluidifiés et les bitumes fluxés.

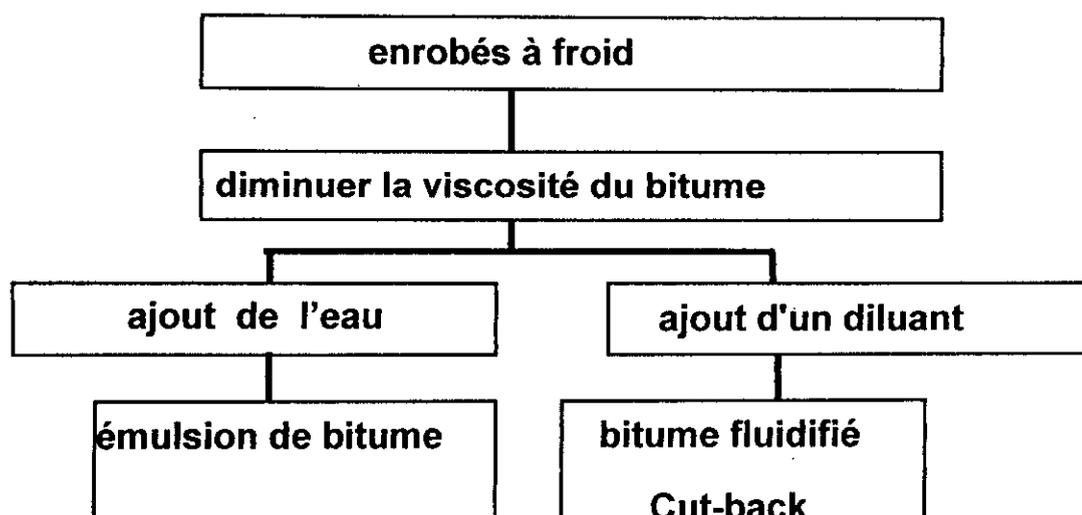


Figure III.1 : Solutions pour enrobage à froid.

### III.4. Les enrobés à émulsion

La possibilité de déposer un film de bitume à température ambiante sur des agrégats non préalablement chauffés, est ici donnée par la dispersion du bitume en globules de faible diamètre dans une phase dispersante, constituée par une solution aqueuse d'un savon émulsifiant.

Les émulsions d'enrobage sont à base de bitume fluide : si on emploie des bitumes purs les enrobés manqueraient de maniabilité et seraient semblables à des enrobés à chaud brusquement refroidis. Le bitume de base du type 180/220 est généralement fluidifié avec un cut-back 0/1 dans des proportions qui varient selon la saison (de 10% en été jusqu'à 40% en hiver de cut-back par rapport au liant total).

Les émulsions généralement utilisées sont des émulsions cationiques d'enrobage à 60 ou 65% de liant. Le dosage en émulsion dépend évidemment de la granularité des matériaux à enrober. A titre indicatif on peut donner les dosages suivants :

Granulométrie des matériaux	2/5 et 5/8	8/12.5 et 5/15	12.5/18
Liant résiduel nécessaire	5.5%	5.0%	4.5%
Dosage émulsion à 60%	9.2%	8.4%	7.5%
Dosage émulsion à 65%	8.5%	7.7%	7%

Tableau III.1 : Dosage en liant optimal selon la granulométrie du matériau.

Si l'enrobé est sur-dosé, il devient trop mou et un excès de liant important peut provoquer des fluages et des déformations diverses sur les enrobés mis en œuvre. Si l'enrobé est sous-dosé, le liant devient trop mince, l'enrobé manquera de cohésion et risque d'être désenrobé.

L'aptitude à la rupture d'une émulsion dépend de la nature minérale des matériaux et de la surface spécifique qui varie de façon importante avec le taux de filler, c'est pourquoi une émulsion cationique donnée ne peut enrober tous les matériaux. Si l'émulsion a une rupture rapide elle enrobera parfaitement les matériaux propres mais par contre elle rompra trop rapidement sur des matériaux à surface spécifique élevée : le liant résiduel s'étalera mal sur les surfaces minérales (surtout si celles-ci présentent de nombreuses cavités comme c'est le cas pour les roches éruptives), et le liant aura tendance à former des boulettes avec les matériaux les plus fins.

Si l'émulsion est trop stable, la rupture sera incomplète et le liant émulsionné s'écoulera dans des tas d'enrobés. Après mise en place, le tapis n'aura plus suffisamment de cohésion puisque les pellicules de liant seront trop minces et au bout de quelques semaines ou quelques mois, les gravillons se détacheront les uns des autres.

Si les matériaux sont sales ou très poussiéreux, une émulsion cationique plus riche en émulsifiant facilitera l'enrobage et l'adhésivité.

### III.5. Les enrobés à froid au cut-back

Les cut-backs souvent utilisés sont les 150/250 ou selon la période et les conditions d'utilisation le 50/100 (plus fluide) ou le 400/600 ( plus visqueux ) Pour des raisons de souplesse d'exploitation dans des cas particuliers, on peut aussi utiliser des mélanges bitume cut-backs de viscosité équivalente. Il faut éviter d'utiliser un liant trop fluide qui enrobe mal le matériau et est facilement déplacé par l'eau ou un liant trop visqueux qui peut provoquer un collage des enrobés dans la période de stockage. L'augmentation de la viscosité du liant, due à un abaissement de température ou à l'évaporation des solvants qui se produit à la surface du tas d'enrobés stockés, doit rester un phénomène superficiel qui ne doit pas nuire à la reprise et à la maniabilité des matériaux.

Les températures normales d'utilisation des bitumes fluidifiés pour l'enrobage varient de 80°C à 110°C selon la viscosité (viscosité mesurée avec une réglette qui donne aussi les zones de température recommandées pour l'enrobage). Les dosages varient en moyenne de 4.5 à 6% de liant dans l'enrobé.

L'enrobage, l'adhésivité et la tenue des enrobés à froid dépendent pour une grande part de la nature pétrographique des agrégats, de leurs caractéristiques, de leurs granulométries, de leurs propriétés et humidité.

Il faut souligner que l'eau a plus d'affinité pour les agrégats que les liants hydrocarbonés. Il en résulte que dans les procédés n'utilisant pas des matériaux déshydratés, il est indispensable de déplacer l'eau éventuellement lors de l'enrobage et de se prémunir contre un désenrobage ultérieur.

Si on a affaire à des matériaux secs, l'enrobage est généralement facile mais l'enrobé obtenu peut être sensible à l'action de l'eau et avoir tendance à se désenrober. La sensibilité à l'eau est alors fortement diminuée par le dopage du liant dans la masse. Ce dope est une huile fluide soluble dans les hydrocarbures et le dosage à utiliser est de l'ordre de 2% par rapport au liant (2 kg de dope par tonne de liant).

Si les matériaux sont humides, l'enrobage peut présenter des difficultés du fait qu'il faut déplacer de l'eau par le liant à la surface des agrégats. L'enrobage est facilité par le mouillage préalable des matériaux avec une solution aqueuse d'un dope d'interface ; le dosage peut varier de 5 à 10 litres de solution par tonne de gravillons (soit de 0.5 à 1 kg de dope par tonne de gravillons).

### III.6. Domaines d'emploi

Cette technique est essentiellement une technique de surface, et doit donc apporter en premier lieu étanchéité et adhérence (niveau à moduler en fonction du trafic et de la vitesse).

Par rapport aux techniques traditionnelles concurrentes, l'enrobé à froid peut être utilisé lorsqu'un enduit superficiel paraît mal adapté, par exemple :

- Lorsque le trafic poids lourd et le site peuvent faire craindre l'entaille des granulats dans le support ;
- Si le support est trop hétérogène ;
- Lorsqu'il y a usure prononcée des bandes de roulement ;
- Si le niveau sonore doit être limité ;
- En cas de tracé trop tourmenté.

Il est évident que son coût global (y compris la préparation éventuelle du support) doit aussi dans ce cas être inférieur à celui d'un enrobé d'entretien.

Les limites d'emploi actuel paraissent être les suivantes :

- Trafic maximal : de l'ordre de 1000 poids lourds par jours par sens ;
- Déformabilité du support : il est difficile aujourd'hui de fixer la déformation admissible pour garantir une durée de vie suffisante. En toute première approximation on peut indiquer les ordres de grandeurs suivants :
  - Trafic T3 déflexion  $< 150 / 100$  mm ;
  - Trafic T2 déflexion  $< 100 / 100$  mm ;
  - Trafic supérieur déflexion  $< 50/100$  mm.
- Orniérage : les enrobés à froid ne répondent pas à ce type de dégradations à moins qu'il ne s'agisse d'un orniérage d'usure ou de post-compactage et qu'il n'excède pas 30 mm. Pour ces ornières importantes, une préparation du support est nécessaire pour amener les déformations à 10 mm maximum.

### III.7. Avantages et inconvénients des enrobés à froid

Les avantages d'un enrobage à froid résident dans le fait d'une part qu'il nécessite un matériel beaucoup plus réduit que celui exigé par l'enrobage à chaud. D'autre part, les enrobés ainsi obtenus sont stockables et peuvent être donc mises en place à l'instant désiré.

Le séchage des enrobés à froid doit être assuré, il doit aussi se réaliser avant que la circulation soit mise en danger. Ces enrobés dont les performances mécaniques sont très médiocres aux premiers âges, il faut donc que le séchage soit aussi rapide que possible, ce qui suppose à la fois un liant à séchage rapide (émulsion, cut-back à séchage rapide) et un enrobé aussi ouvert que possible.

La couche d'enrobé ainsi réalisée doit vérifier certains critères :

- Elle doit être étanche afin de ne pas laisser l'eau entrer dans la chaussée.
- Elle doit être stable même en présence d'eau, et ne doit pas voir ses performances mécaniques diminuer en période de pluie.

Dans le cas d'un enrobé à froid, il convient d'éviter les excès en liants, car ils provoquent une texture fermée qui ne permet pas l'évaporation des solvants et donnent une très grande déformabilité.

Dans certaines techniques routières et particulièrement au Sahara, l'utilisation des enrobés à froid est une pratique beaucoup plus apte que les enrobés à chaud.

Les inconvénients des enrobés à froid sont de plusieurs types :

- Séchage : avec des formules continues, le séchage est difficile, par contre avec des enrobés-ouverts il n'y a aucun problème avec des cut-backs à forte viscosité ou à séchage rapide. Dans le cas de revêtements en forte épaisseur, la première couche doit être très grossière, et la deuxième à texture plus fermée ;
- Compactage : il est difficile de choisir le moment propice au compactage, s'il est prématuré, il ne permet pas une première évaporation, et s'il est trop tardif il devient délicat et ne permet pas une bonne agglutination des grains, le bitume durcissant prématurément ;
- Modification de la viscosité : le bitume résiduel est nettement plus mou que le bitume de base. Des essais de distillation à 360°C montrent qu'il reste 2.5% de solvants dans le bitume. Ceci modifie les pénétrations standard et les températures de ramollissement ;
- L'emploi des enrobés à froid ne doit pas être systématiquement écarté, cependant lorsqu'on désire un produit élaboré et parfaitement maîtrisé en compacité, teneur en liant et viscosité du liant, on a intérêt à utiliser des enrobés à chaud. Ceci est particulièrement vrai dans le cas de grands ouvrages : autoroutes, aérodromes et les routes à forte circulation.

L'enrobé à chaud suit mal les déflexions et les tassements successifs, c'est pour cela que l'enrobé à froid est idéal et est nettement plus économique que l'enrobé à chaud.

# Chapitre 4

## **Emulsion de bitume**

## IV. Emulsion de bitume

### IV.1. Généralités

Une émulsion est une dispersion de deux liquides non miscibles, l'un dans l'autre, préparée généralement à l'aide d'un produit dénommé émulsif ou émulsifiant, elle est composée de deux phases : dispersée et dispersante.

On distingue deux types d'émulsion en fonction de la nature de leurs phases :

- ❖ Les émulsions directes, c'est à dire l'huile dans l'eau, qui sont constituées d'un liquide hydrocarboné dispersé dans l'eau.
- ❖ Les émulsions inverses, c'est à dire l'eau dans l'huile, qui sont constituées d'eau dispersée dans l'huile.

Les deux phases sont séparées par un film protecteur d'émulsifiant dont les molécules tapissent sur la surface des particules. Ces molécules ont leur partie apolaire (chaîne hydrocarbonée) piquée dans la phase hydrocarbonée (ou phase d'huile), leur partie polaire émerge dans l'eau et crée, en s'ionisant, des charges électriques à la surface des particules.

Le signe de ces charges confère aux émulsions leur caractère anionique ou cationique :

- ❖ Les émulsions anioniques possèdent des particules qui se dirigent, dans le phénomène d'électrophorèse, vers l'anode, elles sont donc chargées négativement.
- ❖ Les émulsions cationiques possèdent des particules qui se dirigent, dans le phénomène d'électrophorèse, vers la cathode, elles sont donc chargées positivement.

Les émulsions de bitume utilisées en technique routière sont des émulsions directes dans lesquelles la phase dispersée est un bitume pur, fluidifié ou fluxé.

Les émulsions sont définies par leur répartition granulométrique et leur composition : nature et qualité de liant, d'émulsifiant, d'acide ou de base, servant à salifier l'émulsifiant, qui déterminent leurs caractéristiques physico-chimiques : pH, conductivité, signe des charges, intensité des répulsions électrostatiques, et leurs caractéristiques technologiques : stabilité, vitesse de rupture, adhésivité et viscosité.

## IV.2. Principaux emplois des émulsions

Les émulsions de bitume sont utilisées dans la technique routière, tout en ayant des caractéristiques bien définies :

➤ *Réparation « par point à temps » :*

L'émulsion doit être adhésive, relativement visqueuse et présenter une rupture rapide.

➤ *Enduits superficiels :*

Les critères de choix sont les mêmes que pour les réparations.

➤ *Enrobage :*

La viscosité et la rupture doivent être particulièrement étudiée afin de permettre la répartition homogène du liant sans provoquer des pertes par écoulement.

➤ *Imprégnation :*

L'émulsion doit être fluide et très adhésive.

➤ *Enrobés denses pour réparations et graves émulsion :*

La vitesse de rupture doit être parfaitement contrôlée.

## IV.3. L'émulsification

L'émulsification consiste à diviser le bitume en fines particules chargées, douées d'un pouvoir répulsif les unes envers les autres.

Elle nécessite simultanément une énergie mécanique de cisaillement du liant donnée par la turbine, et une énergie physico-chimique apportée par l'émulsifiant qui doit :

- Abaisser la tension interfaciale entre la phase hydrocarbonée et la phase aqueuse; il diminue donc le travail d'émulsification ;
- Créer un film protecteur autour des particules.

Eventuellement, l'émulsifiant peut jouer le rôle de dope d'adhésivité.

Ces diverses exigences nécessitent que l'émulsifiant soit sous forme ionisable et qu'il possède une structure chimique telle qu'il puisse former un film interfacial.

La gamme des émulsifiants généralement utilisés, compte tenu de leur coût et de leur efficacité, se réduit :

- Pour les émulsions anioniques: aux acides gras, abiétiques et naphéniques, salifiés par une base forte (en règle générale la soude ou le potasse).
- Pour les émulsions cationiques aux polyamines, amido-amines, imidazolines et ammoniums quaternaires à chaîne grasse. L'acide fort servant à la solidification est généralement l'acide chlorhydrique.

#### IV.3.1. Choix de la formulation

Il n'y a guère de formulation type ; la formule doit être mise au point pour chaque bitume et chaque technique d'emploi. Toutefois, il faut tenir compte d'un certain nombre de règles générales :

1. La quantité d'acide ou de base ajoutée dans la phase aqueuse doit être calculée afin que l'émulsifiant présent sous forme ionisée soit en quantité suffisante ;
2. La concentration en liant ne doit pas dépasser le seuil au-dessus duquel la viscosité atteint des valeurs peu compatibles avec les conditions d'emploi des émulsions. Ce seuil est de l'ordre de :
  - 65% de bitume pour les émulsions anioniques
  - 70% de bitume pour les émulsions cationiques

Cette différence de comportement des émulsions anioniques et cationiques, tient à l'étendue granulométrique plus importante dans le cas des cationiques ;

3. Il est préférable, dans l'absolu, qu'une partie de l'émulsifiant soit, à l'origine, dans la phase hydrocarbonée. Aussi utilise-t-on, pour les émulsions anioniques, des bitumes cationiques acides ou acidifiés.

Par contre, l'adjonction d'émulsifiant cationique dans le bitume posant des problèmes chimiques et technologiques très aigus, elle ne s'utilise que dans des cas très particuliers.

### IV.3.2. Conditions d'émulsification

L'émulsion se forme en faisant arriver simultanément dans la turbine, le bitume et la phase aqueuse. La température du bitume est choisie pour obtenir une viscosité d'environ 200 centipoises, ce qui donne généralement :

- 140°C pour les bitumes 180/220
- 150°C pour les bitumes 80/100
- 160°C pour les bitumes 40/ 50

Pour limiter le moussage, la température de la phase aqueuse est calculée, grâce à un bilan thermique, de telle sorte que celle du mélange ne dépasse pas 95°C.

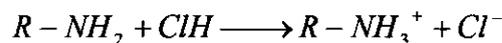
## IV.4. Caractéristiques technologiques des émulsions

### IV.4.1. Stabilité des émulsions

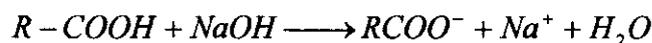
#### IV.4.1.1. Aspect théorique

On peut considérer l'émulsion comme formée par un ensemble de particules, la surface d'une particule est tapissée par des molécules de savon dont la partie apolaire est piquée dans le bitume et dont la partie polaire émerge dans l'eau, cette partie polaire s'ionisant : (Figure IV.1)

- Pour l'émulsifiant cationique



- Pour l'émulsifiant anionique



La particule du liant se comporterait comme un condensateur formé par deux sphères concentriques chargées [3]

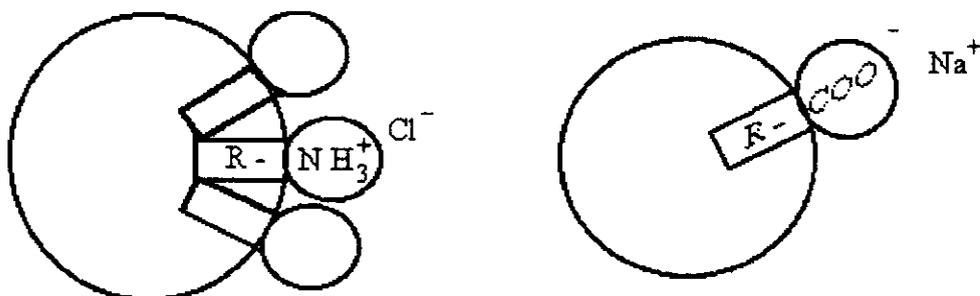


Figure IV.1: Forme moléculaire de l'émulsion.

#### IV.4.1.2. Signification de la stabilité

L'émulsion de bitume est par définition un système instable, une émulsion absolument stable vis-à-vis des granulats ne serait d'aucun intérêt routier. Il est nécessaire de considérer deux sortes de stabilité :

- La stabilité au stockage, que l'on désire aussi grande que possible ;
- La stabilité vis-à-vis des granulats, dont les limites supérieures et inférieures sont imposées par les techniques d'emploi, il est ici préférable de parler de vitesse de rupture.

##### IV.4.1.2.1. Stabilité au stockage

Il faut distinguer trois phénomènes : la décantation, la floculation et la coalescence.

a) La décantation peut se traduire, soit par une sédimentation, soit par un crémage.

- La sédimentation : hétérogénéité de la teneur en eau pour laquelle la teneur en eau diminue à la partie inférieure ;
- Le crémage : c'est le processus inverse d'une sédimentation.

La décantation peut être ralentie :

- En augmentant la finesse de l'émulsion ;
- En s'efforçant d'avoir une différence de masse volumique aussi faible que possible entre la phase dispersée et la phase dispersante. Les émulsions de bitume remplissent aisément cette condition, la densité du bitume étant de l'ordre de 1,02 (voir tableau IV.1) ; ce n'est pas le cas des émulsions de goudron, celui-ci ayant une densité voisine de 1,25.

Température °C	Densité
15	1,020
20	1,070
25	1,014
30	1,011
35	1,008
40	1,004
45	1,001
50	0,998
55	0,995
60	0,992
65	0,989
70	0,986
75	0,983
80	0,980
85	0,977
90	0,974
95	0,971
100	0,968

Tableau IV.1 : Densité de bitume pour différent degré de température.

- En augmentant la viscosité de la phase dispersante.

b) La floculation : C'est le premier stade de la coagulation. Les particules s'agglomèrent mais ne perdent pas leur individualité, ce phénomène est encore réversible. Il est très probable que cette agrégation réversible correspond à un minimum représentant un état d'équilibre entre deux particules.

c) La coalescence : C'est le second stade de la coagulation. Les particules agglomérées se combinent pour donner une particule plus grosse. Ce phénomène est irréversible.

Ces deux derniers phénomènes sont inséparables l'un de l'autre et c'est le plus lent qui détermine la vitesse de rupture. On peut enrayer la rupture en augmentant la teneur en émulsifiant et en se rapprochant du pH optimal de stabilisation, valeur qui varie avec la nature du liant et de l'émulsifiant.

La décantation d'une émulsion peut se définir par des mesures de teneur en eau à différents niveaux dans une éprouvette contenant de l'émulsion.

#### IV.4.1.2.2. Stabilité des émulsions vis-à-vis des granulats

##### *Vitesse de rupture*

La vitesse de rupture d'une émulsion sur des granulats est sa principale caractéristique. Son importance technologique est évidente.

A ce point de vue, il faut distinguer trois sortes d'émulsions :

- Les émulsions à rupture rapide, recommandées pour les travaux de répardage ;
- Les émulsions à rupture lente, recommandées pour les travaux d'enrobage ;
- Les émulsions à rupture contrôlée, qui servent aux travaux spéciaux tels que les enrobés denses pour réparation et les graves traitées à l'émulsion.

La vitesse de rupture est liée d'une part aux caractéristiques physico-chimiques de l'émulsion et d'autre part à celles du matériau minéral (granulats) ; elle est inversement proportionnelle à la quantité d'émulsifiant, et elle dépend de la nature et de la granulométrie du matériau minéral. Un granulat contenant une grosse proportion de fines amène une rupture beaucoup plus rapide qu'un granulat propre.

Cela se conçoit parfaitement car la rupture est avant tout un phénomène de surface ; de plus, les fines ont tendance à absorber de l'eau. Ce phénomène est plus sensible dans le cas des émulsions cationiques.

#### IV.4.2. Adhésivité

##### *Adhésivité du liant et angles de contact*

L'adhésivité d'un bitume est une de ses propriétés principales du point de vue technologique.

Lorsque les trois phases : bitume, eau et pierre sont en contact, il peut se passer deux phénomènes différents :

- Mouillage préférentiel par l'eau, c'est-à-dire angle de contact favorable à l'eau (Fig. IV.2 a) ;
- Mouillage préférentiel par le bitume, c'est-à-dire angle de contact favorable au bitume (Fig. IV.2 b).

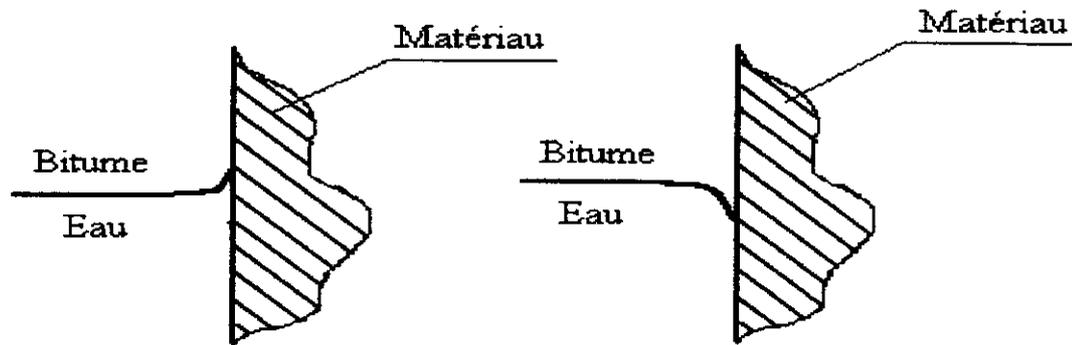


Figure IV.2 a : Mouillage préférentiel par l'eau.

Figure IV.2 b : Mouillage préférentiel Par le bitume.

Dans le premier cas, il n'y a pas enrobage au sens physico-chimique du mot, dans le second cas il y a enrobage.

Supposons que l'on immerge et émerge une plaque de granulat dans l'eau et le bitume comme le montrent les figures VI.1 a et VI.1 b. On peut se trouver en présence de 3 cas :

- a) l'angle de contact "sortie" est favorable au bitume mais l'angle de contact "entrée" est favorable à l'eau. Un granulat enrobé résistera à l'eau, mais il sera difficile d'enrober les matériaux humides. On a l'habitude d'appeler ce phénomène « adhésivité passive ».
- b) Les angles de contact "entrée" et "sortie" sont défavorables au bitume : pas d'enrobage durable possible. Il est nécessaire d'utiliser des dopes pour le bute d'améliorer l'adhésivité.
- c) Les angles de contact sont tous deux favorables au liant : il est possible d'enrober les matériaux humides, et le granulat enrobé sera résistant à l'eau. On a l'habitude d'appeler ce phénomène d'adhésivité active.

Dans les applications routières du bitume, nous avons toujours besoin de l'adhésivité passive ; par contre, l'adhésivité active n'est pas toujours nécessaire (cas des enrobés à chaud).

Il est donc impossible d'utiliser un même test d'adhésivité pour toutes les applications routières du bitume.

### *Adhésivité des émulsions*

En ce qui concerne les émulsions cationiques de bitume, l'émulsifiant nécessaire à la fabrication de la dispersion est un dope d'adhésivité. Mais parfois le bitume est dopé indépendamment de la mise en émulsion, c'est le cas des émulsions anioniques dopées que l'on devrait appeler plus logiquement émulsions anioniques de bitume dopé.

L'adhésivité d'une émulsion dépend :

- De la nature du bitume employé et des additifs éventuels ;
- De la nature et de la quantité d'émulsifiant employé : on peut s'apercevoir que l'adhésivité est améliorée par augmentation de la quantité d'émulsifiant ; mais on ne peut aller trop loin dans cette voie, une quantité trop grande d'émulsifiant risquant de rendre l'émulsion trop stable ;
- Du pH de l'émulsion : chaque émulsifiant a un intervalle de pH où l'adhésivité est la plus grande ;
- De la granulométrie de l'émulsion : pour les émulsions cationiques l'adhésivité est d'autant plus grande que l'émulsion a tendance à la monodispersion ;
- De la nature minéralogique du granulat, de sa propreté, de son humidité et de ses conditions de stockage.

### IV.4.3. Viscosité

La viscosité est une caractéristique importante qui intervient :

- Pour le transfert à travers les canalisations, le pompage et le répandage ;
- Pour l'utilisation sur le chantier :
  - Un enduit superficiel exige une émulsion relativement visqueuse afin d'éviter les pertes de liant ;
  - Une imprégnation, au contraire, on exige une émulsion fluide, qui puisse pénétrer dans le corps de chaussée.

#### IV.4.3.1. Méthodes de mesure

La viscosité peut se mesurer par diverses méthodes, dont les principales sont :

- L'écoulement du liquide à travers un orifice calibré (e.g. Viscosité Engler) ;
- Le cisaillement entre deux cylindres coaxiaux.

Il faut noter que les émulsions sont, en général, des liquides non newtoniens : leur viscosité reste dépendante de la vitesse de cisaillement. De plus, des ruptures partielles de l'émulsion viennent souvent perturber les mesures.

On note aussi que la susceptibilité thermique de la viscosité est sa variation en fonction de la température ; c'est une donnée importante pour l'utilisation routière, où l'on peut être amené à faire varier la température d'emploi.

#### **IV.4.3.2. Facteurs influençant la viscosité**

##### **IV.4.3.2.1. La teneur en liant**

La viscosité d'une émulsion croît avec la teneur en liant : cette croissance, assez lente au début, devient très rapide lorsqu'on arrive aux teneurs généralement adoptées pour les émulsions de bitume. Ainsi, pour une variation de 62 à 65% de liant, des chercheurs [2] ont pu observer une augmentation du simple au double de la viscosité.

##### **IV.4.3.2.2. La granulométrie de l'émulsion**

La viscosité est influencée par la granulométrie ; elle est d'autant plus importante que la courbe granulométrique est plus resserrée et que l'émulsion est plus fine.

##### **IV.4.3.2.3. La nature de l'émulsifiant**

Celle-ci intervient de façon complexe puisqu'elle influe sur la granulométrie, la viscosité de la phase dispersante et sur les qualités du film interfacial.

### **IV.5. Caractéristiques physico-chimiques**

#### **IV.5.1. Le pH des émulsions**

Le pH d'une émulsion est en fait une caractéristique de la phase aqueuse après émulsification. Il peut être perturbé par des substances susceptibles de migrer d'une phase dans l'autre.

Il a une très grande importance, tant du point de vue stabilité que du point de vue adhésivité : on sait qu'en règle générale l'adhésivité des émulsions cationiques est plus grande pour des pH compris entre 3 et 5 que pour des pH inférieurs à 3, mais qu'au contraire la stabilité est meilleure pour des pH plus bas.

Il faut toutefois signaler que l'on rencontre des émulsions très stable bien que leur pH soit élevé ; il suffit que la quantité d'émulsifiant salifié, c'est-à-dire sous forme ionisée, soit suffisante ou que l'on utilise un stabilisant ; ce qui, dans la pratique, est plus rentable.

#### IV.5.2. Conductivité des émulsions

La conductivité est fonction de la nature de la concentration des électrolytes en solution dans la phase aqueuse. Elle permet, par comparaison des valeurs de pH, de détecter la présence de sels minéraux dissous et peut expliquer certaines instabilités.

#### IV.5.3. La granulométrie

C'est une des caractéristiques les plus importantes des émulsions, car elle détermine nombre de propriétés technologiques : viscosité, stabilité et même adhésivité.

- La viscosité d'une émulsion est d'autant plus grande (toutes choses restant égales par ailleurs) que l'émulsion est plus fine et son écart type plus petit ;
- La stabilité varie en fonction directe de la finesse.

On peut mesurer les tailles des particules par deux sortes de méthodes :

- Les méthodes globales : opacité et hématimétrie ;
- Les méthodes par dénombrement : tel le comptage avec l'appareil "Coulter".

Les méthodes globales ne donnent qu'un diamètre moyen ; par contre les méthodes par dénombrement donnent toute la courbe granulométrique.

La distribution granulométrique des émulsions est du type logarithmo-normale (semi-logarithmique), c'est-à-dire qu'elle s'obtient à partir de loi normale par un simple changement de variable.

# Chapitre 5

## **Sables traités**

## V. Sables traités

### V.1. Généralités

Le sable est la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions qui se trouvent dans une fourchette de 80 $\mu$  à 5mm. Il s'agit d'une définition globale, dont les bornes varient d'une classification à une autre.

Les sables rencontrés sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration mécanique des roches, cette décomposition et désintégration sont suivies bien évidemment d'un processus de transport qui leur donnent des caractéristiques différentes.

#### V.1.1. Différents types de sables

A noter en premier lieu qu'il est primordial de différencier les sables naturels des sables artificiels (de concassage).

##### V.1.1.1. Les sables artificiels (sable de concassage)

Ce sont des sables qui proviennent du concassage des pierres, galets ou des roches. Ils sont souvent appelés : sables concassés. La fabrication de ces sables se fait aux moyens de concasseurs utilisant divers modes de concassage; les concasseurs giratoires ; les broyeurs à barres ...etc. les sables concassés sont de plus en plus utilisés en technique routière.

##### V.1.1.2. Les sables naturels

La formation des sables, quelque soit leur origine, est le résultat de trois processus successifs : décomposition, transport et dépôt.

###### V.1.1.2.1. Sables fluviatiles

Ce sont les résidus d'altération transportés par les fleuves et rivières et déposés avant d'avoir atteint la mer. Ils sont souvent mal cassés et associés à des éléments plus grossiers en raison de la brièveté de transport. Ils sont caractérisés par des éléments de forme anguleuse et d'aspect très rugueux.

#### V.1.1.2.2. Sables marins

Les éléments de petite taille, qui sont peu affectés par l'action fluviale, parviennent à la mer où ils se mélangent aux éléments arrachés par l'action de la mer aux côtes. Les grains de ces tailles, étant très sensibles à l'action de cette dernière, finissent par se déposer après avoir subis un long frottement. Ils sont généralement caractérisés par des éléments de formes anguleuses.

#### V.1.1.2.3. Sables marins littoraux

Sont en générale à grains fins, à granularité uniforme, ils peuvent enfermer des teneurs plus ou moins élevées de minéraux rares et peuvent être à forte teneur en calcaire ou totalement privés de calcaire.

#### V.1.1.2.4. Sables éoliens

Ils sont constitués de grains de sables d'origine quelconque, pris par le vent et déposés en forme de dunes. Le pouvoir portant du vent détermine la taille des grains et la distance de transport. Ces sables sont très caractéristiques, à granularité uniforme, de taille moyenne (autour de 5mm). Les grains sont très arrondis et dépolis, ces caractéristiques proviennent des nombreux chocs des grains entre eux.

### V.2. Caractéristiques des sables pour leur emploi en technique routière

La tendance actuelle de l'utilisation des sables ne se limite pas aux chaussées à trafic faible, ou aux niveaux inférieurs dans le corps d'une chaussée. Elle vise en effet, à satisfaire les exigences modernes du trafic dense ou bien lourds, et parfois pour des couches situées à un niveau plus élevé. Ces utilisations exigent des matériaux de chaussée constitués à partir des sables de caractéristiques de plus en plus élevées.

#### V.2.1. La granulométrie

C'est la caractéristique la plus importante en technique routière. Toute étude de formulation cherche en première place, à augmenter la compacité et cette dernière est une fonction directe de la granulométrie.

Les spécifications routières s'intéressent principalement à déterminer le fuseau granulométrique pour chaque emploi. (Voir annexes)

### V.2.2. La propreté

Un sable est dit propre s'il ne contient pas d'éléments fins. Les fines ont par définition des dimensions inférieures à  $80\mu$ , elles comprennent donc les limons et les argiles. Ces éléments se trouvent dans les sables naturels, soit du fait de la présence originelle des matériaux argileux, soit par suite d'une contamination par des matériaux organiques d'origine végétale ou biologique.

Dans les sables artificiels, les fines sont le résultat du concassage, leur pourcentage et leur caractère éventuellement nocif dépendent du mode de concassage et de la nature des roches constitutives.

La présence d'éléments fins non-nocifs peut être avantageuse, car ils remplissent les vides entre les granulats, et augmentent ainsi la compacité, caractéristique essentielle pour un meilleur comportement du matériau. Leur présence facilite le compactage et augmente la résistance au cisaillement. Mais par contre, si ces éléments sont en excès, ils deviennent dangereux car ils réduisent la perméabilité et augmentent la capillarité. Les sables pollués présentent une sensibilité à l'eau, une difficulté de mise en place, une stabilité médiocre, et des résistances mécaniques faibles.

L'essai d'équivalent sable donne une indication globale sur la présence et la nocivité des fines. (*Voir annexe*)

### V.2.3. L'angularité

C'est une caractéristique importante pour la stabilité des assises de chaussées. Un sable concassé présente une stabilité améliorée, par contre, il se prête plus difficilement au compactage. Sa densité finale est plus faible que celle du sable roulé ayant la même granulométrie : il est moins maniable.

L'angularité confère aux sables un angle de frottement interne très élevé, ce qui fait que le pourcentage d'éléments concassés est un critère d'importance pour les couches de roulement où le problème de glissance se pose.

### V.2.4. La dureté

La résistance des matériaux aux effets destructifs est directement liée à la dureté. Cette dureté peut être la résistance à la fragmentation, à l'attrition, à l'usure et au polissage, sous efforts statiques ou dynamiques.

La nature minéralogique contribue à déterminer leur dureté. Un sable en calcaire est plus friable, de tels matériaux évoluent pendant le compactage ce qui entraîne la création d'éléments fins. A noter aussi que les sables durs sont peu sensibles à l'eau, ils sont donc moins sensibles au gel, ce qui est très favorable. L'essai de friabilité des sables est déterminant dans ce cas là. (Voir annexes)

### V.2.5. La forme

La longueur, la largeur et l'épaisseur du grain définissent sa bonne ou sa mauvaise forme, les granulats à mauvaise forme sont très défavorables dans le corps de chaussée, car ils gênent le compactage. Ces éléments sont souvent susceptibles de se casser.

### V.2.6. L'aspect de surface

Les grains à surface plus émoussée avec des arrêtes vives sont plus favorables pour la stabilité du matériau. Leur angle de frottement interne est élevé et l'adhésion du liant à de telles surfaces est meilleure. Le mode de transport et la nature minéralogique des sables ont une grande influence sur l'aspect de surface des grains.

## V.3. Traitement des sables

Les sables n'ont pas de caractéristiques mécaniques satisfaisantes pour réaliser les différentes couches de chaussées et pour reprendre les sollicitations dues à la circulation, ils sont pratiquement non compactables et leurs portances sont très faibles.

Même après le compactage leurs résistances mécaniques restent faibles, ceci est du à :

- ❖ Le pourcentage des vides élevé (sable propre ou à granulométrie serrée) qui entraîne une grande déformabilité et instabilité ;
- ❖ Les grains de sable vu leur finesse, forment un corps moins rigide, ce qui conduit à ajouter des grains à angularité en vue d'augmenter la cohésion entre ces grains ;
- ❖ Manque de stabilité due au manque de cohésion.

Donc le traitement des sables devient indispensable dans la plupart des couches des chaussées, il a pour but d'améliorer les performances mécaniques des sables. En conclusion le traitement des sables a pour objet de conférer aux sables des caractéristiques mécaniques et de stabilité suffisante, pour qu'ils soient aptes à être utilisés dans les différentes couches de chaussée, et qu'ils résistent aux sollicitations imposées par la circulation.

La solution qui nous intéresse est le traitement aux liants hydrocarbonés, où les grains de sable seront enrobés par ces liants, à chaud ou à froid, ils acquièrent par suite une certaine viscosité, rigidité, et imperméabilité. Ces liants sont les bitumes et ses dérivés :

- ❖ Les émulsions (i.e. à froid, ce qui fera l'objet de notre étude) ;
- ❖ Les bitumes fluidifiés (cut-back) ;
- ❖ Le bitume souffre ;
- ❖ Eventuellement des bitumes modifiés (soit par polymère ou par injection d'un déchet pétrolier).

### V.3.1. Traitement des sables aux liants hydrocarbonés

Le traitement aux liants hydrocarbonés a pour objectif d'améliorer les performances mécaniques des sables, et d'augmenter leur compacité, donc de les rendre aptes à l'utilisation routière.

On sait que les gros granulats en raison de leur rigidité, stabilité et durabilité, satisfont mieux aux exigences routières, ils sont par contre la partie la moins abondante dans la nature (le Sahara plus précisément), la partie déjà au bord de l'épuisement et la partie la plus coûteuse.

Donc, si on voit l'histoire de l'évolution des routes, on remarque le passage de l'usage des gros granulats aux plus fins. C'est ainsi que les graves ont trouvé ces dernières années beaucoup d'emploi, et récemment les sables. Cependant les exigences du trafic dont la sévérité croît rapidement en poids et en densité, impliquent des traitements convenables, étant donné que les sables sont eux même peu satisfaisants (manque de cohésion et de rigidité).

Le traitement des sables est fonction de plusieurs facteurs : la sévérité des conditions de service (un climat chaud exige un bitume dur), la fonction d'une couche traitée dans le corps de chaussée (la résistance aux efforts tangentiels pour les couches supérieures, la perméabilité pour la partie inférieure).

Il est utile de rappeler que la stabilité du mélange sable-liant dépend du sable d'une part et du liant d'autre part. Plus forte est la contribution de l'un moins on est exigeant sur l'autre.

La technique de traitement aux liants hydrocarbonés se divise en deux, comme il est pour les enrobés bitumineux :

- L'enrobage à chaud (cas de sable-bitume « sand-asphalt ») ;
- L'enrobage à froid (cas de sable-émulsion, sable-bitume fluidifié).

Dans notre étude, nous allons employer l'émulsion de bitume comme liant, et on va jouer sur le sable afin d'améliorer les performances de l'enrobé.

#### V.4. Sable bitume en technique routière

Dans les revêtements au mélange sable-bitume, le sable peut être un sable éolien ou un sable de dune ou un sable de rivière, de même qu'un sable de mine ou un sable de mer. Ce sable est agglutiné au moyen d'un liant hydrocarboné.

L'emploi de sable bitume ou sand-asphalt en revêtement, est utilisé actuellement dans plusieurs pays sous différentes appellations, leurs caractéristiques géotechniques sont généralement un peu plus faibles par rapport aux matériaux conventionnels, mais leurs comportements sur chaussée est souvent meilleur.

La stabilité d'un sable bitume ne dépend pas uniquement de la graduation du sable, mais d'autres facteurs qui sont des facteurs de surface de l'agrégat.

##### V.4.1. Définition

Le sable bitume est un mélange d'un ou de plusieurs sables avec du bitume pur. Généralement, le mélange nécessite l'ajout de fines provenant soit des matériaux de concassage-broyage (sable fillérisé, fins calcaires), soit des pulvérulents industriels (chaux, ciment). Le bitume utilisé doit être assez dur, de classe 40/50 ou 20/30 afin d'assurer une rigidité et une stabilité convenable. [11]

### V.4.2. Spécifications

Les spécifications françaises pour les sables bitume tirées d'une communication lors du IIIème congrès algérien de la route [15] :

Pour un trafic inférieur à 1000 véhicules/jour.

Essai	Caractéristiques	Spécifications françaises
Marshall	Stabilité (kg)	≥300
	Compacité (%)	87-94
Hubbard-field	Stabilité (kg)	≥500
	Compacité (%)	88-95
Duriez	Stabilité à sec (kg)	≥500
	Stabilité à immersion (kg)	≥200
	Compacité (%)	85-92

Tableau V.1 : Spécifications pour les sables bitume.

### V.4.3. Chaussées réalisées en sables bitume

La rareté en matériaux pierreux dans certaines régions du sud, a poussé à l'époque les ingénieurs routiers d'utiliser à la place des graves les sables enrobés en revêtement, c'est ainsi que furent réalisés vers la fin des années cinquante, les premiers tronçons situés au Nord-Est du Sahara, avant d'être généralisé à l'ensemble du réseau routier d'El-Oued, Ouargla et Touggourt.

Les principaux tronçons sur lesquels fût utilisée cette technique sont :

- RN.3 : sur une longueur de 140 km entre Still et Touggourt et sur une longueur de 350 km entre Hassi Messaoud et Belguebour ;
- RN.16 : sur un tronçon de 60 km entre El-oued et Tébessa ;
- RN.48 : sur une longueur de 140 km entre Still et El-Oued ;
- RN 49 : sur une longueur de 12 km entre Ouargla et Hassi Messaoud ;
- RN.56 : sur une longueur de 68 km de Touggourt vers Ouargla.

Ces tronçons ont été construits avec des sables prélevés le plus souvent des lieux avoisinant le tracé avec ajout de 1 à 2% de chaux en vue d'améliorer l'adhésivité. Le liant utilisé est un bitume semi-dur 80/100 avec un dosage de 5 à 6%. L'état de surface est amélioré par un cloutage.

Cette expérience était concluante dans la mesure où le comportement mécanique sur les chaussées ainsi réalisées est demeuré satisfaisant même avec un état de dégradation plus ou moins avancé jusqu'aux années quatre-vingt. Depuis, on cherche à utiliser des sables enrobés à froid dans le cadre de revalorisation de la technique sable-bitume.

# Chapitre 6

## **Formulation du sable émulsion**

## VI. Formulation du sable émulsion

### VI.1. Introduction

Le sable bitume est un mélange d'un ou plusieurs sables avec du bitume pur. Si on utilise l'émulsion comme liant, il sera appelé sable émulsion. Généralement le mélange nécessite l'ajout de fines provenant soit des matériaux de concassage-broyage (sable fillérisé, fines calcaires), soit des pulvérulents industriels (chaux, ciments).

Les sables bitumes sont par suite des enrobés appartenant à la classe des enrobés fins. Ils peuvent être utilisés en assises de chaussée ainsi qu'en couche de roulement mais en tenant compte de l'adhésivité entre les différentes couches.

Les sables artificiels (sables concassés ou broyés) et les sables gypseux sont utilisés en apport à un sable naturel pour améliorer ses performances (angularité et granulométrie).

### VI.2. Essais d'identification

#### VI.2.1. Sables

Dans le but de les classer, les sables sont étudiés par des essais d'identification qui sont :

- ❖ Granulométrie ;
- ❖ Equivalent de sable ;
- ❖ Essai de bleu de méthylène ;
- ❖ Analyse chimique sommaire ;
- ❖ Friabilité du sable ;
- ❖ Poids spécifique.

## VI.2.1.1. Sable de dune de Hassi-Berkine

## Analyse chimique

Eléments	Pourcentage (%)
Insoluble (Silice + Silicates) INS	98,17
Oxyde de fer et d'Alumine ( $R_2O_3$ )	1,35
Sulfates ( $SO_4$ Ca, 2 $H_2O$ )	Traces
Chlorures (NaCl)	0,11
Carbonates ( $CO_3$ Ca)	1,75
Anhydride Carbonique ( $CO_2$ )	0,77
Perte au feu à 1050 °C	0,79
Eau de constitution	0,02
<b>BILAN CHIMIQUE PONDERAL</b>	<b>101,4</b>

Tableau VI.1 : Analyse chimique sommaire du sable de dune de Hassi-Berkine.

## Caractéristiques physiques

- Poids spécifique = 2,55 ;
- Equivalent de sable = 82.14 % ;
- Valeur au bleu de méthylène = 0,05 ;
- Friabilité = 7,00 %.

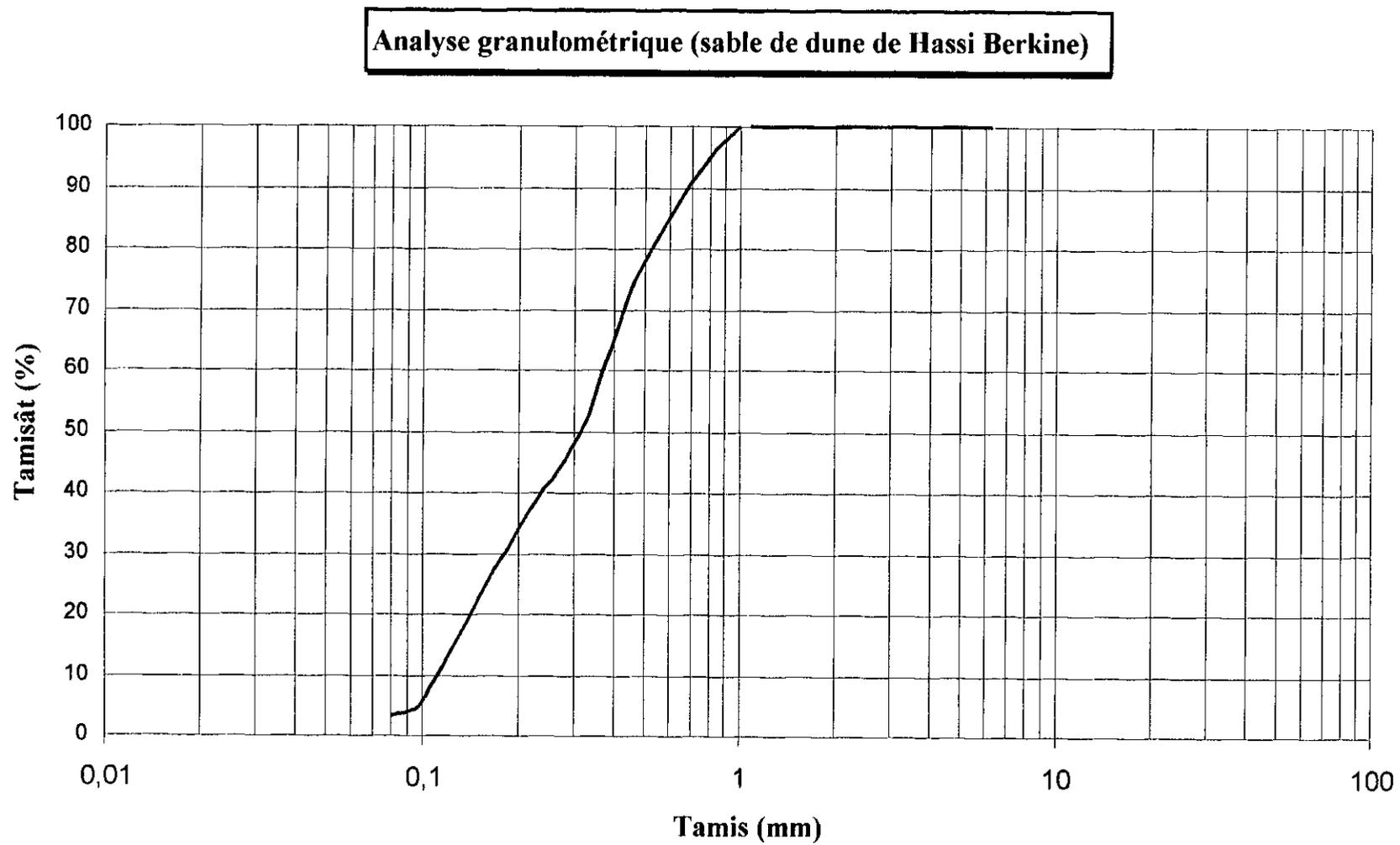


Figure VI.1 : Courbe granulométrique du sable de dune de Hassi-Berkine.

## VI.2.1.2. Sable concassé Haoud El Hamra

## Analyse chimique

Eléments	Pourcentage (%)
Insoluble (Silice + Silicates) INS	33,10
Oxyde de fer et d'Alumine ( $R_2O_3$ )	2,50
Sulfates ( $SO_4 Ca, 2 H_2O$ )	5,14
Chlorures (NaCl)	0,12
Carbonates ( $CO_3 Ca$ )	58,82
Anhydride Carbonique ( $CO_2$ )	25,88
Perte au feu	26,00
Eau de constitution	0,12
<b>BILAN CHIMIQUE PONDERAL</b>	<b>99,78</b>

Tableau VI.2 : Analyse chimique sommaire de sable concassé.

## Caractéristiques physiques

- Poids spécifique = 2,4 ;
- Equivalent de sable = 60.98 % ;
- Valeur au bleu de méthylène = 0,10 ;
- Friabilité = 34,00 %.

Analyse granulométrique ( sable concassé du Haoud El Hamra)

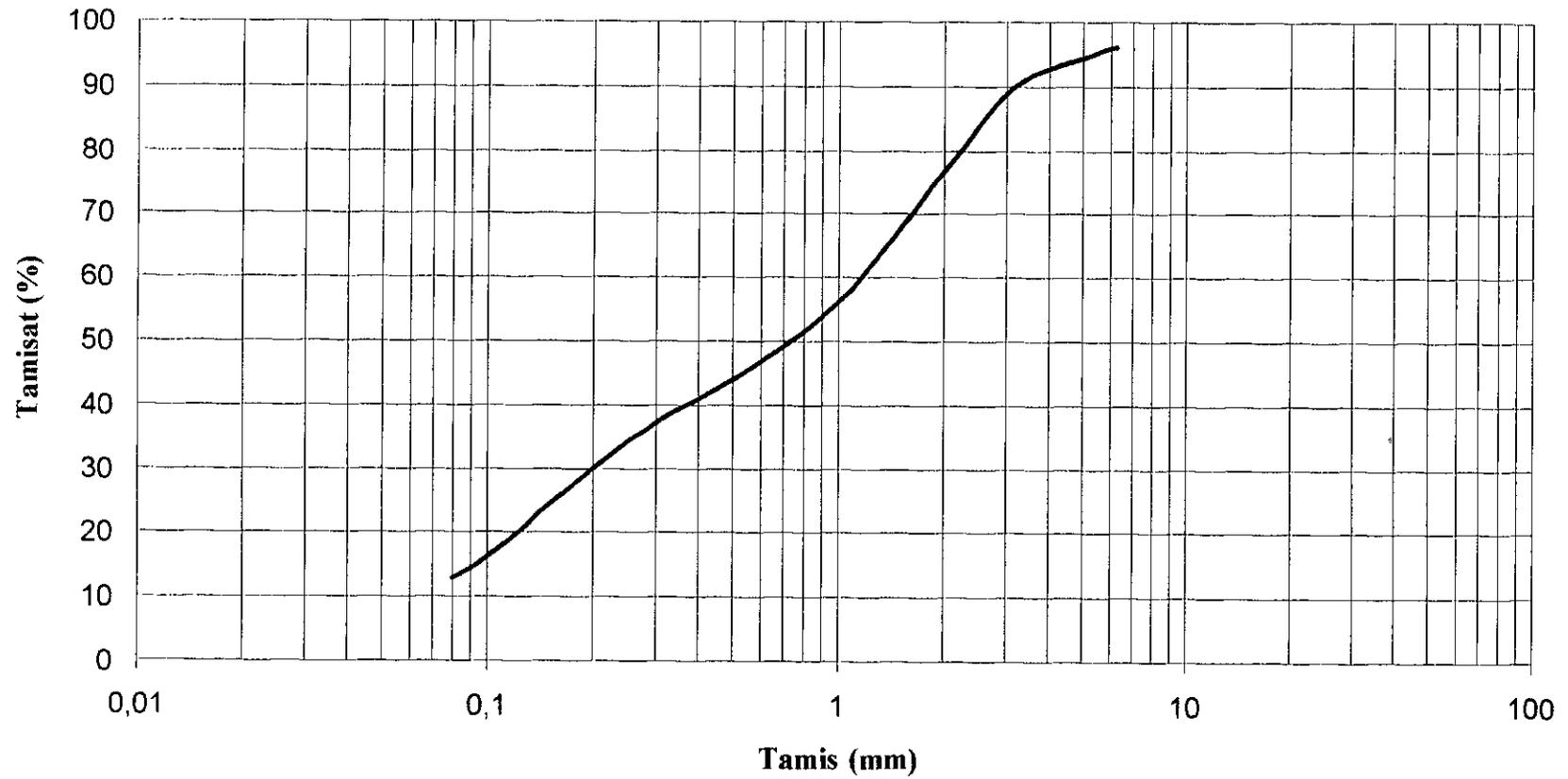


Figure VI.2 : Courbe granulométrique du sable concassé.

## VI.2.1.3. Sable gypseux

## Analyse chimique

Eléments	Pourcentage (%)
Insoluble (Silice + Silicates) INS	10,95
Oxyde de fer et d'Alumine ( $R_2O_3$ )	1,32
Anhydride ( $SO_4 Ca, 2 H_2O$ )	8,68
Gypses ( $SO_4 Ca, 2 H_2O$ )	49,64
Chlorures (Nacl)	0,70
Carbonates ( $CO_3 Ca$ )	27,19
Perte au feu	26,12
Eau de constitution	14,16
Eau de cristallisation	10,39
<b>BILAN CHIMIQUE PONDERAL</b>	<b>102,25</b>

Tableau VI.3 : Analyse chimique sommaire de sable gypseux.

## Caractéristiques physiques

- Poids spécifique = 2,18 ;
- Equivalent de sable = 30,35 % ;
- Valeur au bleu de méthylène = 1,05.

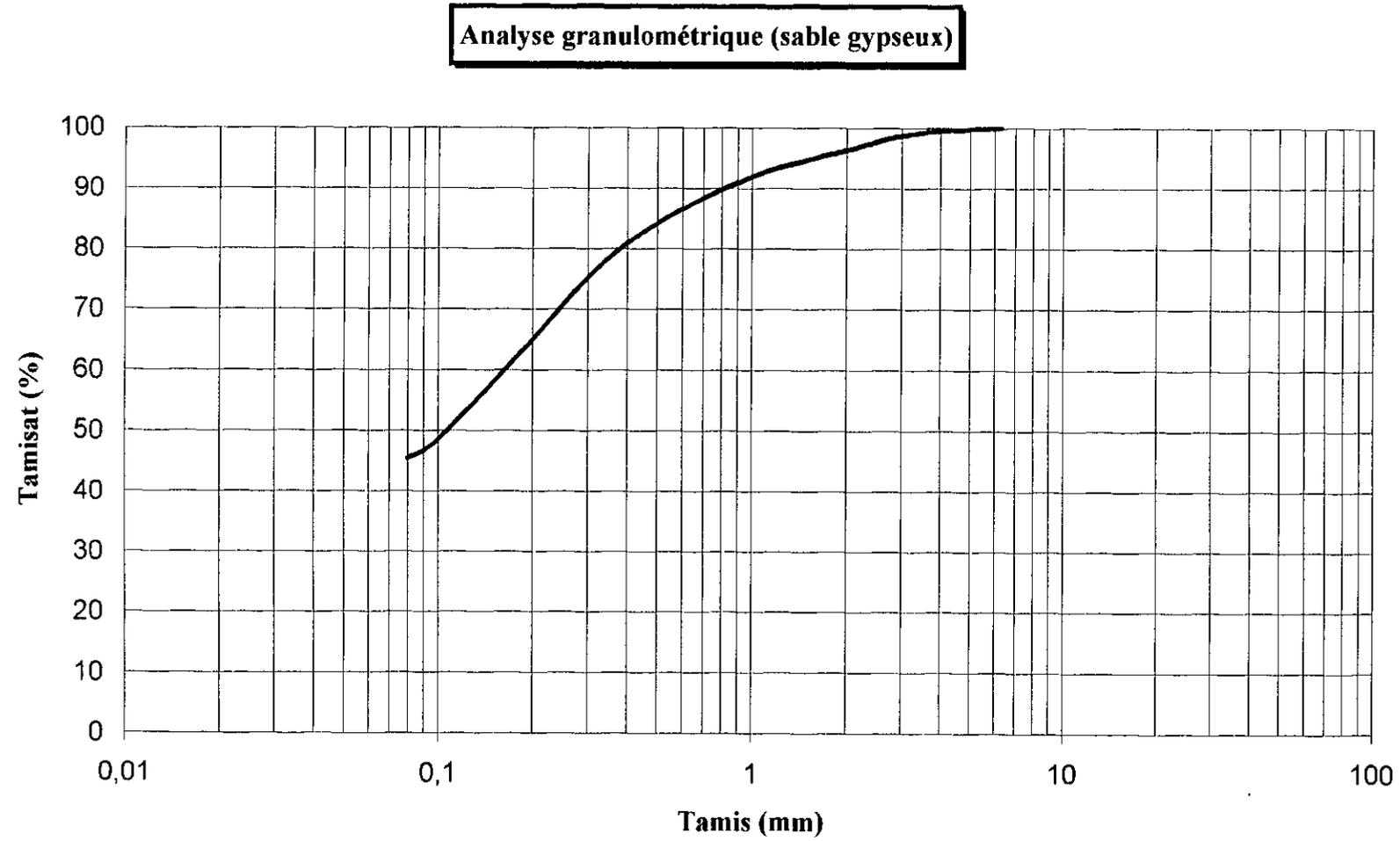


Figure VI.3 : Courbe granulométrique du sable gypseux.

## VI.2.2. Emulsion de bitume

### VI.2.2.1. Essais sur l'émulsion

- Détermination de la teneur en eau ;
- Détermination de la pseudo-viscosité Engler ;
- Détermination de l'indice de rupture ;
- Détermination du pH de l'émulsion.

Les résultats de ses essais sont résumés dans le tableau suivant :

Teneur en eau %	30
Pseudo-viscosité Engler à 25°C	7
Indice de rupture	96.4
pH de l'émulsion	3.88

Tableau VI.4 : Caractéristiques de l'émulsion.

### VI.2.2.2. Classification de l'émulsion

D'après le tableau VI.4 notre émulsion est une émulsion à rupture rapide.

Caractéristiques	Méthodes normalisées de référence	Rapide			Semi-rapide			Lente			Surstabilisée	
		Classes			Classes			Classes			Classes	
		ECR 60	ECR 65	ECR 69	ECM 60	ECM 65	ECM 69	ECL 55	ECL 60	ECL 65	ECS 55	ECS 60
Teneur en eau (%)	NF T 66-023	39 à 41	34 à 36	30 à 32	39 à 41	34 à 36	30 à 32	44 à 46	39 à 41	34 à 36	44 à 46	39 à 41
Pseudo viscosité Engler à 25°C	NF T 66-020	2 à 15	> 6	—	> 2	> 6	—	< 15	2 à 15	> 6	< 15	> 2
Pseudo viscosité STV à 25°C		—	> 9	< 18	—	> 9	—	—	—	—	—	< 18
Homogénéité :	NF T 66-016	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
-particules supérieures à 0.63 mm		< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25	< 0.25
-particules comprises entre 0.6 mm et 0.16 mm												
Stabilité au stockage par décantation	T 66-022	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Adhésivité :	NF T 66-018	≥ 90	≥ 90	≥ 90	≥ 90	≥ 90	≥ 90	—	—	—	—	—
-émulsion a stockage limité		≥ 75	≥ 75	≥ 75	≥ 75	≥ 75	≥ 75	—	—	—	—	—
1 <sup>ère</sup> partie de l'essai												
2 <sup>ème</sup> partie de l'essai												
-émulsion stockable					≥ 75	≥ 75	≥ 75	≥ 75	≥ 75	≥ 75	—	—
Indice de rupture	NF T 66-017	< 100	< 100	< 100	80à140	80à140	80à140	> 120	> 120	> 120	—	—
Stabilité au ciment	NF T 66-024	—	—	—	—	—	—	—	—	—	≤ 2	≤ 2
Charge de particules	NF T 66-021	positive	positive	positive	positive	positive	positive	positive	positive	positive	positive	positive

Tableau VI.5: Emulsions cationiques.

### VI.2.3. Bitume pur 40/50

#### VI.2.3.1. Essai sur le bitume 40/50

- Essai de point de ramollissement ;
- Essai de pénétrabilité à 25 °C ;
- Essai de température Bille & Anneau.

Les résultats de ses essais sont résumés dans le tableau suivant :

Pénétrabilité à 25 °C, 100 g, en 5 sec	43
Point de ramollissement en °C « T <sub>BA</sub> »	55 °C
Point d'inflammabilité	280 °C

Tableau VI.6 : Caractéristique du bitume 40/50.

## VI.3. La formulation

### VI.3.1. Principe de formulation

La formulation d'un enrobé consiste à rechercher dans un premier temps, les meilleures proportions de ses différents constituants, après d'être assuré de leur compatibilité, puis à évaluer à l'aide de tests de laboratoire suffisamment prédictifs, d'une part, le comportement de l'enrobé mis en œuvre, et d'autre part sa durabilité sur la chaussée.

Dans la phase malaxage/répendage, qui a lieu presque simultanément, l'enrobé doit être suffisamment liquide pour bien se répandre sur la chaussée et il doit être assez épais pour éviter la ségrégation des granulats. A jeune âge, il doit être assez cohésif pour supporter une remise au trafic dans les délais les plus brefs. Au cours de sa vie l'enrobé doit ensuite compter sur un certain nombre de qualités telle que l'imperméabilité, le collage sur le support, une bonne rugosité, une bonne résistance à l'abrasion et à l'orniérage. Ces dernières caractéristiques reposent sur la bonne formulation du liant résiduel, la nature et les propriétés des granulats déterminant la rugosité et la résistance à l'abrasion des enrobés.

Dans la perspective d'un nouveau chantier, le formulateur, après avoir choisi la granularité continue ou discontinue, va devoir sélectionner et associer les matières premières décrites précédemment pour atteindre deux objectifs bien distincts :

- Pouvoir fabriquer, mettre en œuvre un enrobé de qualité, ouvrir au trafic le revêtement dans un délai compatible avec les contraintes du trafic, ceci en prenant en compte les conditions climatiques du moment ;
- Obtenir de façon durable une qualité d'enrobage et des caractéristiques de surface (macro-texture, adhérence, niveau sonore) requises pour le site considéré.

Donc la formulation des enrobés bitumineux consiste à :

- Choisir la granulométrie de l'ossature qui conduit à un minimum de vides ;
- Rechercher la quantité de liant optimale, (i.e. capable à la fois d'enrober totalement les grains du mélange et d'en permettre l'agglutination totale suivant le meilleur arrangement).

Le procédé de formulation adopté est celui de Duriez, donc la teneur en liant d'un enrobé bitumineux sera exprimée par la formule de Duriez : [2]

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

Cette teneur, dépendra de la granulométrie du matériau minéral, plus précisément de sa surface spécifique qui est en rapport directe avec la teneur en filler ; de ce fait, cette formule sera utilisée pour déterminer le pourcentage de liant dans les mélanges par suite dans la 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> série d'essais.

Avec :

$\alpha$  : Coefficient correcteur destiné à tenir compte de la masse volumique des granulats,  $\alpha = 2,65/\gamma_G$ , où  $\gamma_G$  : masse volumique réelle des granulats ;

K : module de richesse ;

$\Sigma$  : Surface spécifique conventionnelle :

$$\Sigma = 4,75 + 1,3 f$$

f : pourcentage de fines (d < 0,08 mm).

**Notion du module de richesse :**

Le module de richesse caractérise l'épaisseur du film de liant enrobant le matériau minéral, les valeurs de K sont fonctions de la déformabilité, du climat, de la nature et de l'intensité du trafic. A titre indicatif, les valeurs de K généralement adoptées sont les suivantes : [7]

$K=3.75$  route très circulée ;

$K=3.85$  piste d'envol ;

$K=4$  route peu circulée ;

$K=4.25$  revêtements minces sur sous couche déformable.

**VI.3.1.1. Détermination des compacités**

La densité vraie de l'éprouvette est donnée par la formule :

$$D_m = \frac{100}{P_b / d_b + P_a / d_a}$$

Avec :

$d_m$  : La densité apparente de l'éprouvette ;

$d_b$  : La densité du bitume ;

$d_a$  : la densité de l'agrégat ;

$P_b$  : le pourcentage en poids du bitume ;

$P_a$  : le pourcentage en poids de l'agrégat.

Le pourcentage volumétrique des vides résiduels est donné par :

$$V_m = \frac{D_m - d_m}{D_m}$$

La compacité C ou pourcentage volumétrique des pleins est :

$$C = 100 - V_m$$

## VI.3.2. Programme de l'expérimentation

### VI.3.2.1. Présentation du travail

Pour notre étude expérimentale, nous allons confectionner différentes éprouvettes d'enrobé et ensuite, on va les soumettre à l'essai Hubbard-Field afin de suivre leurs stabilités en procédant comme suit :

En première phase nous allons formuler un enrobé à froid : tout d'abord déterminer la teneur en liant optimale en utilisant uniquement du sable de dune, puis en maintenant cette teneur optimale nous allons incorporer différentes fractions de sable concassé de 5 à 35% par pas de 10 %, même chose avec le sable gypseux.

Formuler en seconde phase, un enrobé à chaud en maintenant la teneur optimale précédente ceci en vue de faire une comparaison des stabilités.

La stabilité Hubbard-Field « H.F » est définie comme étant la résistance à la déformation des enrobés fins tels que les sables enrobés, l'essai H.F consiste à mesurer sous quelle force une éprouvette de 100g d'enrobé fin compacté peut s'extruder à travers un orifice calibré, l'essai se fait à 60°C et à 18°C, sous vitesse de chargement de 1 mm/sec. (*Voir annexes*)

## VI.3.2.2. Première série d'essais (Enrobé à froid)

Cette série d'essais a été réalisée à différents pourcentages en émulsion sur le sable de dune pris seul (i.e. à 100% Sable de dune), les résultats de stabilité Hubbard-Field sont résumés dans le tableau suivant :

% Bitume	5,5	6	6,5	7	7,5	8
% Emulsion	7,86	8,57	9,29	10,00	10,71	11,43
% des fines	3.28					
Module de richesse K	4,87	5,31	5,58	6,20	6,64	7,08
Poids à l'air (g)	105,17	106,3	106,53	107,58	108,08	109,33
Densité apparente	1,99	1,99	1,99	2,01	2,02	2,03
Densité théorique	2,37	2,36	2,34	2,33	2,32	2,30
Compacité (%)	83,97	84,32	85,04	86,27	87,07	88,26
Stabilité H.F à 18°C (Kg)	253,97	281,22	324,82	345,53	335,82	329,18
Stabilité H.F à 60°C (Kg)	63,57	71,94	80,66	88,31	83,93	56,70

Tableau VI.7: Résultats des essais Hubbard-Field obtenus avec le sable de dune de Hassi-Berkine.

L'évolution des différentes performances est représentée dans les figures VI.4 et VI.5 ci-après :

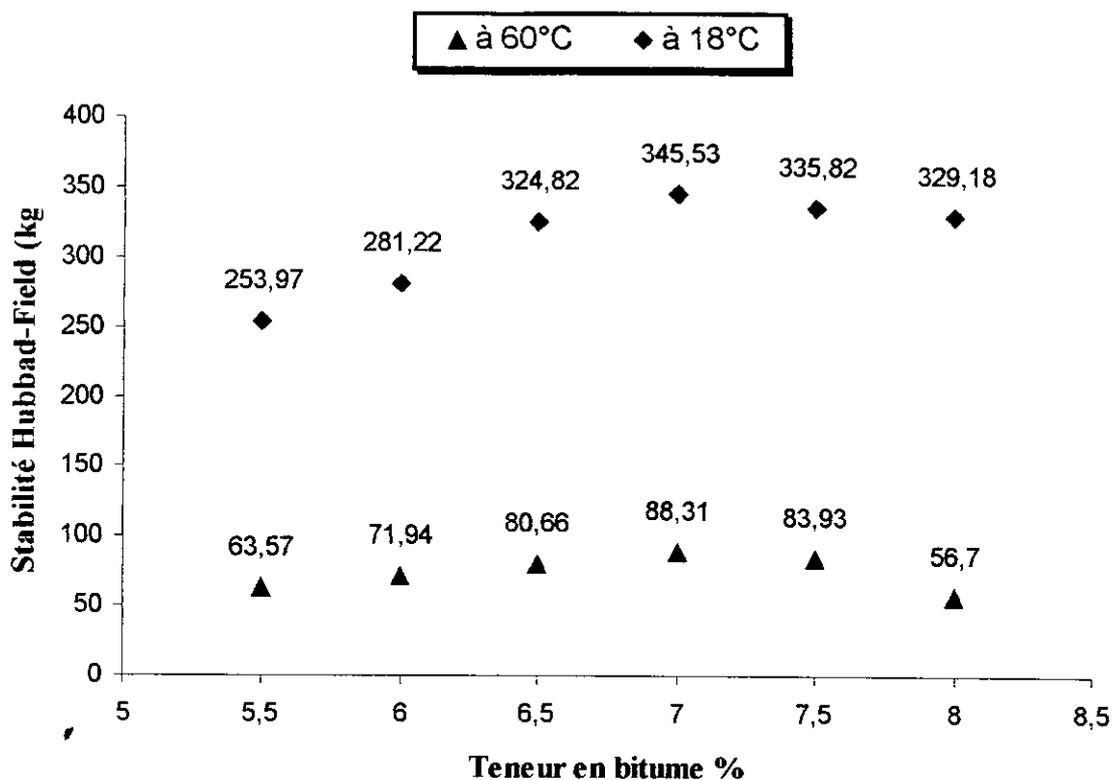


Figure VI.4 : Variation de la stabilité H.F en fonction de la teneur en bitume (100% sable de dune).

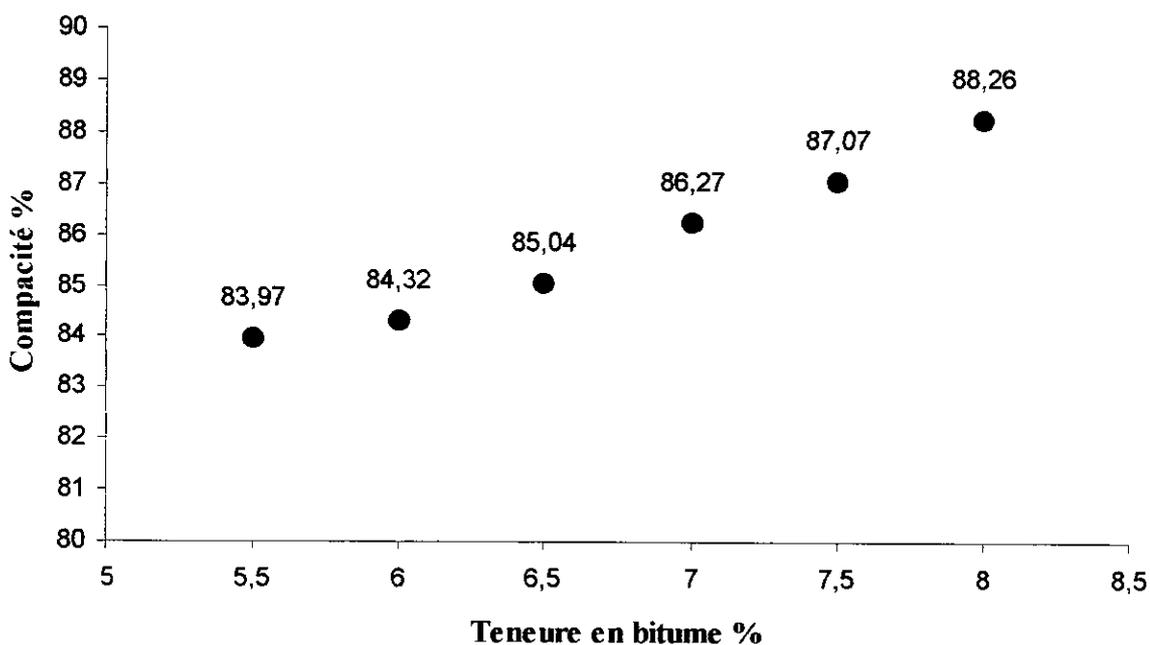


Figure VI.5 : Variation de la compacité en fonction de la teneur en bitume (100% sable de dune).

## Interprétation

En utilisant 100% sable de dune et en faisant varier le pourcentage de bitume résiduel de l'émulsion de 5.5 à 8% par pas de 0.5%, on remarque que la courbe « stabilité H.F, teneur en bitume » a une allure parabolique, elle présente une augmentation de stabilité jusqu'à une teneur de 7% de bitume :

- A 18°C de 253.97 kg à 345.53 kg ;
- A 60°C de 63.57 kg à 88.31 kg.

Dans cette phase, le liant constitue un film entre les grains, ce qui favorise la cohésion intergranulaire. Après cette teneur « 7% », la courbe présente une chute de stabilité expliquée par un excès de liant qui ne permet pas un contact entre les grains.

Tandis que les compacités, croient avec la teneur en liant qui remplit les vides, mais elles demeurent insuffisantes (cf. tableau V.1) du fait de la granulométrie serrée du sable de dune qui présente beaucoup de vides et qui ne permet pas de donner un bon arrangement des grains après compactage.

Pour remédier à cette insuffisance de stabilité et de compacité, on s'efforcera à avoir une granulométrie plus étalée par adjonction d'un sable concassé ou gypseux tout en maintenant la teneur en liant optimal.

### VI.3.2.3. Deuxième série d'essai (Enrobé à froid)

On a corrigé la granulométrie du sable de dune par un sable de concassage puis par un sable gypseux. Si on fait varier le pourcentage de sable stabilisant (sable concassé ou gypseux), le pourcentage d'éléments fins varie dans les mélanges.

Donc la surface spécifique sera :  $\Sigma = 4,75 + 1,3 f$

Le pourcentage en liant sera :  $P = \alpha K \sqrt[3]{\Sigma}$

Pour le module de richesse, il sera déterminé de la 1ère série d'essais ( $K=P/\alpha \sqrt[3]{\Sigma}$ ) pour l'optimum de 7 % de bitume résiduel qui correspond à 10% d'émulsion.

**Stabilisation par le sable concassé de Haoud El Hamra (sable émulsion)**

On a corrigé la granulométrie du sable de dune par un sable concassé.

Des essais ont été réalisés à différents pourcentages de sable gypseux (5 à 35%) par rapport au sable de dune et par pas de 10 %. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Module de richesse K	6,20				
Sable de dunes (%)	100	95	85	75	65
Sable concassé (%)	0	5	15	25	35
% des fines	3,28	3,76	4,73	5,69	6,65
% Bitume	7,00	7,12	7,34	7,55	7,74
% Emulsion	10,00	10,17	10,48	10,78	11,05
Poids à l'air (g)	107,07	109,43	109,13	109,77	108,83
Densité apparente	2,00	2,01	2,03	2,06	2,07
Densité théorique	2,33	2,32	2,28	2,29	2,27
Compacité (%)	85,84	86,64	89,04	89,96	91,19
Stabilité H.F à 18 °C (Kg)	183,12	228,90	369,51	495,40	636,02
Stabilité H.F à 60 °C (Kg)	32,34	49,05	70,85	153,14	223,45

Tableau VI.8 : Résultats des essais Hubbard-Field obtenus avec le mélange (sable de dunes + sable concassé) pour un enrobé à froid.

L'évolution des différentes performances est représentée dans les figures VI.6 et VI.7 ci-après :

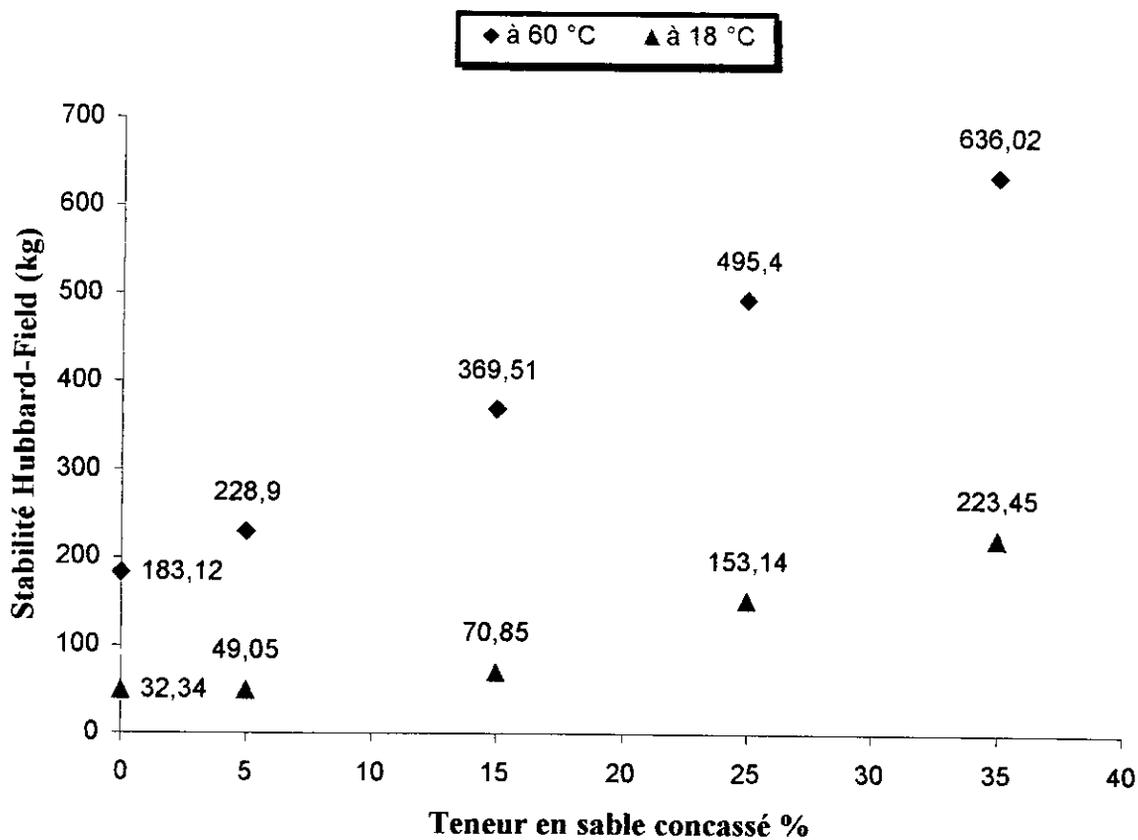


Figure VI.6 : Variation de la stabilité H.F en fonction de la teneur en sable concassé.

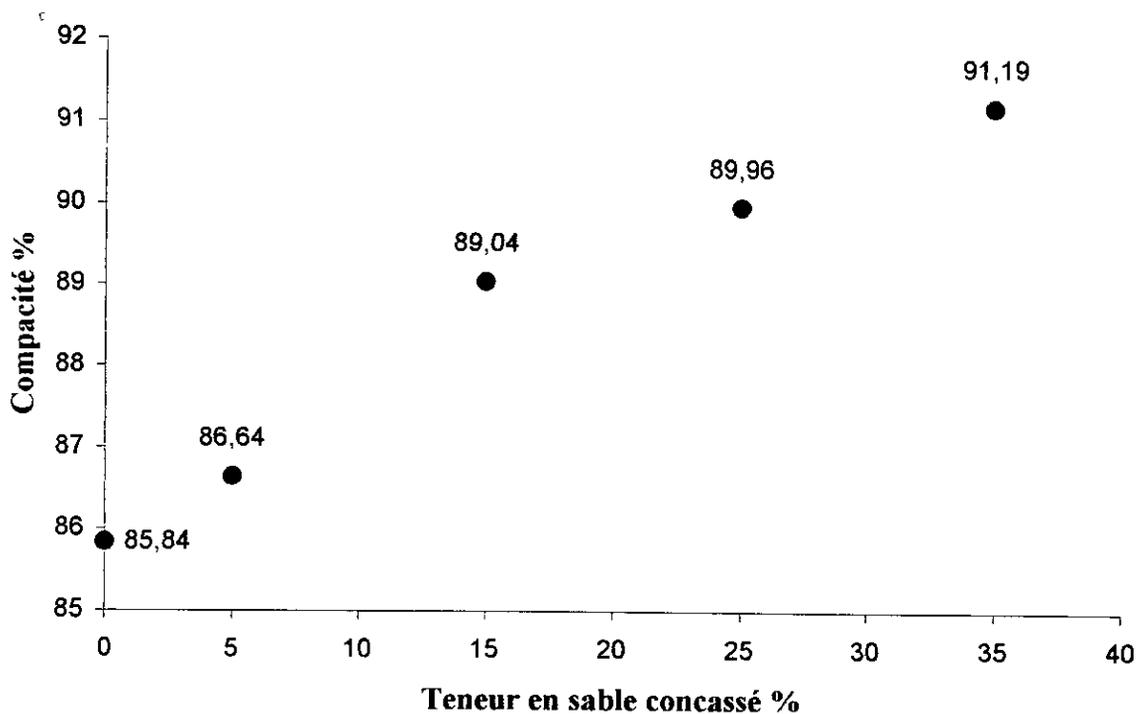


Figure VI.7 : Variation de la compacité en fonction de la teneur en sable concassé.

## Interprétation

On remarque que la stabilité H.F augmente linéairement avec le pourcentage du sable concassé, ceci s'explique par la teneur en fines et l'aspect anguleux que présentent les grains du sable concassé ; les fines vont augmenter le pouvoir agglutinant du liant et l'angularité favorise les frottements entre grains ce qui améliore la cohésion intergranulaire.

De même que pour la stabilité, l'amélioration de la compacité est due à une amélioration de la granulométrie du sable de dune qui devient moins serrée avec l'ajout du sable concassé. Ceci favorise le réarrangement des grains entre eux.

La stabilité à 18°C passe de 183.12 kg pour 0% de sable concassé à 636.02 kg pour 35% de sable concassé. A 60°C elle passe de 32.34 kg pour 0% de sable concassé à 223.45 kg pour 35% de sable concassé.

## Stabilisation par le sable gypseux (sable émulsion)

On a corrigé la granulométrie du sable de dunes par un sable gypseux.

Des essais ont été réalisés à différents pourcentages de sable gypseux (5 à 35 %) par rapport au sable de dunes et par pas de 10 %. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Module de richesse K	6,20				
Sable de dunes (%)	100	95	85	75	65
Sable gypseux (%)	0	5	15	25	35
% des fines	3,28	5,38	9,59	13,80	18,01
% Bitume	7,00	7,44	8,15	8,74	9,27
% Emulsion	10,00	10,63	11,64	12,48	13,24
Poids à l'air (g)	107,87	108,37	109,20	109,40	109,40
Densité apparente	2,00	1,99	2,05	2,04	2,03
Densité théorique	2,33	2,30	2,25	2,22	2,17
Compacité (%)	85,84	86,52	91,11	91,89	93,55
Stabilité H.F à 18 °C (Kg)	183,12	283,95	768,45	1361,96	1512,92
Stabilité H.F à 60 °C (Kg)	32,34	80,66	373,33	815,77	1345,78

Tableau VI.9 : Résultats des essais Hubbard-Field obtenus avec le mélange (sable de dunes + sable gypseux) pour un enrobé à froid.

L'évolution des différentes performances est représentée dans les figures VI.8 et VI.9 ci-après :

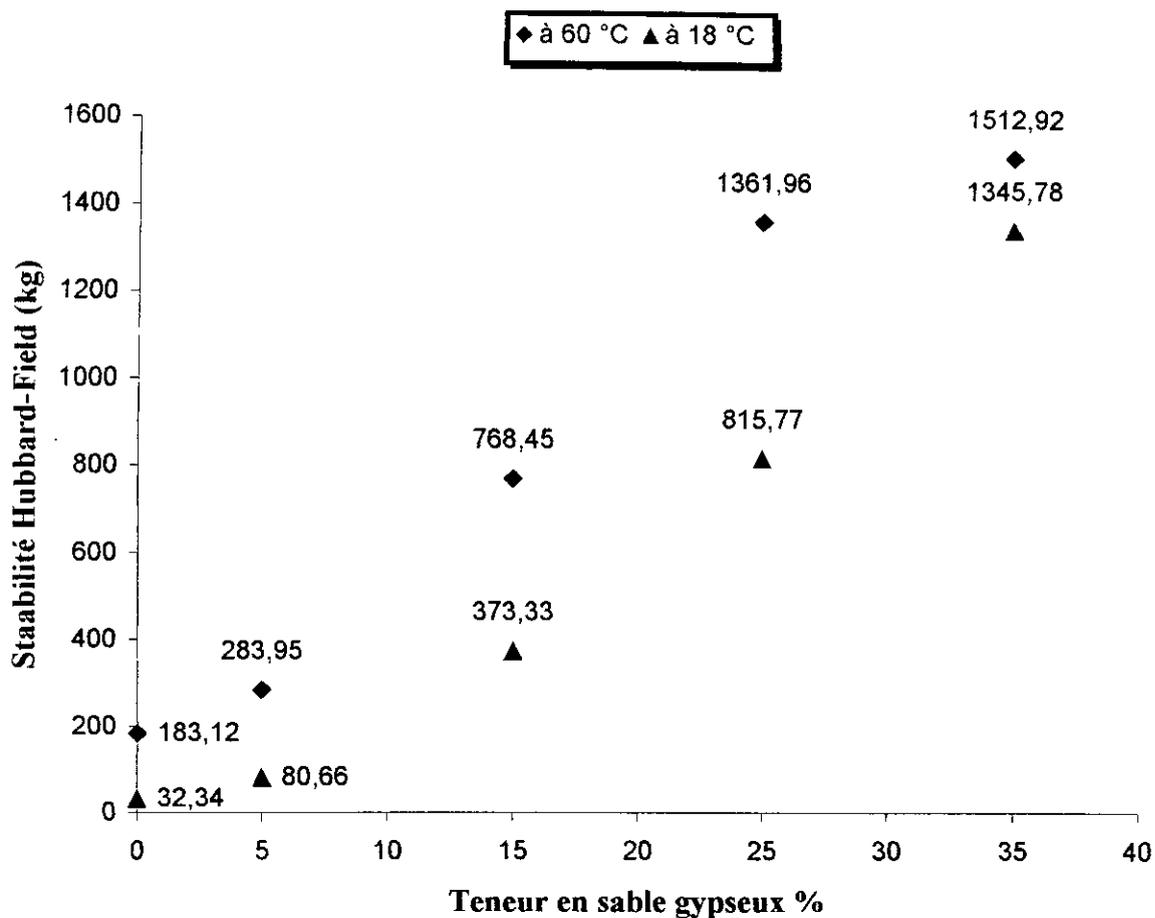


Figure VI.8 : Variation de la stabilité H.F en fonction de la teneur en sable gypseux.

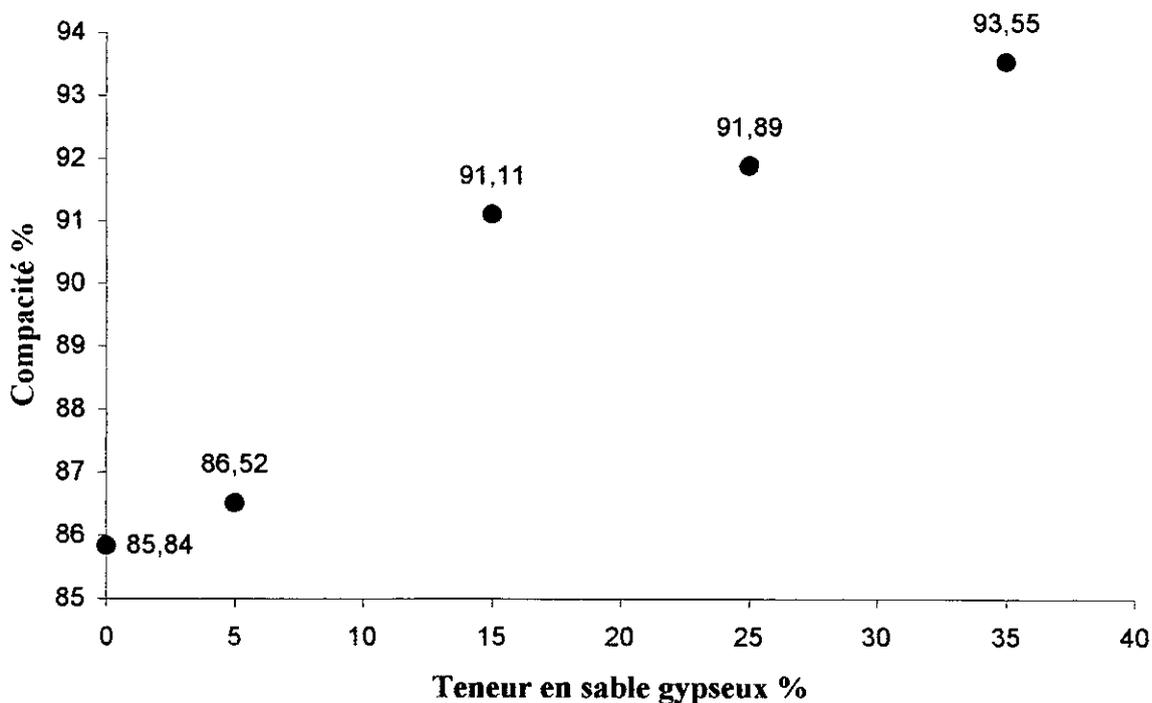


Figure VI.9 : Variation de la compacité en fonction de la teneur en sable gypseux.

## Interprétation

On remarque que la stabilité H.F augmente linéairement avec le pourcentage du sable gypseux, ceci s'explique par la teneur en fines importante qu'il contient (45,36%) ; ces fines vont augmenter le pouvoir agglutinant du liant, ce qui favorise la cohésion.

De même que pour la stabilité, l'amélioration de la compacité est due à une amélioration de la granulométrie du sable de dune qui devient moins serrée avec l'ajout du sable gypseux et au grand pourcentage de fines qui comblent les vides, et on aura par suite une compacité plus élevée.

La stabilité à 18°C passe de 183.12 kg pour 0% de sable gypseux à 1512.92 kg pour 35% de sable gypseux. A 60°C elle passe de 32.34 kg pour 0% de sable concassé à 1345.78 kg pour 35% de sable gypseux.

## VI.3.2.4. Troisième série d'essais (Enrobé à chaud)

## Stabilisation par le sable concassé de Haoud-El-Hamra (Enrobé au bitume 40/50)

Des essais ont été réalisés à différents pourcentages de sable concassé (5 à 35%) sur le sable de dunes pris. Le pourcentage de bitume utilisé dans ces essais est calculé en fonction du pourcentage de bitume résiduel de l'émulsion (70 % de bitume résiduel) pour un optimum de 10 % d'émulsion, donc l'optimum pour le bitume résiduel est égale 7 %. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Bitume 40/50					
Module de richesse K	4,34				
Sable de dunes (%)	100	95	85	75	65
Sable concassé (%)	0	5	15	25	35
% des fines	3,28	3,76	4,73	5,69	6,65
% Bitume	7,00	7,12	7,34	7,55	7,74
Poids à l'air (g)	105,93	105,33	107,43	107,20	107,87
Densité apparente	1,96	1,99	2,02	2,01	2,05
Densité théorique	2,33	2,32	2,30	2,28	2,27
Compacité (%)	84,18	85,86	87,85	88,11	90,47
Stabilité H.F à 18°C (Kg)	1200	1450	1583	1830	2256
Stabilité H.F à 60°C (Kg)	202,50	437,50	493,50	525,00	725,00

Tableau VI.10 : Résultats des essais Hubbard-Field obtenus avec le mélange (sable de dunes + sable concassé) pour un enrobé à chaud.

L'évolution des différentes performances est représentée dans les figures VI.10 et VI.11 ci-après :

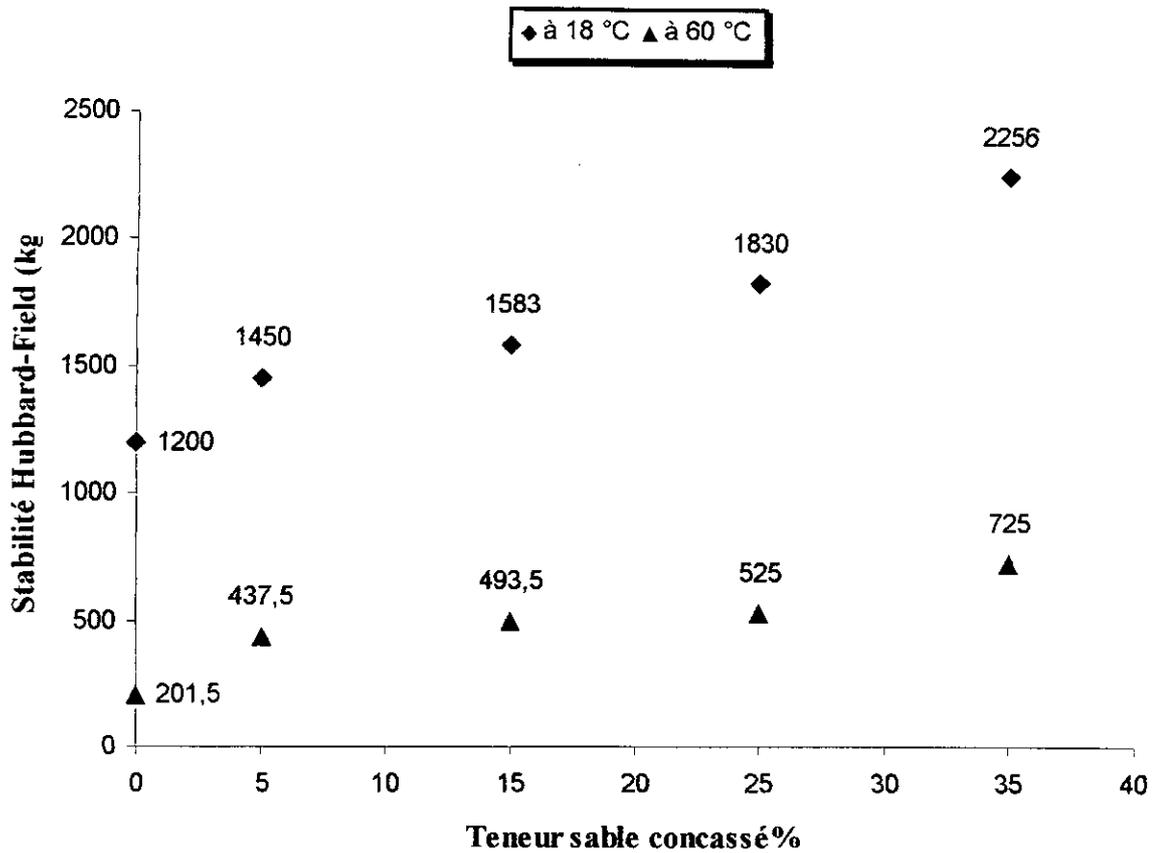


Figure VI.10 : Variation de la stabilité H-F en fonction de la teneur en sable concassé (à chaud).

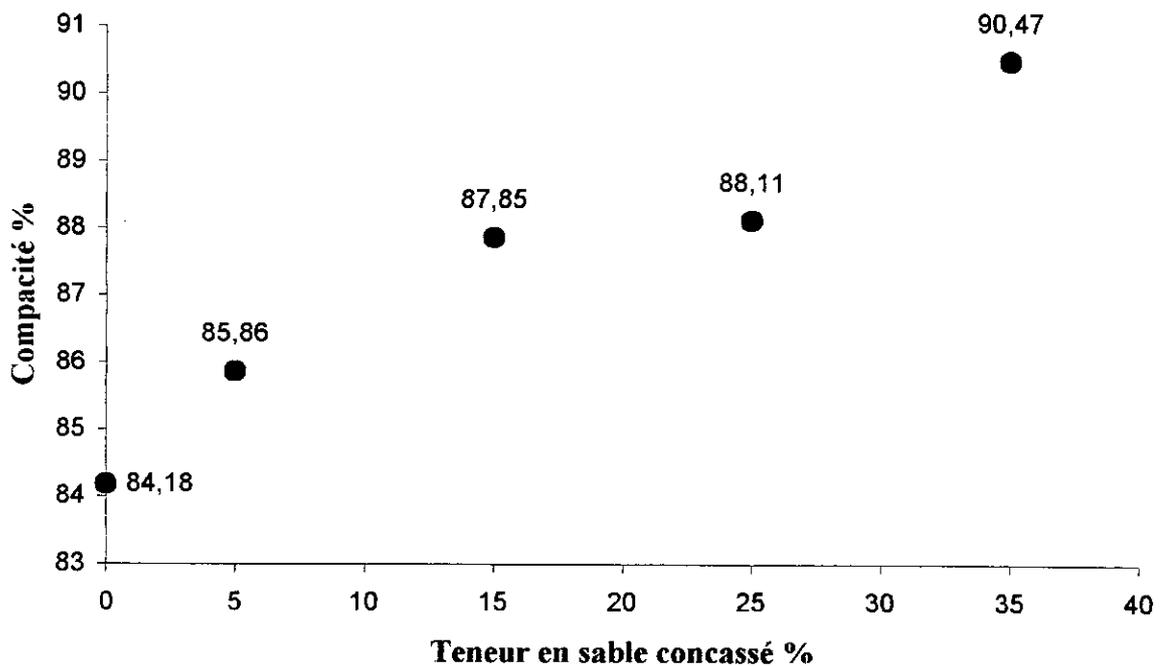


Figure VI.11 : Variation de la compacité en fonction de la teneur en sable concassé (à chaud).

### Interprétation

On remarque que la stabilité H.F et la compacité du sable bitume augmentent linéairement avec le pourcentage du sable concassé de même que pour le sable émulsion.

La stabilité à 18°C passe de 1200 kg pour 0% de sable concassé à 2256 kg pour 35% de sable concassé. A 60°C elle passe de 202.5 kg pour 0% de sable concassé à 725 kg pour 35% de sable concassé.

### Stabilisation par le sable gypseux (Enrobé à chaud au bitume 40/50)

Des essais ont été réalisés à différents pourcentages de sable gypseux (5 à 35%) sur le sable de dunes pris séparément. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Bitume 40/50					
Module de richesse K	4,34				
Sable de dunes (%)	100	95	85	75	65
Sable gypseux (%)	0	5	15	25	35
% des fines	3,28	5,38	9,59	13,80	18,01
% Bitume	7,00	7,44	8,15	8,74	9,27
Poids à l'air (g)	105,93	106,97	108,00	107,73	107,67
Densité apparente	1,96	1,96	1,99	1,98	1,96
Densité théorique	2,33	2,30	2,25	2,22	2,18
Compacité (%)	84,18	85,20	88,68	89,41	90,04
Stabilité H.F à 18°C (Kg)	1200	1250	1725	1890	2406,66
Stabilité H.F à 60°C (Kg)	202,50	410,00	480,00	977,50	1443,33

Tableau VI.11 : Résultats des essais Hubbard-Field obtenus avec le mélange (sable de dunes + sable gypseux) pour un enrobé à chaud.

L'évolution des différentes performances est représentée dans les figures VI.12 et VI.13 ci-après :

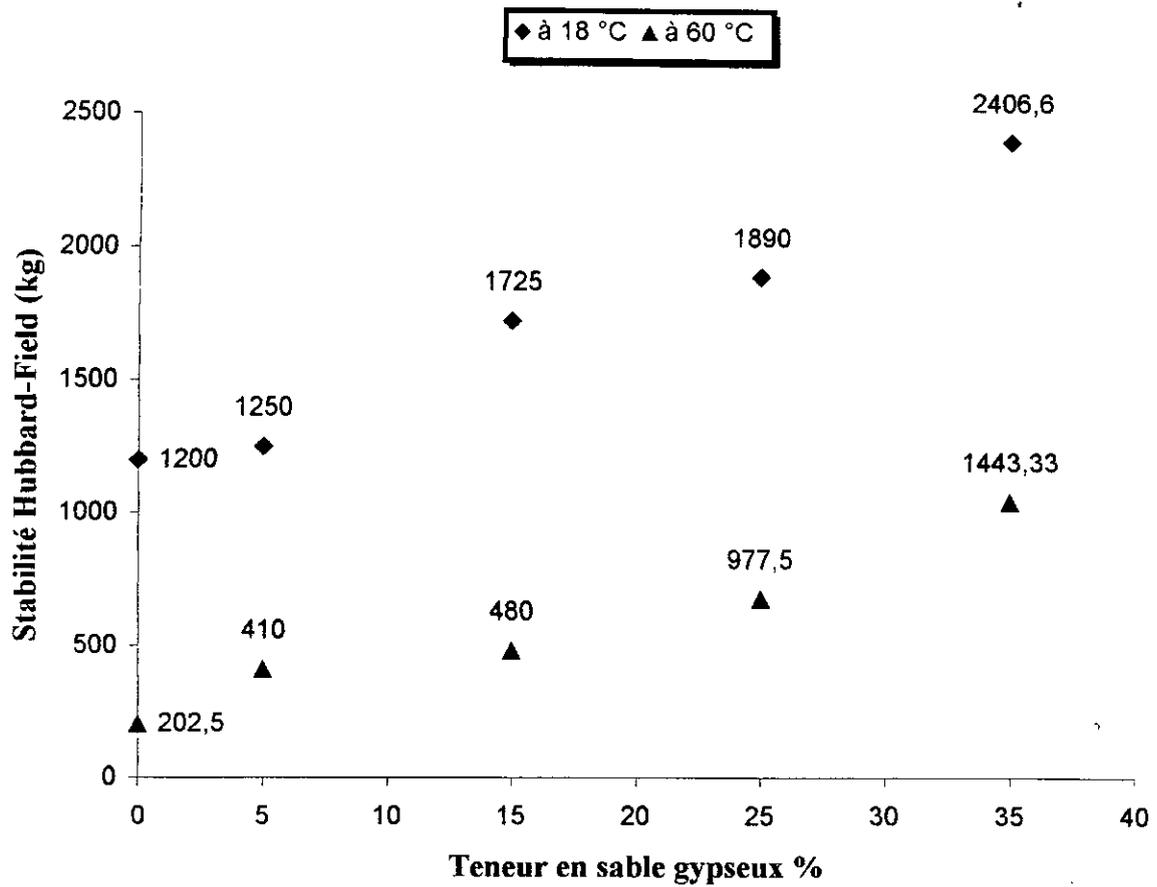


Figure VI.12 : Variation de la stabilité Hubbard-Field en fonction de la teneur en sable gypseux (à chaud).

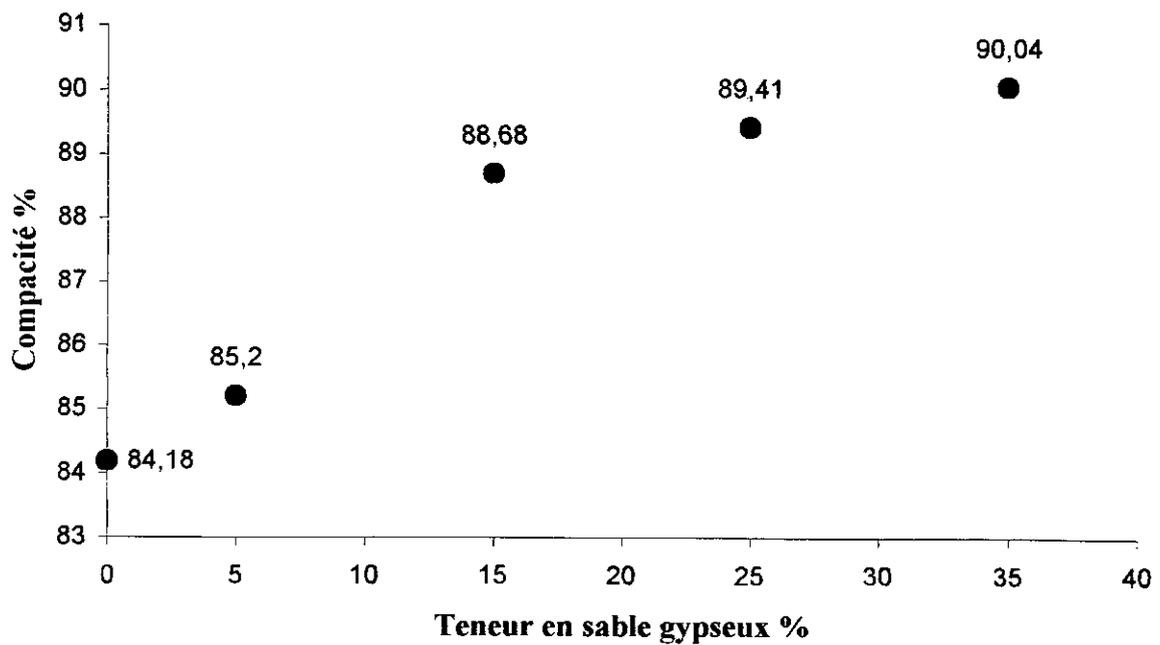


Figure VI.13 : Variation de la compacité en fonction de la teneur en sable gypseux (à chaud).

## Interprétation

On remarque que la stabilité H.F et la compacité du sable bitume augmentent linéairement avec le pourcentage du sable gypseux.

La stabilité à 18°C passe de 1200 kg pour 0% de sable gypseux à 2406.6 kg pour 35% de sable concassé. A 60°C elle passe de 202.5 kg pour 0% de sable concassé à 1443.33 kg pour 35% de sable concassé.

## VI.3.2.5. Influence du pourcentage des fines

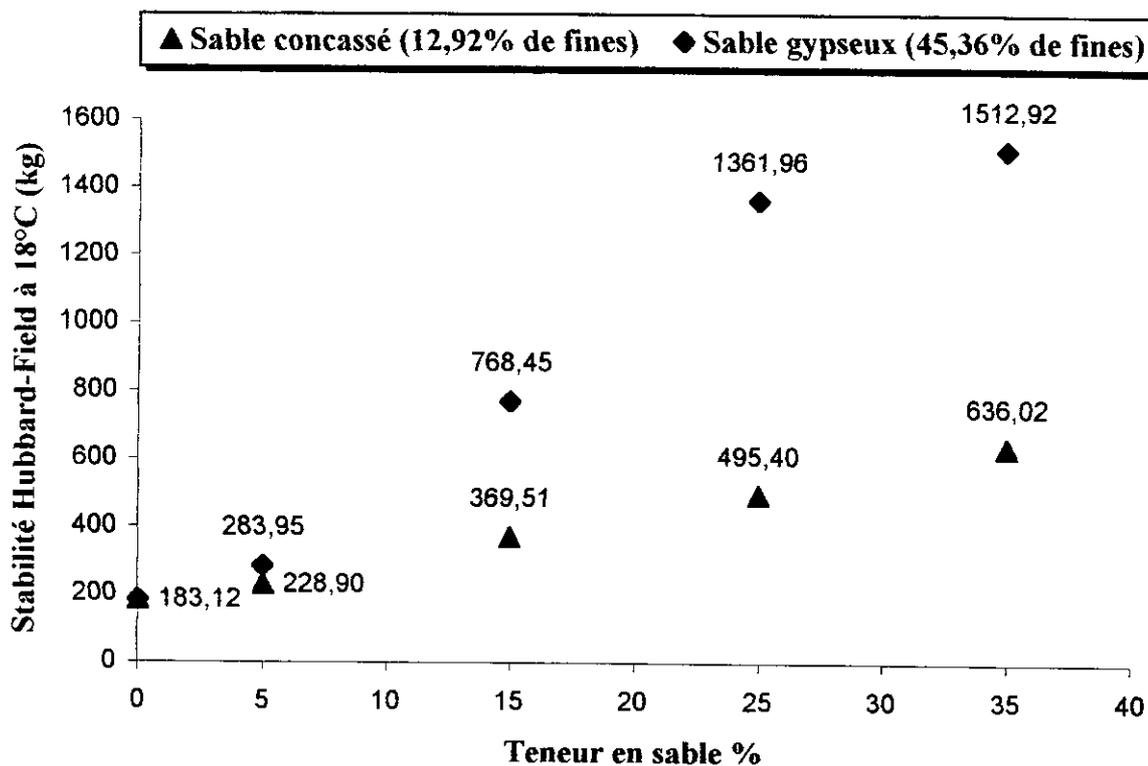


Figure VI.14 : Influence de la teneur en fines sur la stabilité H.F à 18°C pour un enrobé à froid.

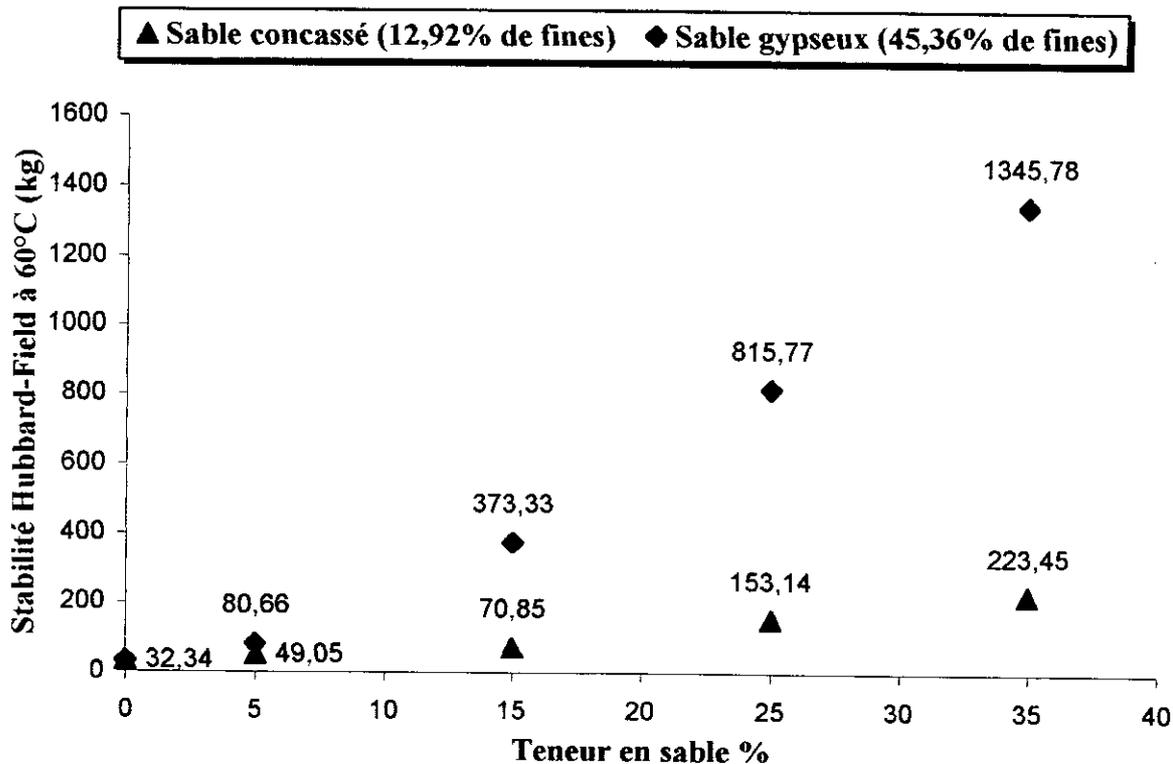


Figure VI.15 : Influence de la teneur en fines sur la stabilité H.F à 60°C pour un enrobé à froid.

## Interprétation

On remarque que la stabilité H.F et la compacité du sable émulsion augmente linéairement avec le pourcentage du sable d'ajout, mais cette augmentation est plus importante dans le sable gypseux que celle du concassé, ceci est dû au pourcentage important de fines que contient le sable gypseux.

Entre 0 et 15 % de sable d'ajout, il n'y a pas un changement remarquable de stabilité ni de compacité, car la granulométrie du sable n'a pas été bien étalée (pourcentage en fines insuffisant).

VI.3.2.6. Comparaison entre l'enrobé à froid et à chaud

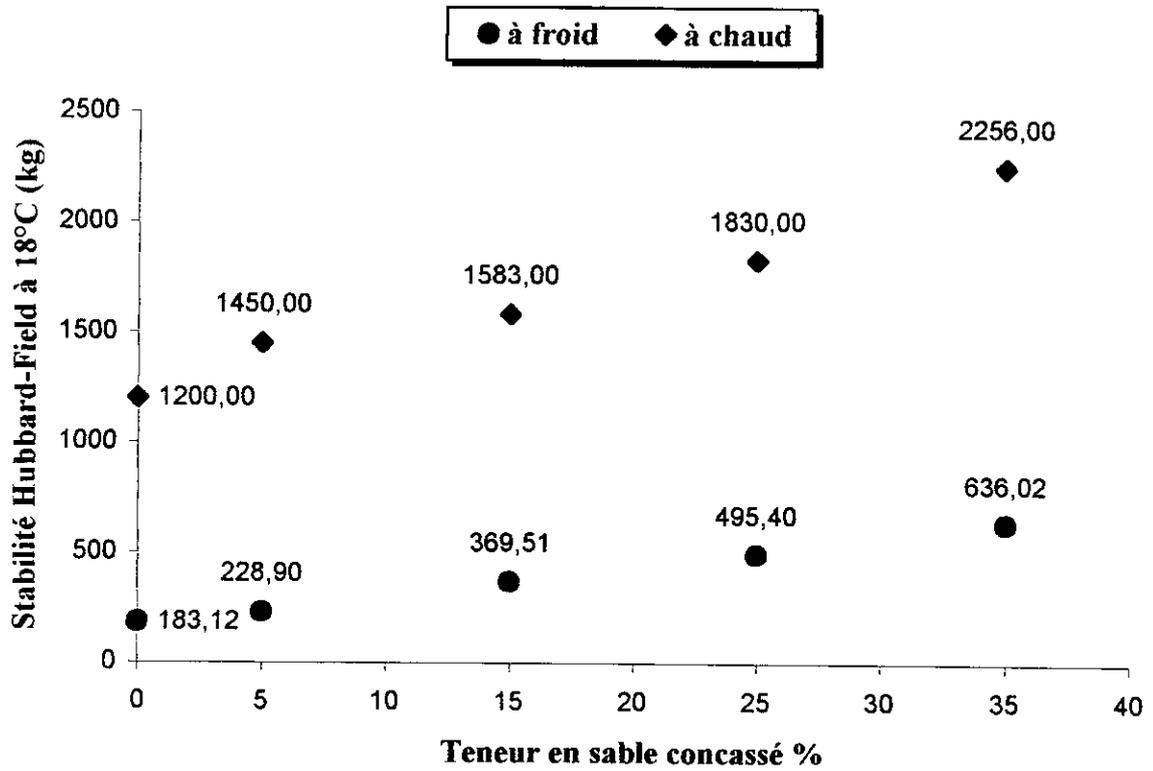


Figure VI.16 : Comparaison entre les stabilités H.F d'un enrobé à froid et un enrobé à chaud à 18°C pour différents pourcentages de sable concassé.

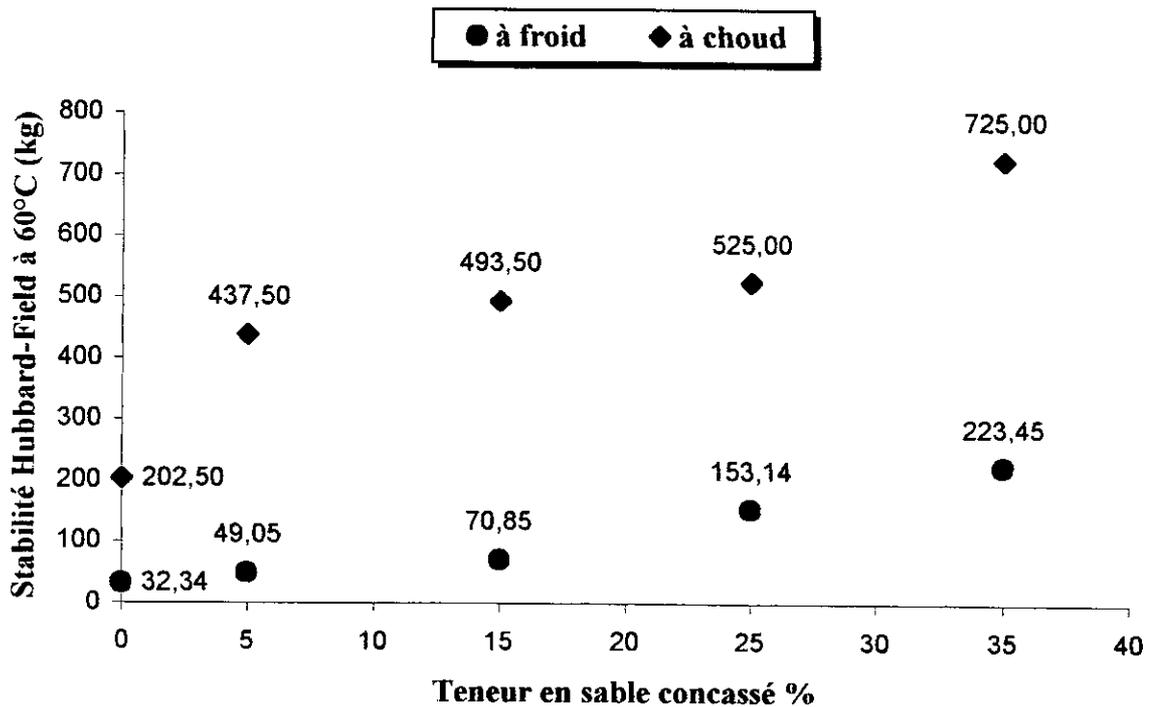


Figure VI.17 : Comparaison entre les stabilités H.F d'un enrobé à froid et un enrobé à chaud à 60°C pour différents pourcentages de sable concassé.

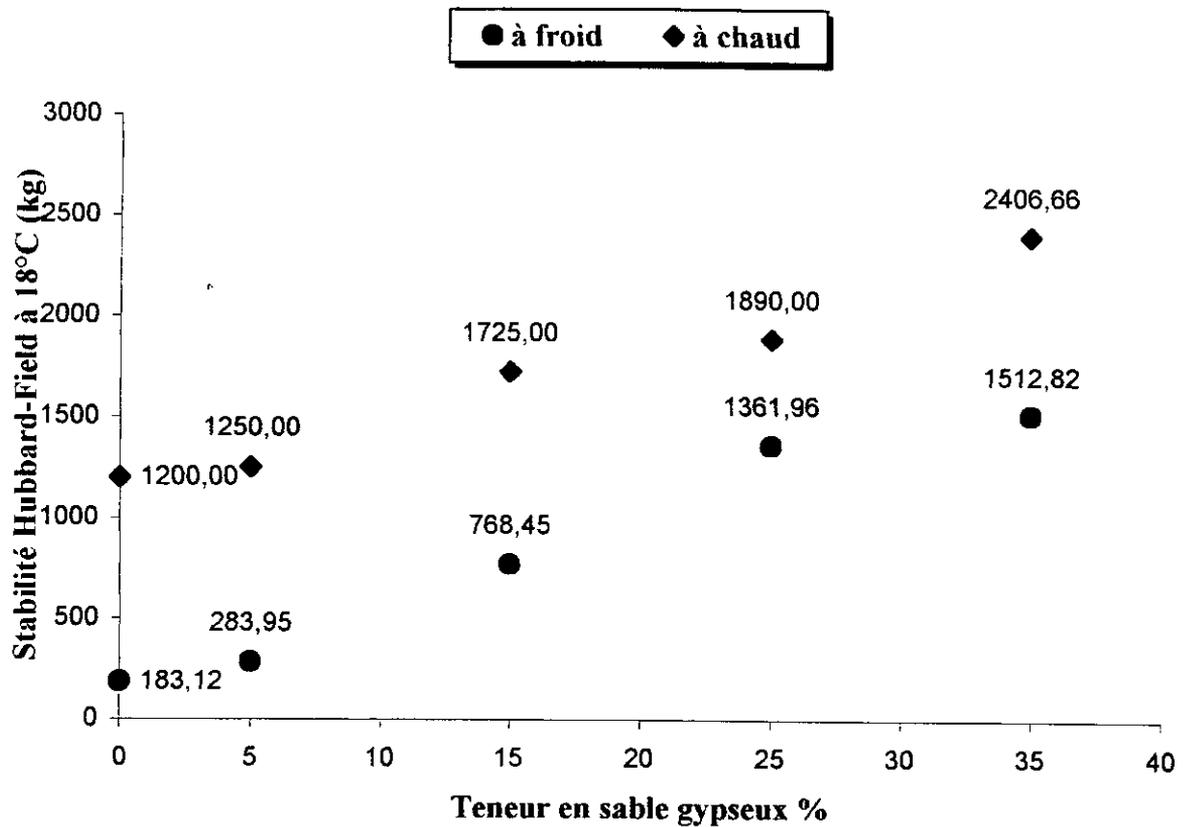


Figure VI.18 : Comparaison entre les stabilités H.Fd'un enrobé à froid et un enrobé à chaud à 18°C pour différents pourcentages de sable gypseux.

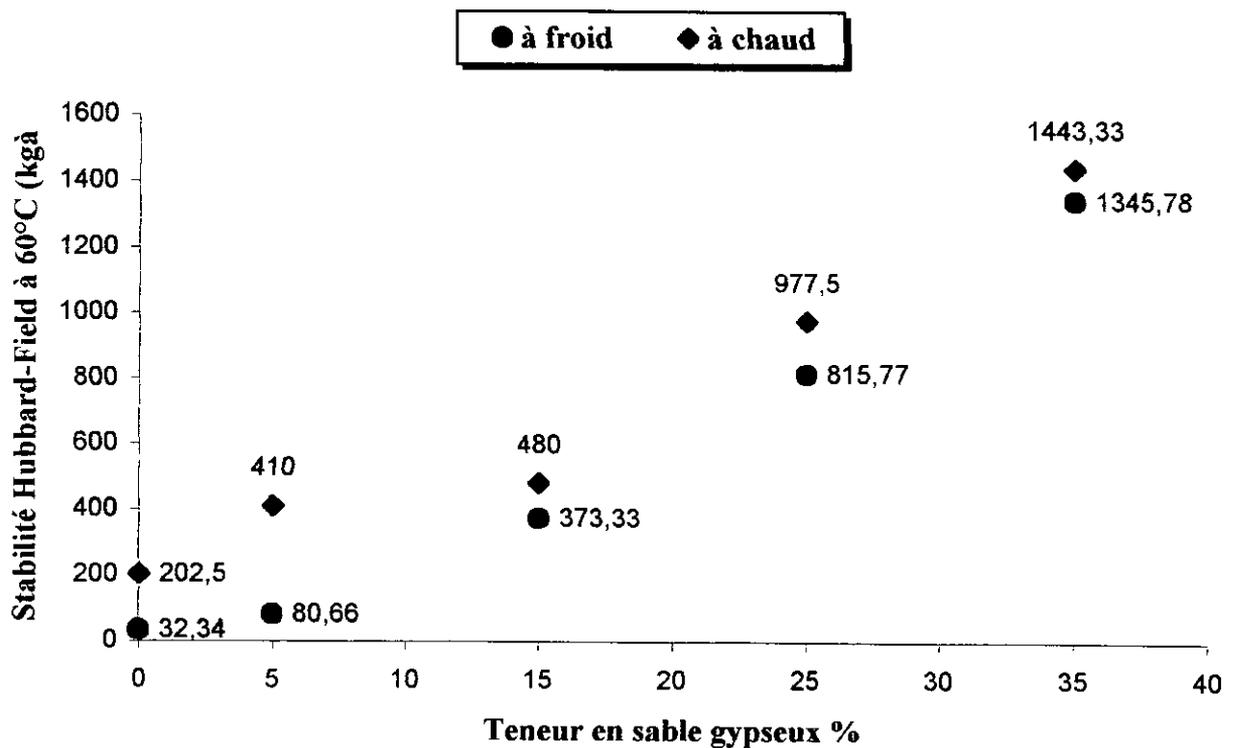


Figure VI.19 : Comparaison entre les stabilités H.Fd'un enrobé à froid et un enrobé à chaud à 60°C pour différents pourcentages de sable gypseux.

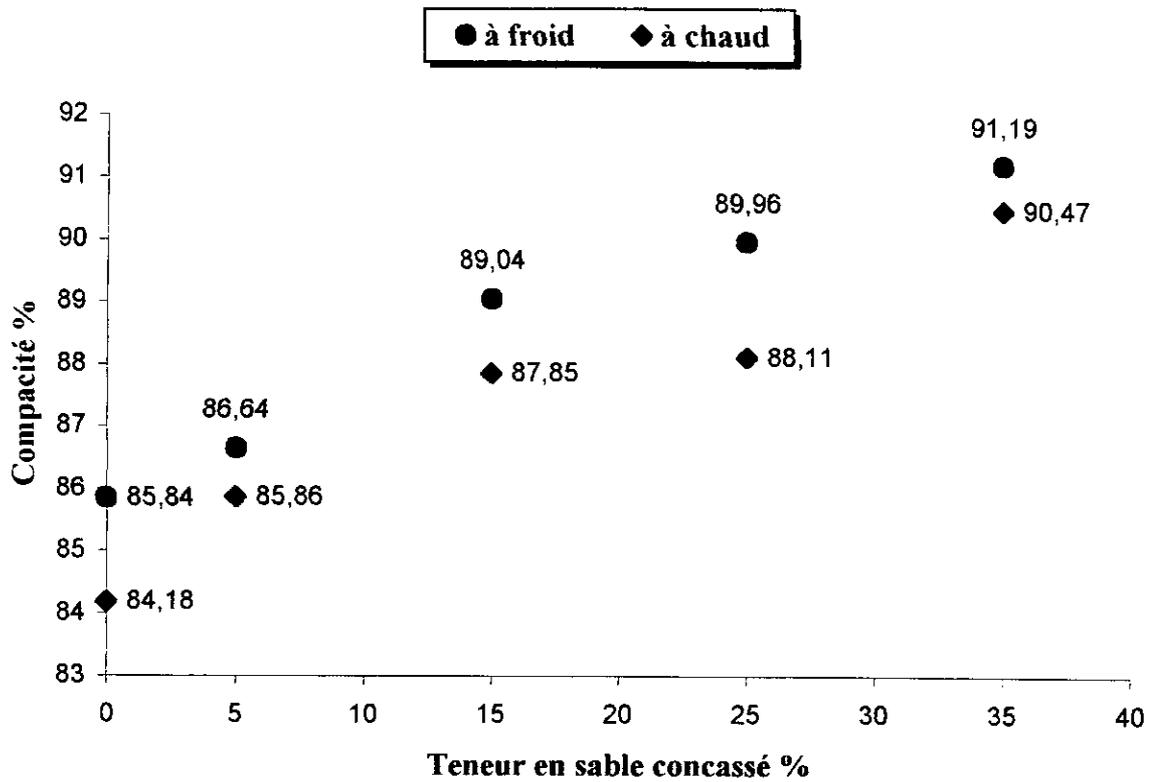


Figure VI.20 : Comparaison entre les compacités d'un enrobé à froid et un enrobé à chaud pour différents pourcentages de sable concassé.

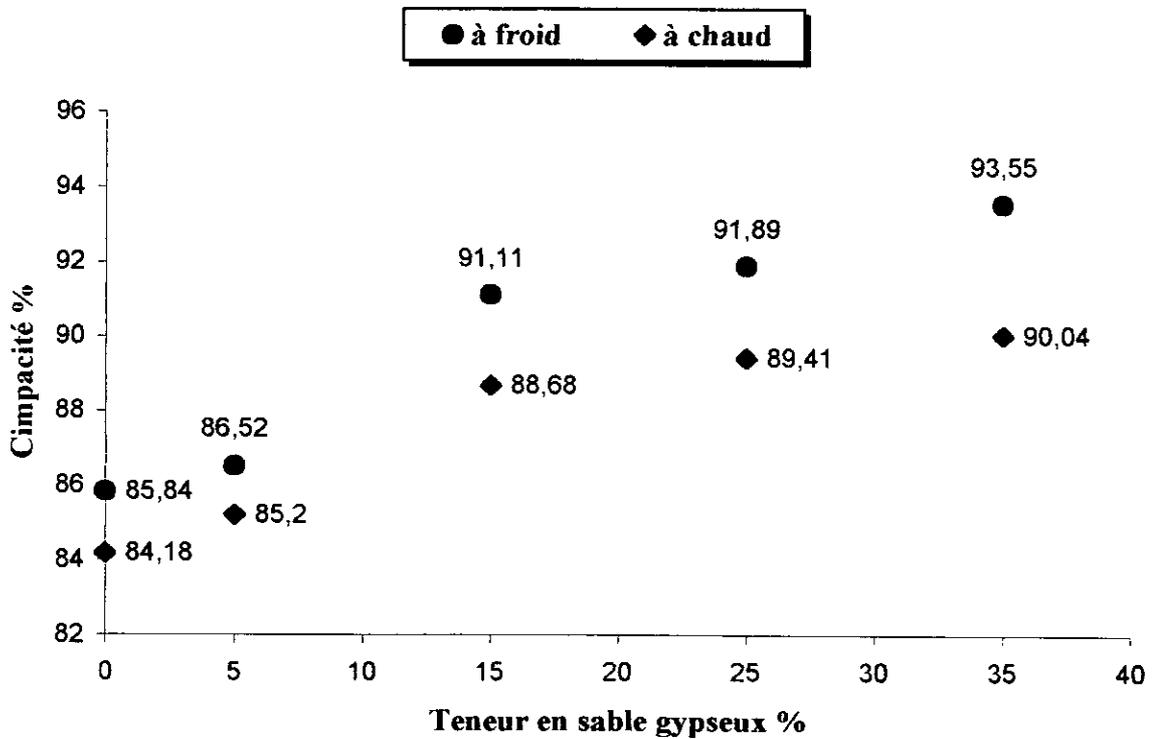


Figure VI.21 : Comparaison entre un enrobé à froid et un enrobé à chaud pour différents pourcentages de sable gypseux.

**Interprétation**

On remarque que l'enrobé à chaud, présente des stabilités plus grandes que celles de l'enrobé à froid, ceci est dû à la différence de dureté du bitume qui a une pénétrabilité de 40/50 pour l'enrobé à chaud, alors qu'elle est de 80/100 pour l'enrobé à froid. Contrairement aux compacités qui sont plus importantes dans l'enrobé à froid.

# **Conclusion**

## Conclusion

Sur le plan climatique, le Sahara représente un environnement favorable à la bonne tenue des chaussées permettant ainsi l'utilisation des matériaux locaux de diverses natures.

Vu l'insuffisance de stabilité obtenue avec des sables locaux, mélangés seuls au bitume en raison de la forme arrondie des grains qui n'offrent pas suffisamment d'angularité, et de la granulométrie serrée du sable, nous avons jugé nécessaire de procéder au traitement de ces sables pour améliorer les performances mécaniques des sables enrobés. Ce traitement a consisté à l'adjonction d'un sable correcteur contenant un pourcentage de fines (concassé 12.92% ou gypseux 45.36%) dans la mesure où elle peut se faire dans les limites raisonnables.

L'étude de formulation a permis de montrer que les performances du sable émulsion rentrent dans les spécifications après l'incorporation de 25% de sable gypseux tandis que malgré l'ajout de 35% de sable concassé, il ne permet pas au sable émulsion d'atteindre les performances prescrites. Et nous avons constaté que la teneur en fines et la teneur en liant sont les paramètres principaux qui influent sur les performances d'un enrobé.

Nous avons comparé les performances du sable bitume avec celles du sable émulsion, l'émulsion est à bitume résiduel 80/100 et le bitume pur est un bitume assez dur de classe 40/50.

Nous avons constaté que la stabilité est influencée par la granulométrie des sables, elle croit d'autant plus que la granulométrie est plus étalée, de même que pour l'apport des fines, qui améliorent la stabilité d'une manière remarquable en comparant entre les deux sables correcteurs.

Les sables émulsions sont des enrobés à froid, de ce fait, ils peuvent être stockés et mis en place à l'instant et à l'endroit désiré, donc ils écartent le problème des longues distances à partir d'installations fixes.

Ces enrobés dont les performances mécaniques sont faibles relativement au sables bitume, ils portent mal aux premiers âges, il faut donc que le séchage soit aussi rapide que possible, ce qui suppose à la fois un liant à séchage rapide (émulsion, cut-back à séchage rapide) et un enrobé aussi ouvert que possible pour permettre l'évacuation du solvant (évaporation d'eau pour l'émulsion et du kérosène pour le cut-back).

Une analyse globale des résultats des essais effectués au laboratoire, nous a permis de mieux cerner les paramètres jouant un rôle prépondérant dans l'amélioration des performances des sables enrobés. En effet, il nous paraît souhaitable de s'orienter vers des formules contenant un sable correcteur dans les limites raisonnables (de 20 à 30%), pour assurer une bonne fillérisation du mélange et pour obtenir les meilleurs résultats de point de vue technique et économique.

# **Annexe**

# ANALYSE GRANULOMETRIQUE METHODE PAR TAMISAGE A SEC APRES LAVAGE

## I. Domaine d'application

Le présent document d'analyse granulométrique par tamisage au moyen de tamis à mailles carrées de dimensions inférieures ou égale à 100 mm s'applique aux sols, aux matériaux rocheux après extraction et aux sous-produits industriels utilisés dans le domaine du bâtiment et du génie civil, dans la mesure ou les sollicitations provoquées par le processus d'essai ne modifient par leur structure.

Pour les particules de tailles inférieures à 80  $\mu\text{m}$ , analyse granulométrique est faite par la méthode par sédimentation (norme NF P 94-057).

Ce présent document s'applique à la description des sols en vue de leur classification à la détermination des classes granulométrique et à la vérification de conditions granulométrique imposées.

## II. Définition

### II.1. Analyse granulométrique par tamisage

C'est l'ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des élément constituant un échantillon, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

### II.2. Refus sur un tamis

Partie du matériau retenue sur un tamis.

### II.3. Tamisa ou passant

Partie du matériau passant à travers les mailles d'un tamis.

### II.4. Pourcentage massique d'un tamisât

C'est le rapport, exprimé en pourcentage, de la masse sèche du passant à travers un tamis d'ouverture  $d$ , à la masse totale initiale du matériau sec passant à travers le tamis d'ouverture de maille  $d_m$ .

### II.5. Courbe granulométrique

Représentation du pourcentage massique des différents tamisâtes en fonction de la dimension normale d'ouverture des tamis.

### III. Appareillage

- Un dispositif de lavage avec arroseur et, éventuellement, de malaxage ;
- Un jeu de tamis emboîtables à mailles d'ouvertures carrées conforme à la norme NF ISO 565 dont les montures ont au moins :
  - ❖ Un diamètre  $\geq 200$  mm pour des ouvertures de maille inférieures à 10 mm ;
  - ❖ Un diamètre  $\geq 250$  mm pour des ouvertures de maille comprises entre 10 mm et 50 mm ;
  - ❖ Un diamètre  $\geq 315$  mm pour des ouvertures de maille supérieures à 50 mm ;

Toutes les montures des tamis d'une même colonne ont le même diamètre imposé par la dimension de la plus grande maille des tamis utilisés.

- Couvercles et fonds de tamis de même diamètre que tamis ;
- Récipients en matériau non altérable, brosse, pinceau,... ;
- Balances dont les portées maximales et minimales sont compatibles avec les masses à peser et telles que les pesées sont effectuées avec une incertitude de 1 / 1000 de la valeur mesurée ;
- Etuve : une enceinte thermique ou une étuve de dessiccation à température réglable à 50 °C et à 150 °C ;

### IV. Exécution de l'essai

#### IV.1. Prise de l'échantillon

L'échantillon doit représenter le plus fidèlement possible la composition moyenne du matériau à essayer, le poids de l'échantillon à analyser dépend des dimensions et du pourcentage des éléments les plus gros qu'il contient. Il est recommandé de se tenir aux limites définies par la formule suivante :

$$200 D < P < 600 D$$

- P : poids de l'échantillon exprimé en grammes ;
- D : la dimension maximale exprimée en mm des plus gros grains.

## IV.2. Tamisage par voie séché

-Le matériau, préalablement échantillonné, est séché dans une étuve à 105 °C ;

-On procède à l'élimination des fines par lavage continu ; pour cela on introduit le matériau dans un récipient pourvu à sa partie supérieure d'un bec. Le lavage est effectué par renouvellement continu de l'eau qui s'écoule par le bec, cette eau se déverse sur un tamis de 0.08 mm destiné à retenir les éléments supérieurs qui auraient peut être entraînés.

-On poursuit ce procédé jusqu'à ce que l'eau contenue dans le récipient devienne claire.

-On laisse le matériau à l'étuve jusqu'à dessiccation complète. On procède ensuite au tamisage par voie sèche soit manuellement, soit au tamis soit au vibro-tamis.

# EQUIVALENT DE SABLE

## I. Objet

La présente norme a pour objet de définir une caractéristique des sables intitulée « équivalent de sable » et de fixer la méthode permettant cette caractéristique.

## II. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux sables, d'origine naturelle ou artificielle, utilisés dans le domaine du bâtiment et de génie civil.

## III. Généralités

L'essai de l'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui floclent.

La valeur de l'équivalent de sable ( $E_s$ ) est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale de flocculat et de la partie sableuse sédimentée.

## IV. Appareillage et produits utilisés

### IV.1. Appareillage

#### IV.1.1. Appareillage d'usage courant

- Tamis de 5 mm d'ouverture de mailles avec fond ;
- Spatule et cuillère ;
- Récipients de pesée pouvant recevoir environ 200 ml ;
- Balance dont la portée limitée est compatible avec les masses à peser et permettant de faire toutes les pesées avec une précision relative de 0.1 % ;
- Chronomètre donnant la seconde ;
- Réglet de 500 mm, gradué en millimètres ;
- Goupillon pour le nettoyage des éprouvettes ;
- Bacs pour tamisage ;

#### IV.1.2. Appareillage spécifique

Éprouvettes cylindriques et transparentes en matière plastique (figure 1) de diamètre extérieur constant à  $\pm 0.5$  mm, de diamètre intérieur de 32 mm  $\pm 0.5$  mm et d'une hauteur de 430 mm  $\pm 0.1$  mm.

Chaque éprouvette porte des traits de repères à 100 mm  $\pm 0.25$  mm et 380 mm  $\pm 0.25$  mm de la base.

L'éprouvette est fermée par bouchon de caoutchouc ; l'équipement comprend deux éprouvettes et deux bouchons.

Un piston taré, conforme à la figure 2, constitué par :

- Une tige de 440 mm  $\pm 0.1$  mm de longueur ;
- Une embase de 25 mm  $\pm 0.1$  mm de diamètre, dont la surface inférieure est plate, lisse et perpendiculaire à l'axe de la tige et qui comporte latéralement trois vis de centrage du piston dans l'éprouvette, avec un léger jeu. Ses parties plongeantes sont en métal inoxydable (laiton ou acier inoxydable) ;
- Un manchon de 10 mm  $\pm 0.1$  mm d'épaisseur, qui s'adapte sur l'éprouvette cylindrique et permet de guider la tige piston, en même temps qu'il sert à répéter l'enfoncement du piston dans l'éprouvette. Ce manchon comporte une vis qui permet de la bloquer sur la tige de piston, ainsi qu'une encoche pour le passage du réglet ;
- Un poids fixé à l'extrémité supérieure de la tige pour donner à l'ensemble du piston taré, hormis le manchon, une masse totale de 1 kg  $\pm 5$  g ;
- Un tube lavure, conforme à la figure 3, constitué par un tube rigide (acier inoxydable ou cuivre écroui) de diamètre extérieur de 6 mm  $\pm 0.5$  mm et de diamètre intérieur de 4 mm  $\pm 0.1$  mm.

Ce tube est menu à la partie supérieure d'un robinet, à la partie inférieure d'un embout fileté (figure 4) en métal inoxydable formant dièdre, chaque face du dièdre étant percée d'un trou de 1 mm  $\pm 0.1$  mm ;

- Un flacon transparent en verre ou en matière plastique, d'environ 5 l, menu d'un système de siphon, dont le font est placé à 1 m au-dessus de la table travail ;
- Un tube de caoutchouc ou de plastique de 1.50 m de longueur de 5 mm de diamètre intérieur reliant le tube lavure au siphon ;
- Un entonnoir à large ouverture pour transvaser l'échantillon dans l'éprouvette cylindrique (figure 5) ;

- Une machine d'agitation, manuelle ou électrique, capable d'imprimer à l'éprouvette un mouvement horizontal rectiligne et périodique de 20 cm  $\pm$  1 cm d'amplitude et de période 1 / 3 s.

### IV.1.3. Produits utilisés

#### IV.1.3.1. Solution concentrée

La préparation de la solution concentrée s'effectue à partir :

- De chlorure de calcium cristallisé, qualité produit pur ;
- De glycérine à 99 % de glycérol, qualité pharmaceutique ;
- De formaldéhyde en solution en 40 % en volume, qualité pharmaceutique ;
- D'eau distillée ou déminéralisée ;

Préparer une solution concentrée avec :

- 111 g  $\pm$  1 g de chlorure de calcium anhydre ;
- 480 g  $\pm$  5 g de glycérine ;
- 12 à 13 g de la solution de formaldéhyde ;

Il est recommandé de stocker la solution concentrée dans des flacons en matière plastique contenant 125 ml  $\pm$  1 ml, pour des raisons de commodité d'emploi et de meilleure conservation de cette solution.

#### IV.1.3.2. Solution lavant

La solution lavante est préparée, en prenant 125 ml  $\pm$  1 ml de la solution concentrée et en diluant à 5 l  $\pm$  0.005 l avec de l'eau distillée.

Pour la préparation de la solution lavante, à partir de la solution concentrée, on peut se contenter sur les chantiers d'eau déminéraliser au lieu d'eau distillée et même d'eau potable.

Remplacer la solution lavante au bout d'un mois ou si un léger dépôt ou des troubles apparaissent.

Le mélange est vigoureusement agité au utilisation.

Dans le cas où la solution concentrée serait stockée dans un flacon de 125 ml, rincer plusieurs fois le flacon et verser les eaux de rinçage dans le flacon de 5 l avant de diluer le contenu de ce dernier à 5 l.

## V. Préparation de l'échantillon pour essai

L'échantillon pour laboratoire doit être préparé suivant les prescriptions de la norme P 18-553. Sa masse doit être telle que la fraction passant au tamis de 5 mm pèse 500 à 700 g.

Si l'échantillon pour laboratoire n'est pas humide, l'humidifier afin d'éviter les pertes de fines et la ségrégation.

Sur celui-ci, procéder à la préparation d'un échantillon pour la détermination de la teneur en eau « w » et de deux échantillons pour essai.

L'essai s'effectue sur le sable à sa teneur en eau naturelle, la masse sèche de l'échantillon pour l'essai doit être de  $120 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ .

### V.1. Détermination de la teneur en eau du tamisât

A partir du premier échantillon, déterminer la teneur en eau w exprimée en pourcentage sur deux prises de 100 à 200 g par une méthode rapide de telle que : séchage au gaz, rayonnement infrarouge,...

### V.2. Préparation des échantillons pour essai

La masse de l'échantillon pour essai, exprimée en grammes, est alors égale à :

$$120 \left( 1 + \frac{w}{100} \right)$$

Dans tous les cas préparer deux échantillons par essai.

## VI. Exécution de l'essai

### VI.1. Mise en place de la première prise d'essai

La solution lavante ayant été siphonné dans l'éprouvette cylindrique, jusqu'au trait repère inférieur, la prise d'essai humide, correspondant à une masse sèche de  $120 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$  de matériau, est versée soigneusement à l'aide de l'entonnoir dans l'éprouvette posée verticalement.

Frapper fortement à plusieurs reprises la base de l'éprouvette sur la paume de la main pour déloger les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon. Laisser reposer dix minutes.

### VI.2. Agitation de l'éprouvette

A la fin de cette période de dix minutes, boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon de caoutchouc, puis fixer l'éprouvette sur la machine d'agitation.

Faire subir à l'éprouvette  $90 \text{ cycles} \pm 1 \text{ cycle}$  en  $30 \text{ s} \pm 1 \text{ s}$ .

Remettre l'éprouvette en position verticale sur la table d'essai.

### VI.3. Lavage

Oter le bouchon de caoutchouc et le rincer au-dessus de l'éprouvette avec la solution lavante.

En descendant le tube lavant dans l'éprouvette rincer les parois de l'éprouvette avec la solution lavante, puis enfoncer le tube jusqu'au fond de l'éprouvette.

Faire remonter les éléments argileux, tout en maintenant l'éprouvette en position verticale en procédant de la manière suivante : l'éprouvette étant soumise à un lent mouvement de rotation, remonter lentement et régulièrement le tube laveur. Lorsque le niveau du liquide atteint le trait repère supérieur, relever le tube laveur, de façon à ce que le niveau du liquide se maintienne à hauteur du trait repère. Arrêter l'écoulement dès la sortie du tube laveur.

### VI.4. Mesures

Laisser reposer pendant 20 min  $\pm$  10 s.

Au bout de ces 20 min, mesurer à l'aide de réglet la hauteur  $h_1$  du niveau supérieur du floculat par rapport au fond de l'éprouvette.

Mesurer également la hauteur  $h'_2$  du niveau supérieur de la partie sédimentée par rapport au fond de l'éprouvette.

Descendre doucement le piston taré dans l'éprouvette, jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. Pendant cette opération, le manchon coulissant prend appui sur l'éprouvette.

Lorsque l'embase du piston repose sur le sédiment, bloquer le manchon coulissant sur la tige du piston. Introduire le réglet dans l'encoche du manchon, faire venir buter le zéro contre la face intérieure de la tête du piston (figure 2).

Lire la hauteur du sédiment  $h_2$  au niveau de la face supérieure du manchon.

Arrondir les hauteurs  $h_1$ ,  $h'_2$  et  $h_2$  au millimètre le plus voisin.

### VII. Expression des résultats.

L'équivalent de sable est donné par la formule :

$$E_s = 100 \times \frac{h_2}{h_1}$$

L'équivalent de sable visuel est, dans les mêmes conditions, donné par la formule :

$$E_s = 100 \times \frac{h'_2}{h_1}$$

Ces résultats sont donnés avec une décimale.

La détermination portant sur deux échantillons, la propreté du sable est la moyenne des valeurs obtenues.

La valeur de la moyenne est arrondie à l'entier le plus voisin.

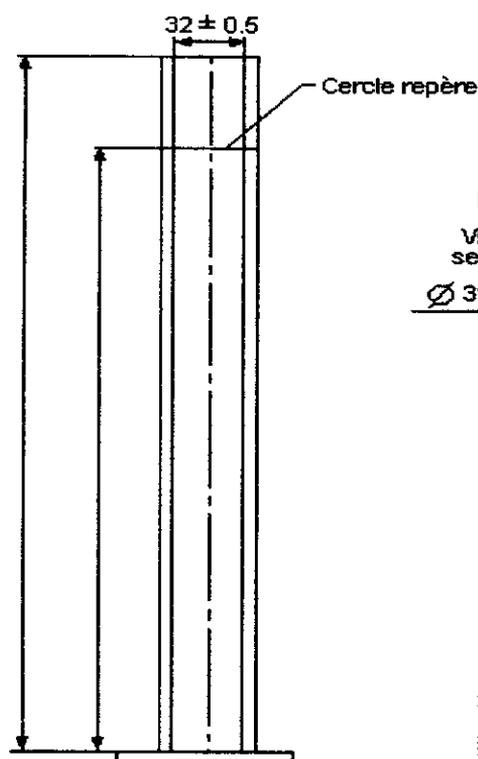


Figure 1: Eprovette d'équivalent de sable

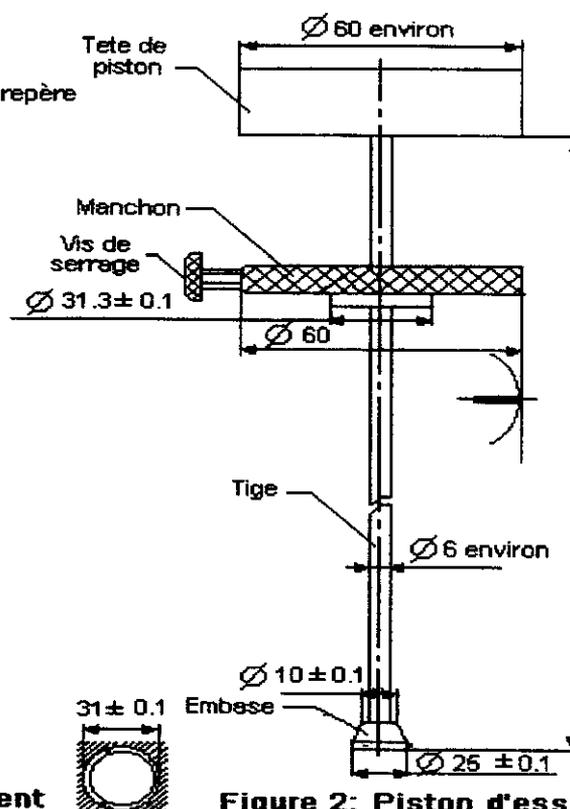


Figure 2: Piston d'essai

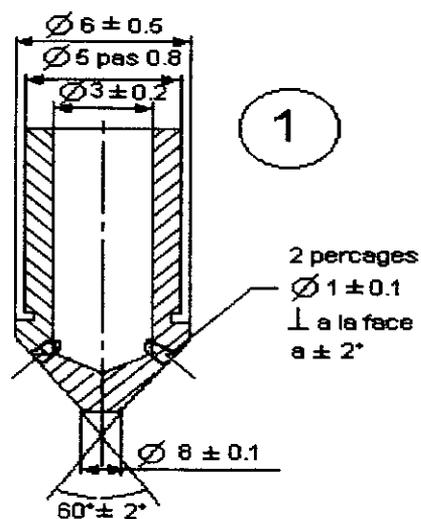


Figure 4: Détail de l'embout

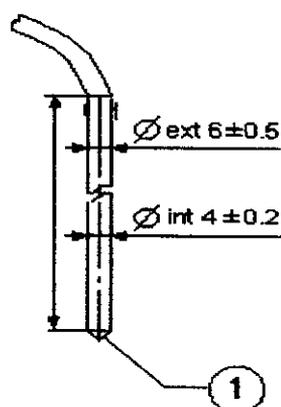


Figure 3: Tube laveur

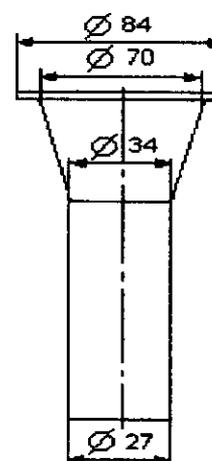


Figure 5: Entonnoir

# ESSAI DE MASURE DU COEFFICIENT DE FRIABILITE DES SABLES

## I. Objet

La présence norme a pour but de définir le mode opératoire pour la détermination de la résistance à la fragmentation des sables.

## II. Domaine d'application

La présence norme s'applique aux sables contenus dans les granulats d'origine naturelle ou artificielle dans le domaine du bâtiment et des travaux publics.

## III. Généralités

### III.1. But de l'essai

L'essai consiste à mesurer l'évolution granulométrique des sables produits dans un cylindre en rotations bien définies, par fragmentation à l'aide d'une charge en présence d'eau.

Les éléments fins du sable, inférieur à 0.1 mm, ne soient pas étudiés.

Le sable est écrêté à 2 mm.

### III.2. Définition

L'évolution granulométrique sera caractérisée par la quantité d'éléments inférieurs à 0.05 mm produits au cours de l'essai.

Si  $M$  est la masse de produits au cours de l'essai, par définition le coefficient de friabilité du sable sera :

$$FS = 100 \times \frac{m}{M}$$

## IV. Appareillage

### IV.1. Appareillage spécifique

- L'appareil micro-Deval ;
- Une charge abrasive constituée par les billes sphériques en acier inoxydable Z 30 C 13 conformément à la norme NF A 35-572,

de diamètre  $\left( \begin{array}{c} +0.1 \\ 30 \\ -0.5 \end{array} \right)$  mm,  $\left( \begin{array}{c} +0.1 \\ 18 \\ -0.5 \end{array} \right)$  mm et (10 ±0.5 mm).

## IV.2. Appareillage d'usage courant

Le matériel nécessaire pour effectuer l'échantillonnage du matériau et une analyse granulométrique par tamisage dont un jeu de tamis de 0.05- 0.1- 0.21- 2- 8 mm de 200 mm de diamètre au moins.

## V. Matériaux soumis a l'essai

### V.1. Prise d'échantillon

La masse du matériau envoyé au laboratoire sera d'au moins 2000 g.

L'échantillon sera préparé suivant les prescriptions de la norme NF P 18-553.

L'essai sera effectué sur un sable 0.1 / 2 mm.

### V.2. Préparation de l'échantillon pour essai

- Préparer l'échantillon pour l'essai de la façon suivante :
  - Tamiser par voie humide les 2 kg de matériau sur les tamis 0.1 et 2 mm ;
  - Sécher à l'étuve de 105 °C jusqu'à masse constante ;
  - Homogénéiser et peser l'échantillon pour essai de 500 grammes, à deux grammes près.
- Préparer la charge par des billes d'acier de la façon suivante :
  - Prendre 9 billes de 30 mm de diamètre, dont la masse doit être de  $\left( \begin{array}{c} +10 \\ 975 \\ -50 \end{array} \right)$  g ;
  - Ajouter 21 billes de 18 mm de diamètre, dont la masse doit être de  $\left( \begin{array}{c} +10 \\ 490 \\ -50 \end{array} \right)$  g ;
  - Compléter avec des billes de 10 mm de diamètre, de façon que la masse totale de la charge soit de  $(2500 \pm 4)$  g.

Note : L'usure de la charge doit être contrôlé périodiquement. Les billes de 18 et 30 mm sont contrôlées par pesée de l'ensemble et remplacement des plus usées par pesées à l'intérieur des tolérances. Les billes de 10 mm sont contrôlées en les faisant passer sur deux barreaux parallèles de 9.5 mm d'écartement.

## VI. Exécution de l'essai

- Introduire la charge dans le cylindre d'essai, disposé ouverture vers le haut, puis les 500 grammes de matériau préparé suivant les dispositions du paragraphe V ;
- Ajouter 2.5 litres d'eau, maître le couvercle ;
- Mettre le cylindre en rotation à la vitesse de  $(100 \pm 5)$  tr / min pendant 1500 tours ou 15 min ;
- Verser ensuite le matériau et la charge abrasive dans un bac, en évitant toutes les pertes, laver soigneusement l'intérieur du cylindre et recueillir l'eau et les parties minérales entraînées ;
- Verser lentement la totalité du contenu du bac sur 3 tamis de 8 mm (pour recueillir la charge abrasive), de 0.2 mm (pour soulager les tamis de 0.05 mm) et de 0.05 mm ;
- Laver l'ensemble sous un jet d'eau jusqu'à eau claire puis enlever le tamis de 8 mm ;
- Sécher les tamis de 0.2 et 0.05 mm à l'étuve à 105 °C jusqu'à masse constante ;
- Tamiser à sec simultanément les refus à 0.2 et 0.05 mm ;
- Peser au gramme près l'ensemble des refus sur les deux tamis, recueillis avec soin, soit  $m'$  cette masse.

## VII. Expression des résultats

La masse des éléments inférieurs à 0.05 mm produits durant l'essai, à partir des 500 grammes initiaux est égale à  $m = 500 - m'$ .

Le coefficient de friabilité est alors :

$$FS = 100 \times \frac{500 - m'}{M}$$

# DETERMINATION DE LA VALEUR DE BLEU METHYLENE PAR L'ESSAI A LA TACHE

## I. Domaine d'application

La présente norme a pour objet de préciser le domaine d'application de la valeur de bleu méthylène d'un sol et ses modalités de détermination au moyen de l'essai dénommé essai au bleu méthylène « à la tache ».

La valeur de bleu méthylène d'un sol VBS constitue un paramètre d'identification qui mesure globalement la quantité et l'activité de la fraction argileuse contenue dans un sol ou un matériau rocheux.

Si l'un des paramètres d'identification sur lequel s'appuie la classification des sols d'écrite dans la norme NF P 11-300. la présente norme d'essai de détermination de la valeur de bleu méthylène d'applique à tous les sols et matériaux rocheux.

## II. Principe de l'essai

L'essai consiste à mesurer, par dosage, la quantité de bleu méthylène pouvant s'absorber sur la prise d'essai. Cette valeur est rapportée par proportionnalité directe à la fraction 0/50 mm du sol. La valeur de bleu du sol est directement liée à la surface spécifique des particules constituant le sol, laquelle est avant tout régie par l'importance et l'activité des matériaux argileux présents dans la fraction fine du sol.

Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène et en contrôlant l'absorption après chaque ajout. Pour ce faire, on prélève une goutte de la suspension que l'on dépose sur papier filtre, ce qui provoque la création d'une tache.

L'absorption maximale est atteinte lorsqu'une auréole bleue claire persistante se produit à la périphérie de la tache.

## III. Appareillage et matériel d'essai

### III.1. Appareillage spécifique

- Un dispositif de dosage permettant d'injecter par pas de  $2.5 \text{ cm}^3$  des volumes de solutions de bleu et de connaître la quantité totale injectée à  $\pm 1 \text{ cm}^3$ ;
- Un agitateur mécanique à ailettes tournant entre 400 et 700 tr / min le diamètre des ailettes est compris entre 70 mm et 80 mm ;

- Un récipient cylindrique (en verre, plastique ou métal inoxydable) d'une capacité de 3000 cm<sup>3</sup> et de diamètre de 155 mm ;
- Une baguette de verre de  $(8 \pm 1)$  mm de diamètre ;
- Un papier filtre blanc avec teneur en cendres < 0.01% ; de masse surfacique 95g/cm<sup>2</sup> ; épaisseur 0.2 mm ; vitesse de filtration de 75 s ; diamètre de rétention 8 mm ;
- Un tamis de maille 5 mm et 50 mm, conforme à la norme NF ISO 565.

### III.2. Appareillage courant

- Balances dont les portées sont compatibles avec les masses à peser et permettant de faire les pesées avec une incertitude relative de 0.1 % de la valeur mesurée ;
- Thermomètre gradué en degrés (de 0° à 100°) ;
- Chronomètre indiquant la seconde ;
- Enceinte thermique ou appareil de séchage pour déterminer la teneur en eau des sols selon une méthode normalisée.

### III.3. Produits

- Solution de bleu de méthylène de qualité médicale à 10 g/l  $\pm$  0.1 g/l fabriquée depuis moins de 30 jours et conservée dans un flacon bouché à l'abri de la lumière ;
- Eau déminéralisée ou distillée.

## IV. Préparation de l'échantillon

Si le  $D_{max}$  du matériau est  $\leq 50$  mm, prélever une masse du matériau à sa teneur en eau naturelle telle que :  $m > 200 D_{max}$  (m en gramme,  $D_{max}$  en millimètres).

Si le  $D_{max}$  du matériau est  $> 50$  mm, prélever 10 kg de sa fraction 0/50 mm.

Si le  $D_{max}$  de l'échantillon prélevé est  $\geq 5$  mm :

- Séparer par tamisage et si nécessaire par lavage la fraction 0/5 mm contenue dans cet échantillon ;
- Déterminer la proportion pondérale C de la fraction 0/5 mm (sèche) contenue dans le matériau (ou dans sa fraction 0/5 mm lorsque  $D_{max}$  mm). Cette proportion peut être lue sur la courbe granulométrique du

matériau si elle est connue par ailleurs ou sinon déterminée sur un autre échantillon représentatif du matériau.

Quarter et homogénéiser la fraction 0/5 mm ainsi séparée (ou la totalité de l'échantillon prélevé si  $D_{max} < 5$  mm) de manière à préparé trois prises d'essai de masse sensiblement égales (à  $\pm 5$  g) et de l'ordre de :

- 30 g à 60 g dans le cas des sols très argileux à argileux ;
- 60 g à 120 g dans le cas des sols moyennement à peu argileux.

La 1<sup>ère</sup> prise d'essai de masse  $m_1$  est introduit dans le récipient de 300 cm<sup>3</sup>, mise en suspension dans 500 cm<sup>3</sup>  $\pm$  10 cm<sup>3</sup> d'eau déminéralisée et dispersée à l'aide de l'agitateur à ailettes (vitesse 700 tr/min  $\pm$  100 tr/min) au minimum durant 5 min et dans tous les cas jusqu'à disparition visuelle de tout agglomérat de particules d'argile dans la suspension.

La 2<sup>ème</sup> prise d'essai de masse  $m_2$  est utilisée pour déterminer la teneur en eau de chacune des prises d'essai.

La 3<sup>ème</sup> prise d'essai est conservée dans un sac ou récipient hermétique en prévision de l'éventualité où l'essai devait être renouvelé (mauvaise estimation des incréments de solution de bleu ajoutés après chaque teste.

## V. Mode opératoire

La prise d'essai étant mise en imbibition comme décrit précédemment, procéder au dosage au bleu de méthylène comme indiqué ci-après.

A l'aide de dispositif de dosage, introduire dans la suspension, maintenue en agitation permanente à 400 tr/ min, 5 à 10 cm<sup>3</sup> de solution de bleu selon l'argilosité estimée du matériau (10 cm<sup>3</sup> pour les matériaux les plus argileux) ; au bout 1 min  $\pm$  10 s, procéder à l'essai de la tache sur papier filtre de la manière suivante :

- Prélever à l'aide de la baguette de verre une goutte de suspension et la déposer sur le papier filtre. La tache ainsi formée se compose d'un dépôt central de matériau coloré bleu sombre entouré d'une zone humide incolore ;
- La goutte prélevée doit former un dépôt central compris entre 8 mm et 12 mm de diamètre.

Procéder à des injections successives par pas de 5 cm<sup>3</sup> (selon l'argilosité du matériau) de solution de bleu jusqu'à ce qu'apparaisse une auréole claire dans la zone humide périphérique de la tache. L'essai est dit alors positif. A partir de ce moment, laisser se poursuivre l'absorption du bleu et effectuer des essais, de minute en minute, sans ajout de solution.

Si l'auréole bleue claire disparaît avant la cinquième minute, procéder à de nouvelle injection de bleu avec des pas de 2 cm<sup>3</sup> à 5 cm<sup>3</sup>, selon l'argilosité du matériau, au lieu et place des pas de 5 cm<sup>3</sup> à 10 cm<sup>3</sup> introduits précédemment, car à ce stade de l'essai de suspension et en voie de saturation.

Chaque addition est suivie d'essai effectué de minute en minute. Ces opérations sont renouvelées jusqu'à ce que l'essai devienne positif pendant cinq minutes consécutives. Le dosage est alors terminé et l'on détermine le volume total V de la solution de bleu nécessaire pour atteindre l'adsorption totale.

Le récipient et les accessoires en contact avec la suspension de sol et de bleu sont lavés et abondamment rincés à l'eau claire si des produits nettoyant ont été utilisés.

## VI. Calculs et expressions des résultats

Les grandeurs mesurées au cours de l'essai sont :

$m_1$  : masse humide de l'échantillon constituant la première prise d'essai (en grammes).

$m_2$  : masse humide de l'échantillon séché à l'étuve (en grammes).

$m_3$  : Masse sèche de l'échantillon séché à l'étuve(en grammes).

V : le volume de la solution de bleus utilisée (en centimètres cubes).

Les calculs à exécuter sont :

- teneur en eau de l'échantillon soumis à l'essai (0/5mm):

$$w = (m_2 - m_3) / m_3$$

- masse sèche de la prise d'essai :

$$m_0 = m_1 / (1+w)$$

- masse de bleu introduit (en grammes) :

$$B = V * 0.01$$

L'expression du résultat est (en grammes de bleu pour 100 de sol sec)

$$VBS = B * 100 / m_0$$

Pour les matériaux dont le  $D_{max} > 5$  mm, l'expression du résultat est :

$$VBS = B * C * 100 / m_0$$

Avec C comme proportion de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du sol sec.

## ESSAI HUBBARD-FIELD

### I. Objet

L'essai de stabilité Hubbard-Field a été adopté pour l'étude des mortiers hydrocarbonés c'est-à-dire des matériaux enrobés dont les agrégats passent à la passoire à trous ou tamis à maille carrée (5 mm pour la passoire, 4mm pour le tamis).

La valeur de la stabilité donne une indication globale de la qualité du mortier étudié. La comparaison des valeurs de stabilité, obtenues pour différentes formules de la composition préalablement établies, permet de faire le choix entre ces formules.

### II. principe de l'essai

La mesure de la stabilité Hubbard-Field dans le cas d'un mortier hydrocarboné consiste à mesurer la pression qui provoque l'extrusion ou fluage d'une briquelette de 100 grammes et de 50,8 mm de diamètre à travers un anneau de diamètre intérieur de 44,5mm. Cette compression est appliquée à la vitesse de 1 mm/s sur une briquelette amenée à la température soit de 18 °C, soit de 60°C.

On appelle stabilité Hubbard-Field la charge, exprimée en kg, qu'il faut exercer pour provoquer le fluage.

### III. Domaine d'application

La méthode s'applique non seulement aux mortiers, enrobés, et bétons hydrocarbonés mais aussi aux sols-bitume, sols-goudron, sols-émulsion etc. Elle est particulièrement indiquée pour les enrobés préparés à froid, par exemple au bitume fluide.

### IV. Appareillage

1. L'appareil Hubbard-Field se compose de :
  - 1 moule à briquettes (avec piston de compression et plaque de base);
  - 1 cylindre d'essai (avec piston de compression, support d'anneau et anneau d'essai) ;
  - 2 pilons de damage ;

Pour une exécution plus commode des essais il est préférable de disposer de 6 appareils mais avec un seul jeu de pilons de damage. On peut cependant se contenter d'un seul appareil

2. Une presse hydraulique développant un effort d'au moins 5 tonnes et permettant une vitesse d'application de 1 mm/s ;
3. Plusieurs récipients de pesée et de malaxage ;
4. Cuillers ou grandes spatules ;
5. 1 étuve réglée à  $60\text{ °C} \pm 0.5\text{ °C}$  ;
6. 1 armoire réglée à  $18\text{ °C} \pm 0.5\text{ °C}$  ;
7. 1 balance de portée minimum 2 kg sensible au décigramme ;
8. 1 thermomètre au 1/2 degrés ( $1\text{ °C}$  ambiante à  $100\text{ °C}$ ) ;
9. 1 un récipient pour le transport dans l'eau à  $60\text{ °C}$  des briquettes et du matériel d'essai ;

## V. Mode opératoire

Le mode opératoire, ci décrit pour un mortier bitumineux préparé à chaud. Il y a seulement lieu de modifier la confection des briquettes dans le cas d'utilisation de bitume fluide, d'émulsion, ou de goudron.

Chaque résultat consigné dans le procès-verbal est généralement la moyenne de 3 essais. Aussi pour un mélange, 6 éprouvettes sont confectionnées, 3 pour la valeur de stabilité à  $18\text{ °C}$ , 3 pour la valeur de stabilité à  $60\text{ °C}$ .

### V.1. Préparation du mélange et composition des éprouvettes

On pèse successivement, dans un récipient d'environ  $1\ 000\text{ cm}^3$  de capacité, les quantités nécessaires de chacun des agrégats y compris le filler, calculées pour donner une gâchée totale de 700 g (avec le liant).

Les pesées sont faites au dg près. (Si les fines sont trop abondantes, il est préférable de peser le filler à part.) Puis, le récipient et son contenu sont placés 1 heure en étuve à  $140\text{ °C}$ .

Dans un deuxième récipient en métal, de  $1\ 000\text{ cm}^3$  de capacité, on pèse, au dg près, la quantité prévue de liant. Le récipient et le bitume ainsi que les moules à briquettes sont placés environ pendant 1/4 d'heure dans l'étuve à  $140\text{ °C}$ . On s'arrange pour que ce temps de chauffage se termine avec celui des agrégats. On veille à ce que le bitume ne dégage pas de vapeurs.

On sort les récipients de l'étuve, on verse rapidement les agrégats dans le récipient contenant le bitume et on effectue le malaxage sur une plaque chauffante. Dans le cas où le filler aurait été pesé à part, on commence par enrober les agrégats puis on ajoute le filler.

On sort de l'étuve un moule à briquette, on le place sur la plaque de base, et le moule est enduit intérieurement d'oléate de soude glycérimé puis en le remplit de 100 g, pesés au dg près, de mélange chaud.

On dame d'abord de 60 coups de pilon n° 1, puis par 20 coups de pilons n° 2. Chaque coup consiste à laisser tomber le pilon sous son propre poids, d'une hauteur d'une dizaine de centimètres.

On introduit ensuite le pilon de compression de façon à ce que la partie annelée se trouve à l'intérieur du cylindre et l'on place le tout sur le plateau d'une presse.

On élève rapidement la charge de compression jusqu'à atteindre 4 200 kg (soit 210 kg/cm<sup>2</sup>) et on maintient 5 min à cette valeur.

On décomprime lentement puis on démoule, en chassant, à l'aide de la presse, la briquette dans un cylindre de diamètre plus grand que celui du moule.

Si l'on doit déterminer la densité apparente du mélange on prend. Les mesures de 3 hauteurs et de 3 diamètres (au pied à coulisse au 1/10 mm près) et on pèse au dg près.

## V.2. Essai de stabilité

Les 6 briquettes sont placées pour 24 heures en armoire spéciale, réglée à  $+18^{\circ}\text{C}\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

Au bout de ce temps on place dans une étuve à  $60^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , pour une durée de 1 heure, les 3 briquettes destinées à l'essai, ainsi que le matériel d'essai (cylindre, support d'anneau, anneau d'essai et piston de compression).

Pour l'essai à  $18^{\circ}\text{C}$ , on introduit la briquette dans le cylindre d'essai en la plaçant au-dessous de l'anneau préalablement fixé sur son support, puis on introduit le piston de compression. On porte le tout entre les plateaux de la presse hydraulique. On exerce la compression à la vitesse de 1 mm/s jusqu'à ce que la charge soit passée par un maximum, c'est-à-dire jusqu'à ce que l'on ait forcé la briquette à fluer à travers l'anneau. Un index mort entraîné par l'aiguille du manomètre permet généralement de repérer la valeur de cette charge maximale.

Pour l'essai à  $60^{\circ}\text{C}$ , on place le cylindre d'essai contenant la briquette et le piston dans un bain d'eau à  $60^{\circ}\text{C}$ . Le niveau de l'eau est tel que la briquette est entièrement immergée.

On porte l'ensemble, récipient et cylindre d'essais, entre les plateaux de la presse et on exerce la compression comme précédemment décrit.

### V.3. Présentation des résultats

Ils sont présentés comme suit :

Eprouvettes Hubbard-Field de 100 g (compressées à 210 kg/cm<sup>2</sup>).

- Densité par la détermination des mesures ;
- Stabilité Hubbard-Field à 18 °C en kg ;

Pour une vitesse de déformation de 1 mm /s.

24 heures après confection de l'éprouvette.

- Pour une surface de 20 cm<sup>2</sup> environ ;
- Soit en kg /cm<sup>2</sup> (le résultat précédent divisé par 20) ;
- Stabilité Hubbard-Field à 60 °C en kg ;

Pour une vitesse de déformation de 1 mm/s.

24 heures après confection de l'éprouvette.

- Pour une surface de 20 cm<sup>2</sup> environ ;
- Soit en kg/cm<sup>2</sup>.

# BITUMES FLUIDIFIES ET BITUMES FLUXES DETERMINATION DE LA PSEUDO-VISCOSITE

## I. Objet et domaine d'application

La présente norme a pour objet la détermination de la pseudo-viscosité, exprimée en unités conventionnelles, des bitumes fluidifiés et des bitumes fluxés au moyen d'un appareil normalisé. Elle ne s'applique pas aux bitumes fluidifiés ou fluxés contenant des polymères.

## II. Principe

L'échantillon est chauffé dans des conditions normalisées. Une prise d'essai est versée dans l'appareil et maintenue à la température voulue ; la durée d'écoulement de 50 ml indique conventionnellement la valeur de la pseudo-viscosité du bitume fluidifié ou du bitume fluxés.

## III. Appareillage

### III.1. Viscosimètre

Le viscosimètre consiste essentiellement en un récipient présentant au centre de sa base un orifice pouvant être obturé. Il existe deux types de récipients différant uniquement par la dimension de l'orifice, le diamètre du plus grand orifice étant de 10 mm et celui du plus petit de 4 mm ; ces deux appareils sont désignés dans la suite de l'exposé respectivement par les mentions « orifice 10 mm » et « orifice 4 mm ».

L'« orifice 10 mm » est employé dans le cas de bitumes fluidifiés ou de bitumes fluxés dont la pseudo-viscosité à 25 °C est égale ou supérieure à 10 s ; si la pseudo-viscosité à 25 °C dépasse 600 s, la température d'essai est portée à 40 °C.

L'orifice 4 mm est utilisé à 25 °C pour les bitumes fluidifiés ou les bitumes fluxés dont la pseudo-viscosité, à cette température, déterminée avec l'« orifice 10 mm », est inférieure à 10 s.

Le récipient est un cylindre en laiton dont le fond est formé par une plaque circulaire en bronze phosphoreux ; La face inférieure du fond est conique pour faciliter l'écoulement du produit.

L'obturateur est constitué par une sphère en bronze phosphoreux fixé à une tige en métal monel ; cette tige est munie d'un ergot indicateur de niveau et porte à sa partie supérieure une demi-sphère permettant de faire reposer verticalement l'obturateur sur son support, en position d'écoulement.

### III.2. Bain d'eau

Le bain d'eau possède un manchon cylindrique destiné à supporter le récipient. Le bain qui est de forme cylindrique peut soit porter un tube latéral auquel on peut appliquer une source de chaleur, soit être chauffé électriquement.

Le manchon est placé à l'intérieure d'un cylindre muni de quatre pales formant agitateur ; cet agitateur est surmonté d'un couvercle bombé muni d'un support destiné au thermomètre du bain, d'un autre pour l'obturateur et d'une poignée d'entraînement en matière isolante.

On peut également utiliser un grand bain d'eau pouvant renfermer plusieurs récipient ; dans ce cas, ceux-ci doivent être séparés les uns des autres et distants des parois du bain de 55 mm moins. Le bain peut être muni d'un dispositif de contrôle thermostatique.

### III.3 Thermomètre

Conforme aux spécifications suivantes :

Désignation	Caractéristiques
Immersion d'emploi	65 mm
Echelle de température	0 °C à 45 °C
Graduation	0,2 °C
Plus long graduation chaque	0 °C et 5 °C
Graduation chiffrée tous les	5 °C
Exactitude des graduations	± 0,2 °C
Longueur totale	340 mm ± 10 mm
Diamètre de la tige	5,5 mm à 8,0 mm
Diamètre du réservoir	au plus égal à celui de la tige
Longueur du réservoir	10 mm à 16 mm
Longueur de la partie graduée	150 mm à 190 mm
Distance du fond du réservoir à la graduation 0 °C	115 mm minimum
Chambre d'expansion permettant de monter à	100 °C
Forme du sommet	anneau

### III.4. Eprouvette

Eprouvette cylindrique de 100 ml, présentant des graduations correspondant aux capacités 20 ml, 25 ml et 75 ml, conforme à la norme NF B 35-302.

### III.5. Chronomètre

Précis à 0,2 s près.

## IV. Réactifs

Huile minéral fluide.

Solvant convenable des bitumes.

## V. Mode opératoire

### VI.1. Préparation de l'échantillon

Prélever autant que possible un échantillon ne renfermant pas plus de 0,2 % d'eau, le porter à une température de 60 °C dans un récipient bien clos, pendant 3 heures, en ayant soin d'éviter toute surchauffe locale et toute perte de constituant volatil. Puis laisser refroidir, toujours dans le récipient clos, jusqu'à une température légèrement supérieure à celle de la mesure.

### VI.2. Exécution de l'essai

Nettoyer le récipient du viscosimètre et l'obturateur avec un solvant approprié, puis le sécher soigneusement pour éliminer toute trace de solvant. S'il est nécessaire d'en frotter l'intérieure, ou de nettoyer l'orifice d'écoulement, ne pas utiliser des produits abrasifs, susceptibles de laisser des particules pouvant gêner l'écoulement libre de la prise d'essai à travers l'orifice. L'emploi d'un fort papier filtre est recommandé.

Fermer la partie inférieure de l'orifice du récipient avec un bouchon de liège, mettre en place l'obturateur sur l'orifice, remplir le récipient avec la prise d'essai de l'échantillon préparé comme ci-dessus, jusqu'à ce que l'ergot de l'obturateur, tenu verticalement, soit juste immergé.

Poser sur la partie supérieure du récipient un deuxième bouchon muni d'un trou central et d'une échancrure latérale pouvant laisser passer la tige de l'obturateur. Introduire un thermomètre dans le trou central au bouchon et le disposer de manière que son réservoir soit approximativement au centre géométrique de la prise d'essai.

Immergé verticalement le récipient jusqu'au rebord, pendant 1 h 30 min, dans un bain d'eau maintenu à une température égale, 0,2 °C près, à celle qui est prévue pour l'essai.

Placer le récipient dans le manchon du bain d'eau du viscosimètre, enlever le thermomètre et les bouchons. Extraire tout excès de produit pour que son niveau final soit à la hauteur de la pointe de l'ergot, l'obturateur étant en position verticale.

Maintenir la température du bain à 0,2 °C près durant l'essai et agiter le bain à de fréquents intervalles.

Placer l'éprouvette contenant 20 ml d'huile minérale fluide sous l'orifice du récipient, relever l'obturateur puis l'accrocher sur le support. Déclencher le chronomètre à l'instant où liquide atteint la graduation de 25 ml dans l'éprouvette et l'arrêter lorsque la graduation 75 ml est atteints. En aucun cas, le filât de bitume fluidifié ou fluxé ne doit toucher les parois de l'éprouvette avant l'atteindre la surface de liquide.

Noter la durée de l'écoulement en secondes.

## VI. Expression des résultats

La pseudo-viscosité est conventionnellement égale à la valeur moyenne, arrondie à la seconde la plus proche, des durées d'écoulement obtenues lors des deux premières déterminations ne différant pas entre elles de plus des écarts indiqués dans la colonne répétabilité du tableau 1.

## VII. Fidélité

La fidélité de la méthode, établir à partir de l'examen statistique de résultats d'essai inter laboratoires est la suivante :

### VII.1. Répétabilité

La différence entre des résultats d'essais successifs obtenus par le même opérateur avec le même appareillage dans des conditions opératoires identiques et sur même produit, ne doit pas, au cours d'une longue série d'essais effectués en appliquant correctement et normalement.

La méthode d'essai, dépasser plus d'une fois sur vingt les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous.

### VII.2. Reproductibilité

La différence entre deux résultats uniques et indépendants obtenus par différents opérateurs travaillant dans des laboratoires différents sur un même produit, ne doit pas, au cours d'une longue série d'essais effectués en appliquant normalement et correctement méthode, dépasser plus d'une fois sur vingt les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous.

Durée d'écoulement	Répétabilité	Reproductibilité
Moins de 20	2	2
20 à 40	2	10% de la moyenne
plus de 40	5% de la moyenne	10% de la moyenne

## ESSAI DE PENETRATION STANDARD A 25 °C

### I. Définition

La pénétration d'un liant est l'expression de la profondeur à laquelle pénètre une aiguille type, de dimension déterminée, dans un échantillon de bitume sous des conditions définies de charge, de temps et de température ; (100 grammes, 5 secondes, 25°C).

Elle se mesure surtout pour les bitumes.

### II. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux sables d'origine naturelle ou artificielle, utilisés dans le domaine du bâtiment et des travaux publics.

### III. But de l'essai

Le degré de pénétration mesure la consistance du liant ; c'est à dire la propriété de ses diverses particules d'adhérer entre elles. Cette qualité permet au liant de résister aux efforts auxquels il est soumis, elle varie encore avec le climat de la région où le liant doit être employé et avec le trafic de la route où il est utilisé.

### IV. Appareillage

- Un pénétromètre donnant le 1/10 de millimètre ;
- Un récipient standard de forme cylindrique à fond plat de :
  - 35 mm de hauteur ;
  - 55 mm de diamètre ;
- Une aiguille confectionnée à partir d'une baguette en acier inoxydable, ayant :
  - 50,8 mm de longueur ;
  - 1,00 à 1,02 mm de diamètre ;
- Un bain d'eau maintenu à  $(25,0 \pm 0,1)$  °C.

## V. Mode opératoire

### V.1. Préparation de la prise d'essai

Chauffer l'échantillon avec précaution, pour éviter les surchauffes locales, à la température la plus basse à laquelle il devient suffisamment fluide pour pouvoir être versé. En aucun cas la température de l'échantillon ne doit être supérieure à 100 °C à son point de ramollissement déterminé par la méthode « Bille et anneau ». Agiter l'échantillon pour l'homogénéité en évitant l'inclusion de bulles d'air, ensuite verser lentement dans le gobelet préchauffé, toujours pour éviter la formation de bulles. Après refroidissement à la température de l'essai, la hauteur de l'échantillon dans le gobelet doit être supérieure d'au moins 10 mm à la profondeur à laquelle l'aiguille est susceptible de pénétrer.

Protéger le gobelet et son contenu de la poussière par un couvercle simplement posé, l'abandonner dans un local dont la température est comprise entre 20 et 30 °C pendant 1 heure à 1 heure et 30 minutes. Placer ensuite le gobelet dans le bain d'eau ainsi que le récipient de transfert et l'y laisser 1 heure à 1 heure et 30 minutes, le bain d'eau étant maintenu à  $25 \text{ °C} \pm 0,1 \text{ °C}$ .

Il est indispensable que la durée comprise entre la fin du coulage de l'échantillon dans le gobelet et la mesure de la pénétrabilité ne dépasse pas 3 heures (1 heure et 30 minutes + 1 heure et 30 minutes).

La prise d'essai doit être immergée dans à une profondeur d'au moins 100 mm et doit reposer sur une tablette perforée à au moins 50 mm du fond du bain.

### V.2. Détermination de la pénétrabilité

Placer la prise d'essai dans le récipient de transfert d'une quantité suffisante d'eau provenant du bain pour recouvrir complètement le gobelet. Placer ensuite ce récipient sur le plateau du pénétromètre. Déplacer l'aiguille chargée, la charge totale étant de  $(100,0 \pm 0,1) \text{ g}$  pour qu'elle effleure exactement la surface de la prise d'essai, l'affleurement étant détenu en faisant coïncider la pointe de l'aiguille avec son image réfléchi sur de la prise d'essai. Utiliser à cette fin une source lumineuse convenablement placée.

Ramener à 0 l'aiguille du cadran, libérer l'aiguille pendant la durée spécifiée de  $(5,0 \pm 0,1) \text{ s}$ , le bloquer aussitôt et mesurer la profondeur d'enfoncement en dixièmes de millimètre.

Effectuer trois mesures en des points de la surface de la prise d'essai distants d'au moins 10 mm les uns des autres et du bord du gobelet.

Ces trois mesures peuvent être effectuées en tournant le gobelet après chaque mesure :

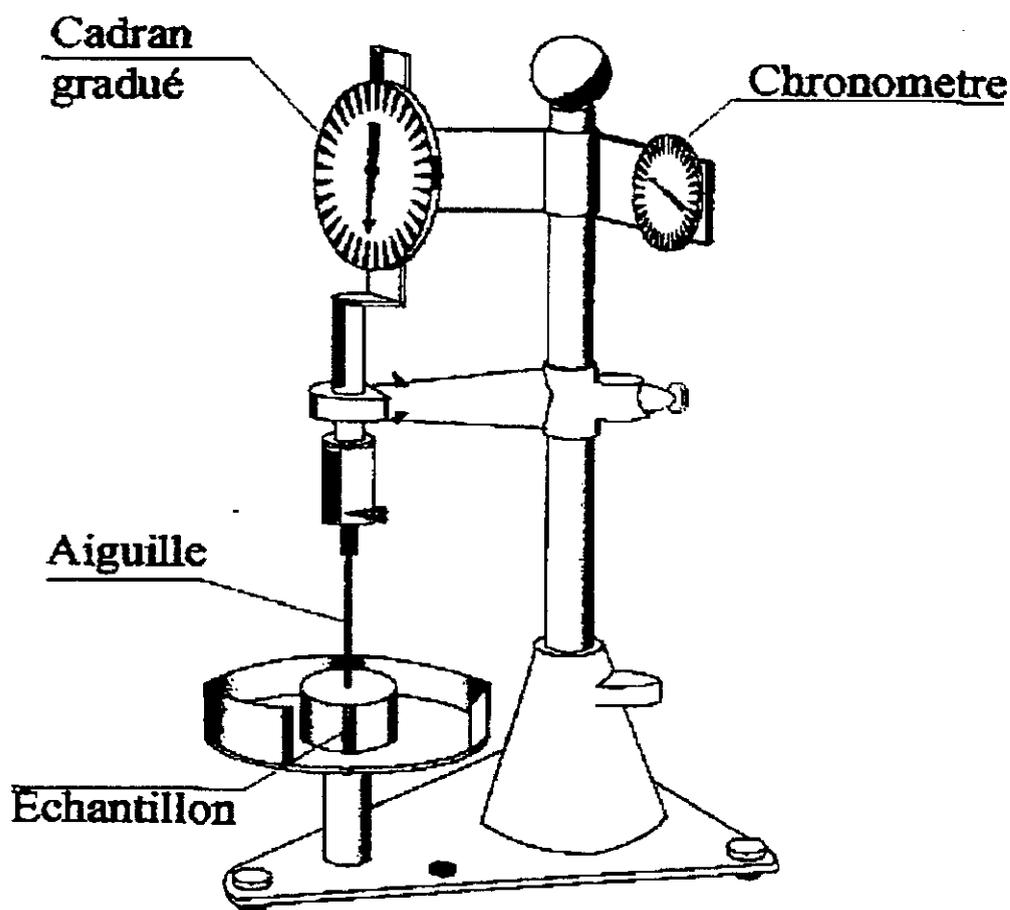
- Soit successivement avec la même aiguille ;
- Soit avec trois aiguilles différentes propres, lorsque la pénétrabilité est supérieure à 150 dixièmes de millimètre, l'aiguille précédemment utilisée étant laissée en place.

## VI. Précautions

- Après chaque mesure, replacer la prise d'essai et le récipient de transfert dans le bain d'eau ;
- Avant chaque mesure, l'aiguille doit être nettoyée à l'aide d'un chiffon propre imbibé de toluène ou de tout autre solvant convenable, puis avec un chiffon propre et sec.

## Remarque

Il est formellement déconseillé de nettoyer les aiguilles avec des produits possédant des propriétés lubrifiantes (silicones...).



# DETERMINATION DU POINT DE RAMOLLISSEMENT DES PRODUITS BITUMINEUX

## I. Objet et domaine d'application

La présente norme décrit les conditions de déterminations, par la méthode « Bille et anneau », du point de ramollissement des produits bitumineux, dont cette caractéristique est comprise entre 30 et 200 °C.

## II. Définition

Le point de ramollissement est la température à laquelle un produit bitumineux atteint un certain degré de ramollissement dans les conditions normalisées.

## III. Principe

Une bille d'acier d'une masse déterminée est placée sur une prise d'essai du produit, contenue dans un anneau de métal de dimensions normalisées. L'ensemble est chauffé à une vitesse constante déterminée. La température à laquelle la prise devient assez molle pour que la bille, ayant pénétré le produit bitumineux, tombe d'enveloppée de celui-ci, d'une hauteur déterminée, soit prise comme le point de ramollissement du produit étudié.

## IV. Appareillage

### IV.1. Anneaux, support d'anneaux et montage de l'ensemble

- Anneaux à épaulement en laiton ;
- La figure ci après montre l'ensemble monté ;

### IV. 2. Billes

- Billes en acier dont le diamètre est de 9,53 mm et la masse de  $3,5 \pm 0,05$  g ;

### IV.3. Guides

- Dispositif en laiton pour centrer la bille, ayant la forme et les dimensions indiquées sur la figure ;

### IV.4. Bain

- Vase cylindrique en verre, susceptible d'être chauffé, ayant comme dimensions minimales : 8,5 cm en diamètre et 12 cm de profondeur entre l'évasement du bord supérieur et le fond ;

## IV.5. Thermomètre

- Thermomètres « échelle haute » conformes aux spécifications données au tableau 1. le thermomètre est suspendu de façon que l'extrémité inférieure de son bulbe soit au niveau de la face intérieure des anneaux et à moins de 12,5 mm de ceux-ci sans toutefois les toucher.

Désignation	Caractéristiques	
	Echelle basse	Echelle haute
Immersion	Total	Total
Echelle de température	-2 à +8 °C	-30 à +200 °C
Subdivision tous les	0.2 °C	0.5 °C
Plus longue graduation chaque	1 °C	1 °C
Graduation numérotée tous les	2 °C	5 °C
Erreur maximum en tous points de l'échelle	0.2 °C	0.3 °C
Longueur totale en millimètres	390 ± 10	390 ± 10
Diamètre de la tige en millimètres	5.5 à 8	5.5 à 8
Diamètre du réservoir en millimètres	Supérieur ou égal à 4.5 et pouvant passer dans un orifice de 5.5	
Longueur du réservoir en millimètres	9 à 14	9 à 14
Distance du fond du réservoir à la graduation	0 °C, 75 à 90	30 °C, 75 à 90
Longueur de la partie graduée, en millimètres	245 à 280	245 à 280
Chambre d'expansion permettant au une température d'au moins	130 °C	250 °C
Forme du sommet	Anneau de verre	
Inscription sur le thermomètre	Méthode bille et anneau d'échelle basse, norme NF T 66-008	Méthode bille et anneau d'échelle basse, norme NF T 66-008

Tableau: spécifications du thermomètre.

## V. Préparation de l'échantillon

Chauffer l'échantillon en ayant soin d'éviter les surchauffes locales et en l'agitant constamment jusqu'à ce qu'il soit assez fluide pour être versé. La température voulue doit être atteinte en deux heures au plus et ne doit pas dépasser le point de ramollissement présumé de plus de 110 °C. Eviter l'introduction d'air dans l'échantillon.

Verser l'échantillon chauffé dans deux anneaux eux-mêmes préchauffés à la même température. Pendant cette opération, les anneaux reposent sur une plaque enduite d'un mélange en partie égales de glycérine et dextrine pour éviter l'adhérence du produit. Laisser refroidir pendant 30 min au moins mais sans que ce temps ne puisse entraîner une durée totale de l'essai supérieure à 240 min.

Les échantillons mous à température ambiante doivent être refroidis pendant 30 min au moins à une température intérieure de 8 °C ou plus au point de ramollissement présumé.

Après refroidissement enlever l'excès de produit par arasement, en utilisant une spatule ou un couteau légèrement chauffé.

Dans le cas où l'essai est répété, utiliser un récipient propre et un échantillon nouveau.

## VI. Mode opératoire pour les produits de point de ramollissement inférieur ou égal à 80 °C

### VI.1. Assemblage

Assembler l'appareillage avec les anneaux, le thermomètre et les guides en position correcte, et remplir le vase avec l'eau distillée récemment bouillie, à  $5 \pm 1$  °C, sur une hauteur comprise entre 102 et 108 mm. Maintenir pendant 15 min à une température de 5 °C, en plaçant si nécessaire le vase cylindrique dans de la glace fondante. Ensuite, à l'aide d'une pince, placer une bille, préalablement amenée à la température du bain, au centre de chaque guide.

### VI.2. Détermination

Chauffer de façon à élever la température de 5 °C par minute.

Utiliser des écrans en cas de courants d'air.

**NOTE :** Des chauffages électriques ou par brûleur à gaz peuvent être utilisés. Le dispositif chauffage électrique doit présenter un faible temps de réponse et posséder un réglage de sortie de puissance de façon à maintenir le gradient de température nécessaire.

L'élévation de température doit être uniforme et observée sans admettre la notion de moyenne sur l'ensemble de l'essai. La latitude permise sur chaque période d'une minute succédant aux trois premières minutes ne doit pas dépasser  $\pm 0,5$  °C. Rejeter tous les essais dans lesquels ce rythme d'élévation de température n'est pas respecté.

Noter pour chaque ensemble anneau-bille la température, indiquée par le thermomètre, à laquelle l'échantillon enveloppant la bille touche la plaque inférieure du support. Ne pas effectuer de corrections de colonne émergente. Si la différence entre les deux valeurs obtenues dans un essai effectué en double dépasse 1 °C, recommencer l'essai.

## VII. Mode opératoire pour les produits point de ramollissement supérieur à 80 °C

Suivre le même mode opératoire qu'au paragraphe 6 à l'exception des points suivants :

- Utiliser pour le liquide dans le vase de la glycérine au lieu d'eau ;
- Utiliser le thermomètre « échelle haute » ;
- Porter le bain liquide à la température initiale de 32 °C ;

**Note :** Pour les produits de point de ramollissement voisin de 80°C, il est nécessaire de noter la nature du liquide du bain, les bains de glycérine donnant des résultats plus élevés que les bains d'eau.

## VIII. Expressions des résultats

Arrondir à 0,5°C près la moyenne des températures enregistrées dans un essai en double et noter ce résultat comme le point de ramollissement.

## IX. Précautions de sécurité

L'utilisation d'eau distillée fraîchement bouillie est essentielle des bulles d'air étant susceptibles de se fixer sur le produit soumis à l'essai et de fausser les résultats. Un respect étroit du rythme de chauffage imposé est absolument nécessaire pour une bonne reproductibilité des résultats.

## X. Fidélité

La fidélité de la méthode chiffrée à partir de l'examen statistique des résultats est à suivante :

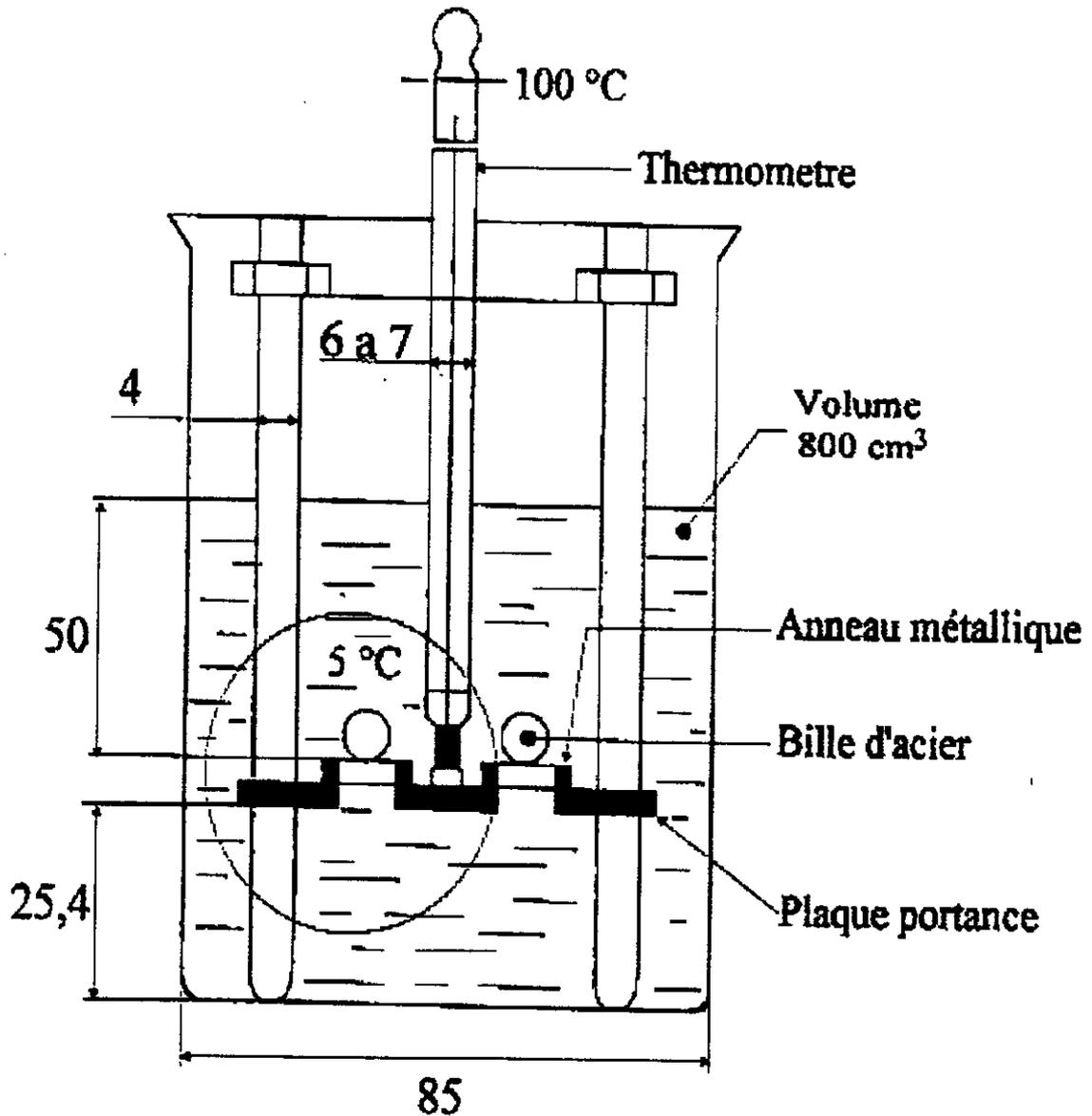
### X.1. Répétabilité

La différence entre des résultats successifs obtenus par le même opérateur, avec le même appareillage, dans des conditions opératoires identiques et sur un produit, ne doit pas, au cours d'une longue série d'essais effectués en appliquant correctement et normalement la méthode, dépasser plus d'une fois sur vingt les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous.

### X.2. Reproductibilité

La différence entre deux résultats unique et indépendants obtenus par différents opérateurs travaillant dans des laboratoires différents sur un même produit, ne doit pas, au cours d'une longue série d'essais en appliquant correctement et normalement la méthode d'essai, dépasser plus d'une fois sur vingt les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous.

Point de ramollissement	Répétabilité	Reproductibilité
$\left\{ \begin{array}{l} > 30\text{ °C} \\ \leq 80\text{ °C} \\ > 80\text{ °C} \end{array} \right.$	1 °C	2 °C
	2 °C	4 °C



Appareil bille et anneau pour la mesure du point de ramollissement du bitume.

---

# DETERMINATION DE LA DENSITE RELATIVE DES PRODUITS BITUMINEUX METHODE DU PYCNOMETRE

## I. Objet de la norme

La présente norme a pour objet la détermination de la densité relative<sup>1</sup> des bitumes fluxés et des produits bitumineux concrets.

Cette détermination est faite à  $25\text{ °C} \pm 0,2\text{ °C}$ .

## II. Définition

La densité relative des produits bitumineux est le rapport de la masse d'un volume de produit à  $25\text{°C}$ , à celle d'un égal volume d'eau à la même température.

## III. Appareillage

### III.1. Pycnomètre

Récipient cylindrique ou conique en verre soigneusement rodé pour recevoir un bouchon de verre fermant bien de 20 mm à 26 mm de diamètre, percé d'un orifice de 1 mm à 2 mm de diamètre à la place de l'ouverture capillaire habituelle.

A mi-volume, le pycnomètre comporte un trait circulaire de niveau.

La partie supérieure du bouchon doit être lisse et parfaitement plane. Et sa partie inférieure concave pour permettre aux bulles d'air de s'échapper plus facilement par l'ouverture ; cette concavité aura une profondeur d'environ 5 mm en son centre.

La capacité du pycnomètre bouché est d'environ 24 ml à 30 ml. Il ne doit pas peser à vide plus de 40 g.

## IV. Mode opératoire

### Tare du pycnomètre

Peser à la balance de précision le pycnomètre et son bouchon propres et secs. Soit « a » la masse obtenue.

Remplir ensuite le pycnomètre avec de l'eau distillée fraîchement bouillie, portée à  $25\text{°C}$  puis, le bouchon étant solidement fixé, l'immerger complètement pendant au moins trente minutes dans un bain d'eau réglé à cette même température.

---

Les trente minutes écoulées, faire émerger le bouchon pour l'essuyer parfaitement de sorte que sa surface soit sèche et que le ménisque de l'eau de l'orifice central soit de niveau avec le sommet du bouchon. Retirer ensuite le pycnomètre du bain d'eau, le peser sans délai après avoir enlevé toute trace d'humidité de la surface extérieure à l'aide d'un chiffon propre et sec.

Soit : « b » la masse obtenue.

### Mode opératoire pour les bitumes fluxés

Introduire le produit à essayer, à la température du laboratoire (toujours au-dessous de 25°C ) dans le pycnomètre jusqu'à ce que celui ci soit plein ; éviter l'inclusion de bulles d'air. Fixer solidement le bouchon et forcer l'excès de produit à passer à travers l'ouverture. Enlever soigneusement le surplus de produit avec un chiffon propre et sec. Immerger complètement le pycnomètre pendant au moins trente minutes dans un bain d'eau maintenu à 25°C. ce temps écoulé, retirer le pycnomètre, l'essuyer soigneusement et rapidement et le peser.

Soit : « c » la masse obtenue. La densité relative du produit est donnée par la formule :

$$\text{Densité relative } 25^{\circ}/25^{\circ} = \frac{c - a}{b - a}$$

### Mode opératoire pour les produits bitumineux concrets

Pour déterminer la densité relative de matières bitumineuses trop visqueuses par la méthode décrite ci-dessus fluidifier en chauffant une petite quantité de produit en prenant soin d'éviter les pertes par évaporation. Dès que l'échantillon est suffisamment fluide. En verser une quantité suffisante dans le pycnomètre propre, sec légèrement réchauffé pour le garnir, au moins jusqu'au repère circulaire. Eviter l'inclusion de bulle d'air et veiller à ne pas salir les parois du pycnomètre au-dessus du niveau final. Refroidir le pycnomètre et son contenu à la température ambiante et le peser muni de son bouchon.

Soit : « c » la masse obtenue.

Retirer le pycnomètre de la balance. Le remplir avec de l'eau distillée fraîchement bouillie et adapter solidement le bouchon, puis l'immerger complètement pendant au moins trente dans un bain d'eau maintenu à 25°C. faire émerger ensuite le bouchon pour l'essuyer parfaitement de sorte que sa surface soit sèche et le ménisque de l'eau de l'orifice central, de niveau avec le sommet du bouchon.

Retirer le pycnomètre l'essuyer avec un chiffon propre immédiatement avec son contenu et muni de son bouchon.

La densité relative du produit est donnée par la formule :

$$\text{Densité relative } 25^{\circ}/25^{\circ} = \frac{c - a}{(b - a) - (d - c)}$$

## Recommandations

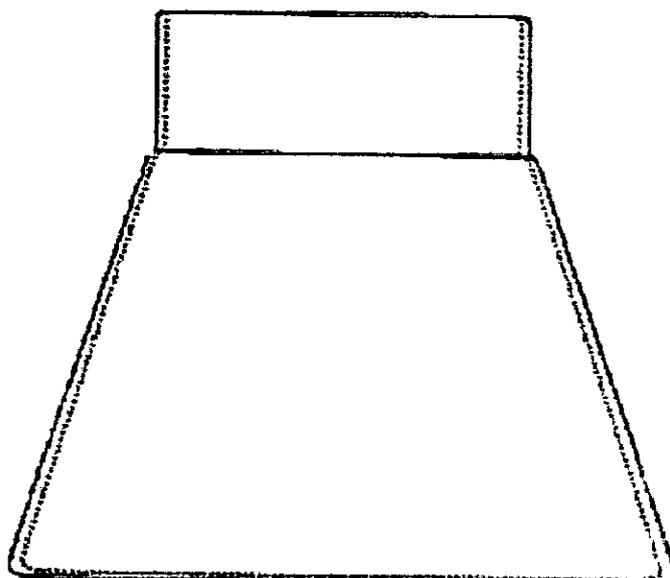
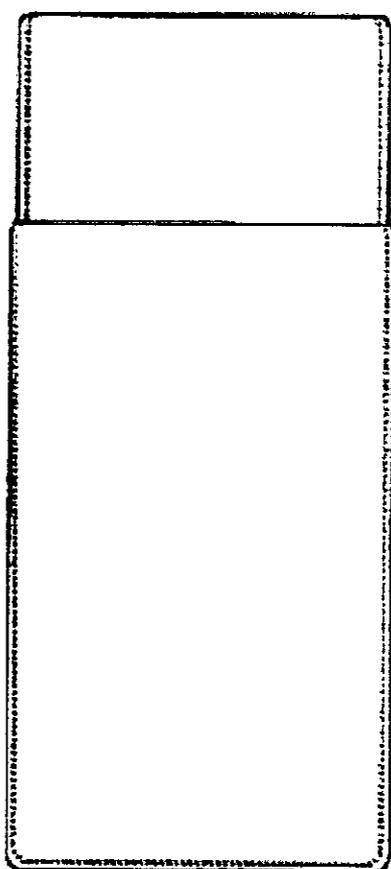
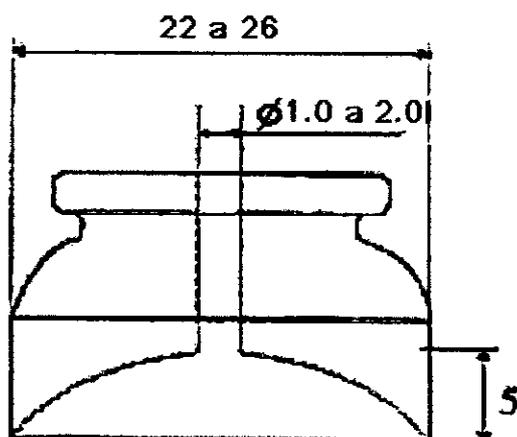
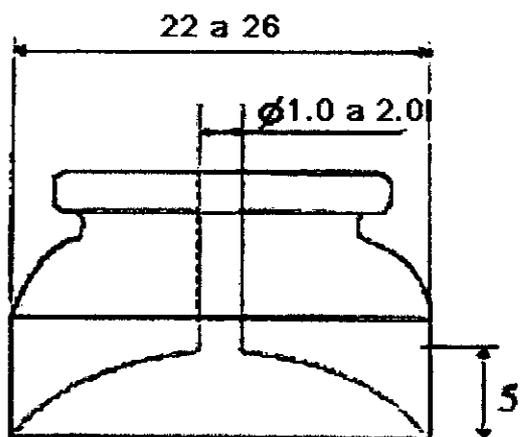
Pour les déterminations de densités relatives, il est important :

1. Que la température du contenu du pycnomètre soit bien  $25^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  pendant les pesées du pycnomètre complètement rempli.
2. De prendre des précautions pour prévenir l'expansion et le débordement du contenu pouvant être provoqués par la chaleur de la main pendant l'essuyage de la surface du pycnomètre.
3. D'éviter complètement la formation de bulles d'air dans le pycnomètre au cours du remplissage.
4. D'effectuer rapidement les pesées après le remplissage du pycnomètre et de les effectuer à 1 mg près, un certain nombre d'essais de remplissage et de pesées peuvent être nécessaires pour obtenir le degré de précision voulu.
5. De prendre des précautions pour éviter le bris du pycnomètre lorsqu'on le nettoie après une détermination faite sur un produit très visqueux ou semi-solide. Il est commode de chauffer le pycnomètre dans une étuve à  $100^{\circ}\text{C}$  au plus jusqu'à ce que tout le produit puisse être retiré. Essuyer ensuite avec un chiffon doux ou du papier-filtre. Lorsqu'il est refroidi, le pycnomètre est finalement rincé avec un solvant approprié et enfin essuyé soigneusement.

## V. Expression du résultat et fidélité de la méthode

La densité relative est un nombre sans dimension qui s'exprime avec trois décimales.

Le résultat est donné par la moyenne de deux premières déterminations différant de 0,005 au maximum.



Pycnomètre.

# DETERMINATION DE L'INDICE DE RUPTURE D'UNE EMULSION CATIONIQUE

## I. Objet et domaine d'application

La présente norme a pour objet l'évolution de la rupture d'une émulsion cationique vis-à-vis d fines minérales de référence. Elle s'applique aux émulsions de bitumes purs et aux émulsions de bitumes purs fluidifiés ou fluxés.

## II. Principe

Introduire régulièrement, suivant un mode opératoire conventionnel, la qualité de fines de référence qui provoque la rupture de 100g d'émulsion.

## III. Réactifs

### III.1. Fines siliceuses

-silice fine naturelle, non broyée, de couleur blanche,

-teneur en  $\text{SiO}_2$  supérieure à 98 %,

-masse volumique réelle  $2.65 \text{ g / cm}^3$ ,

-pH neutre,

-fuseau granulométrique :

Refus sur tamis de 100 $\mu\text{m}$	1 à 5 %
80 $\mu\text{m}$	5 à 10 %
63 $\mu\text{m}$	15 à 25 %
50 $\mu\text{m}$	10 à 20 %
40 $\mu\text{m}$	25 à 35 %
Passant à 40 $\mu\text{m}$	17 à 30 %

-indice de finesse devra être, préalablement à l'essai, séchées à l'étuve à  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  et conservées dans un récipient étanche.

## IV. Appareillage

- Une trémie à surface non adhérente munie d'une ouverture de 2.5 mm de diamètre, telle que le débit de fines soit de 0.3 à 0.5 g / s ou tout autre dispositif permettant le même débit.
- Une capsule émaillée de 20 cm de diamètre intérieur et de 10 cm de hauteur.
- Une spatule en nickel de 20 cm de longueur.

- Un bain thermostatique.
- Une balance précise au décigramme.

## V. Préparation de l'échantillon pour essai

Travailler sur un échantillon passé au tamis de 630  $\mu\text{m}$  d'ouverture de mailles. Homogénéiser soigneusement par agitation.

La quantité de fines de référence nécessaire à l'essai est prélevée dans un stock préalablement homogénéisé.

## VI. Mode opératoire

1. Conserver dans un bain thermostatique, réglé à la température de  $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ , l'émulsion à essayer et 1 kg de fines de référence dans des récipients bouchés hermétiquement pendant 1 h environ avant la réalisation de l'essai.
2. Détermination à 0.1 g près la masse,  $m_1$ , de la capsule émaillée, contenant la spatule de nickel.
3. Peser à 0.1 g près dans la capsule environ 100 g de l'émulsion à essayer, soit  $m_2$  la masse à 0.1 g près de l'ensemble capsule + émulsion.
4. La masse d'émulsion ajoutée est égale à :  $E = m_2 - m_1$
5. placer la capsule émaillée dans le bain thermostatique dont l'eau est maintenue à  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .
6. remplir la trémie avec les fines de référence maintenues à  $25^{\circ}\text{C}$ .
7. Placer la trémie contenant environ 250 g de fines de référence sur son support.
8. Ouvrir la trappe de la trémie ; les fines tombent alors régulièrement dans la capsule. Simultanément, mélanger intimement de façon régulière (1 tour par seconde) l'émulsion et les fines au moyen de la spatule.
9. Refermer la trappe lorsque le mélange devient pâteux et que se forme un caillot isole et non adhérent à la capsule, caractéristique de la rupture de l'émulsion. (Note : avec certaines émulsions, la formation du caillot n'est pas nette et ne permet pas d'indiquer un résultat. Dans ce cas, l'indiquer au procès-verbal d'essai).
10. Peser de nouveau la capsule avec la spatule de nickel à 0.1 g près ; après l'avoir essuyée : soit  $m_3$ .
11. La masse de fines ajoutée est égale à :  $m = m_3 - m_2$

## VII. Expression des résultats

L'indice de rupture de l'émulsion est calculé de la façon suivante :

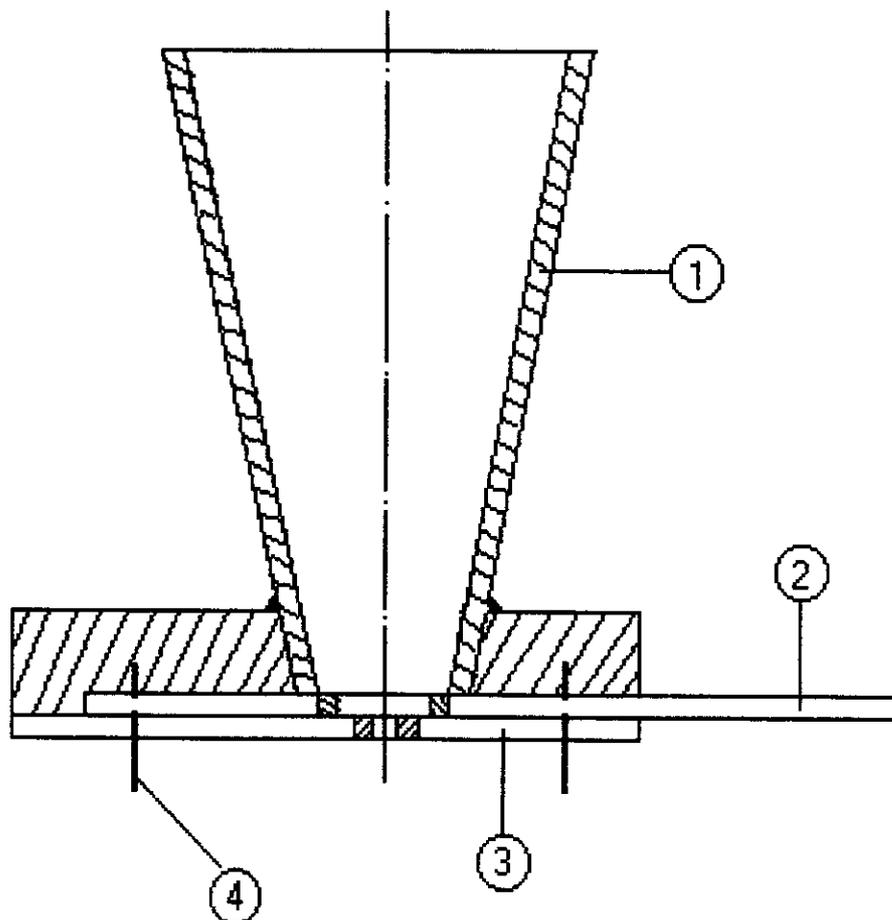
$$I = m / E \times 100$$

Où :

E : est la masse d'émulsion,

M : est la masse de fines de référence introduites.

Pour la présentation des résultats, indiquer : indice de rupture vis-à-vis des fines silicieuses. L'indice de rupture est la moyenne  $\bar{I}$  des résultats de 3 essais.



**Figure 1:** vue générale de la trémie

(Echelle 1 / 1)

- |   |   |   |                      |
|---|---|---|----------------------|
| ① | La trémie                               | } | En PVC non plastifié |
| ② | La tirette                              |   |                      |
| ③ | La plaque                               |   |                      |
| ④ | Vis F/ 90 N3 × 15, en acier inoxydable. |   |                      |

## DETERMINATION DE LA PSEUDO –VISCOSITE

### I. Objet

La présente norme a pour objet de définir le mode opératoire pour déterminer la pseudo-viscosité des émulsions de bitume.

### II. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux émulsions de bitume quelle que soit leur catégorie.

### III. Définition

La viscosité des émulsions de bitume se mesure dans la pratique courante à l'aide de viscosimètres à écoulement. Elle n'a qu'une valeur relative car ces produits ne se comportant pas des liquides newtoniens<sup>1</sup>. On doit donc utiliser le terme de pseudo-viscosité.

### IV. Principe

Selon la limite de viscosité utiliser pour déterminer la pseudo-viscosité, le viscosimètre Engler ou si elle est supérieure à 15°, le viscosimètre S.T.V.

### V. Appareillage et réactifs

#### V.1. Appareillage spécifique

##### V.1.1. Viscosimètre Engler

Le viscosimètre Engler est formé essentiellement par un réservoir (A) en laiton dont la paroi est cylindrique et dont le fond est une calotte sphérique munie en son centre d'un tube d'écoulement calibré (B) légèrement conique, en métal inoxydable soigneusement poli à l'intérieur. Le réservoir (A) destiné à recevoir l'émulsion porte sur sa paroi intérieure trois petites pointes métalliques (C), fixant le niveau du liquide (capacité correspondante : 250 mm environ). Le réservoir (A) est fermé par un couvercle (D), comportant une ouverture centrale pour le passage d'un pointeau en bois (E) et une autre ouverture pour le passage du thermomètre (T<sub>1</sub>).

Tout ce dispositif est entouré d'un réservoir concentrique (F) en laiton, destiné à recevoir de l'eau pour constituer un bain à température constante.

Le bain-marie (F) peut être chauffé, soit par une rampe à gaz annulaire mobile, soit de préférence par une résistance électrique un petit agitateur à palette (G) permet d'uniformiser la température du bain, à défaut d'agitateur électrique un ensemble thermostaté est souhaitable.

L'ensemble est supporté par un trépied (H) muni de trois vis calantes permettant de rendre horizontal le plan défini par les trois pointes métalliques (C).

### V.1.2. Thermomètre Engler

Ce thermomètre, est muni d'une bague en laiton qui vient s'appuyer sur un renflement de la tige. La baque est scellée à la tige.

Autres caractéristiques :

- Echelle 0 à + 55 °C.
- Graduation par 0.2 °C.
- Précision  $\pm 0.2^\circ\text{C}$ .
- Immersion 90 mm.
- Remplissage au mercure

### V.1.3. Pointeaux

Les pointeaux (E) sont tournés dans des tiges de bois dur (buis, par exemple), d'une longueur totale de 190 à 200 mm. Ils comprennent une partie cylindrique (diamètre : 8 mm ; longueur : 120 mm environ) et une partie tronconique (diamètre de la grande base : 8 mm ; diamètre de la petite base : 1.5 à 2 mm ; longueur : 70 à 80 mm). L'obturation du tube d'écoulement (B) se fait en enfonçant la pointe du pointeau dans le tube, sans forcer l'ouverture du tube se fait en soulevant le pointeau. Un fil de laiton, inséré dans le pointeau suivant une génératrice du tronc de cône (entre la grande base et le milieu de cette génératrice), forme ressort et permet de bloquer le pointeau, en position haute, dans l'ouverture centrale du couvercle (D).

L'un des pointeaux est réservé aux étalonnages du viscosimètre avec l'eau distillée. L'autre pointeau, réservé aux émulsions doit être nettoyé après chaque essai et peut servir à d'autres mesures.

### V.1.4. Fiole jaugée

Cette fiole de mesure, en verre, est munie de deux traits de jauge : à 100 ml et 200 ml. Sa capacité est telle qu'elle puisse contenir la totalité du liquide s'écoulant du viscosimètre (250 ml environ).

### V.1.5. Viscosimètre S.T.V

La norme NF T 66-005 donne une description de l'appareil et de ses accessoires. Il est souhaitable que le bain d'eau soit chauffé électriquement et maintenu à la température de 25 °C par thermostat. Un engin réfrigérant solidaire de l'appareil est parfois nécessaire lorsque la température ambiante est supérieure à 25 °C.

### V.2. Appareillage d'usage courant

- Chronomètre donnant le cinquième de seconde.
- Thermomètre de -10 °C à + 60 °C, gradué en 1/ 5 de degré, diamètre de tige 5 à 6 mm.
- Becher de 500 ml environ.

### V.3. Réactifs

#### V.3.1. Solution Sa

Solution aqueuse de laurylsulfate de sodium à 1 % de diamètre active ou, à défaut aqueux à 1 %, d'oléate de sodium. Ces solutions doivent être additionnées de 1 % en masse d'hydroxyde de sodium solide.

Ces solutions sont à utiliser pour l'essai sur émulsions anioniques.

#### V.3.2. Solution Sc

Solution aqueuse de chlorure d'alkyltriméthylammonium ou de bromure de cetyltriméthylammonium ou, à défaut, de chlorhydrate de diamines grasses à 1 % de matière active. Ces solutions doivent être additionnées d'acide chlorhydrique (1 mol / l).

Ces solutions sont à utiliser pour l'essai sur émulsions cationiques (voir 7.2).

## VI. Préparation de l'échantillon pour essai

L'émulsion est filtrée sur un tamis en acier inoxydable de maille 630 µm et homogénéisée soigneusement par agitation.

Si nécessaire, on se reporte à la norme T 66-010 concernant l'échantillonnage et à la norme T 66-016 concernant l'essai d'homogénéité par tamisage.

## VII. Mode opératoire

### VII.1. Pseudo-viscosité Engler

#### VII.1.1. Présentation du matériel

Laver l'intérieur du réservoir (A) et le tube d'écoulement (B). Cette opération de nettoyage doit être effectuée très soigneusement, en particulier :

- Pour nettoyer à froid l'intérieur du tube d'écoulement se servir de papier filtre doux, enroulé et imbibé de trichloréthylène.
- Ne pas oublier de nettoyer l'extrémité intérieure du tube d'écoulement.
- Ne jamais utiliser de fils métalliques, de substances abrasives ou corrosives.

Rincer à l'eau distillée. Sécher soit avec du papier filtre, soit, de préférence, à l'air comprimé sec et dépoussiéré.

Laver et sécher de la même façon le thermomètre  $T_1$ , et le pointeau réservé aux mesures sur émulsions. Le pointeau réservé à l'étalonnage à l'eau distillée reste toujours propre s'il est conservé à l'abri des poussières et des salissures.

La fiole jaugée doit être propre et sèche.

Remplir d'eau le réservoir extérieur (F) et régler la température de ce bain à  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ .

Le viscosimètre est alors prêt à l'emploi.

#### VII.1.2. Etalement de l'appareil

Obturer le tube d'écoulement en y introduisant verticalement et sans forcer le pointeau réservé à l'étalonnage.

Enlever le couvercle (D) et verser de l'eau distillée à  $20^{\circ}\text{C}$  dans le réservoir (A) jusqu'au sommet des trois pointes métalliques (C). Le plan de ces pointes doit être rendu horizontal au moyen des vis calantes. Le niveau de l'eau est réglé exactement avec une pipette.

Vérifier que la température de l'eau distillée est de  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  et l'ajuster au besoin en chauffant ou en refroidissant légèrement le bain extérieur. Lorsqu'un tel ajustement est nécessaire, il faut attendre au moins trois minutes, en agitant le contenu des réservoirs (A) et (F) avant de lire la température sur le thermomètre  $T_1$ .

Essuyer avec du papier filtre la base du tube d'écoulement et le fond du réservoir (F) pour enlever l'humidité qui aurait pu s'y déposer (une condensation se produit souvent soit en cas de chauffage au gaz, soit lorsque l'air ambiant est humide et à une température supérieure à 25 °C).

Soulever plusieurs fois le pointeau, très légèrement, de façon que le tube d'écoulement se remplisse d'eau distillée et qu'une goutte demeure suspendue à l'orifice de sortie, en couvrant complètement la surface.

Placer la fiole jaugée sous le tube d'écoulement de façon que leurs axes respectifs soient pratiquement confondus.

Soulever franchement le pointeau, et déclencher le chronomètre au moment où la première goutte de liquide touche le fond de la fiole. A partir de ce moment, la rampe à gaz ne doit plus être allumée. La température du bain sera maintenue, si nécessaire, à l'aide d'un brûleur dirigé vers la paroi cylindrique externe du réservoir (F) ou mieux à l'aide d'une régulation électrique. Bloquer le pointeau par son ressort dans l'ouverture du couvercle (D).

Noter le temps  $t_0$  d'écoulement de 200 ml d'eau distillée. Lorsque trois résultats ne diffèrent pas entre eux de plus de 0.5 secondes, la moyenne de ces résultats, arrondie à 0.2 secondes, représente la valeur en eau  $t_0$  du viscosimètre.

### VII.1.3 Mesure du temps d'écoulement de l'émulsion

Après étalonnage, le viscosimètre et ses accessoires sont séchés. Le bain thermostatique est réglé comme pour l'étalonnage.

Obturer le tube d'écoulement avec le pointeau réservé aux émulsions.

Le mode opératoire avec l'émulsion tamisée ne diffère de celui utilisé pour l'étalonnage à l'eau par les points suivants :

- Les déterminations seront poursuivies dans un temps assez court après l'introduction de l'émulsion dans le viscosimètre, pour éliminer la possibilité de formation de dépôt.
- L'agitation de l'émulsion par rotation du couvercle doit être presque continue, mais très douce pour éviter la formation de mousse.
- La fiole jaugée est placée de façon que l'émulsion s'écoule le long de la paroi pour éviter la formation de la mousse.
- Noter le temps  $t_1$  d'écoulement des 100 premiers millilitres, puis le temps  $t_2$  d'écoulement des 200 ml. Si l'écoulement est régulier, le temps  $t_2$  doit être, à 5 secondes près :

$$t_2 = t_1 \times 2.353$$



## DETERMINATION DE LA TENEUR EN EAU

### I. Objet et domaine d'application

La présente norme a pour objet de décrire une méthode de détermination de la teneur en eau des émulsions de bitume par entraînement émulsion l'aide d'un solvant.

### II. Principe

L'eau contenue dans la prise d'essai est entraînée par distillation à reflux d'un solvant non miscible à l'eau. Après condensation l'eau sépare du solvant et s'accumule dans un tube de recette gradué, de forme convenable. Le liquide d'entraînement retourne dans le récipient de distillation.

### III. Référence

Détermination de la teneur en eau dans les pétroles et dérivés « NF T 60-113 ».

### IV. Appareillage

#### IV.1. Récipient de distillation

Ballon en verre, à col court et large, dont la capacité est de 500 ou 1000 ml, et sur lequel doit pouvoir s'adapter facilement le tube de recette décrit ci-après.

#### IV.2. Dispositif de chauffage

Comprenant soit un brûleur, soit un chauffe-ballon électrique.

#### VI.3. Réfrigérant droit

Longueur de la jaquette : 400 mm au minimum. Diamètre extérieur du tube intérieur : 10 à 12 mm. Ce tube est taillé en biseau à sa partie inférieure, pour permettre l'écoulement goutte à goutte des produits condensés.

Le ballon, le tube de recette et le réfrigérant (figure 1) sont raccordés par tout moyen assurant l'étanchéité. Il est recommandé d'utiliser des joints coniques rodés, conformes à la norme NF B 35-013 ou des joints à rodages sphériques.

#### VI.4. Tubes de recettes.

Ces tubes sont en verre et ont capacité de 25 ml.

Les tolérances, pour la partie graduée, sont les suivantes :

De 0 ml à 1 ml : graduation en 0.1 ml,

A partir de 1 ml : graduation en 0.2 ml,

Erreur maximale : 0.1 ml.

#### V. Réactifs

Toluène pur.

#### VI. Préparation de l'échantillon pour essai

La quantité d'échantillon à prélevé est de l'ordre de deux litres placés dans un récipient en polyéthylène à large col, à bouchon vissé, préalablement rincé à l'aide de la phase dispersante utilisée pour l'émulsification.

L'échantillon doit être filtré sur un tamis de 630  $\mu\text{m}$  d'ouverture de mailles puis homogénéisé soigneusement par agitation.

#### VII. Mode opératoire

Peser 40 g environ d'émulsion dans le ballon à 0.1 g près.

Ajouter 70 à 80 ml de toluène et un peu de poudre de talc sec ou de pierre ponce contenue dans une boîte très étanche.

Agiter légèrement et assembler les différents éléments de l'appareil selon la figure 1 après s'être assuré que le tube de recette et le tube intérieur du réfrigérant sont chimiquement propres.

Faire circuler l'eau froid dans le réfrigérant.

Chauffer le récipient de distillation en réglant l'ébullition de manière à éviter l'engorgement du réfrigérant. Pour suivre la distillation jusqu'à ce que le volume d'eau recueilli dans le tube de recette reste constant et qu'il n'y ait plus d'eau visible en aucun autre point de l'appareil.

Si des gouttelettes d'eau restent dans le réfrigérant, augmenter momentanément la vitesse de distillation.

Arrêter le chauffage. Laisser le tube de recette et son contenu refroidir à la température ambiante. Lire le volume de l'eau rassemblée au fond du tube de recette, à la division de l'échelle la plus voisine de l'interface eau-solvant.

Il arrive que de fines gouttelettes d'eau adhérentes aux parois du tube de recette ou restent en suspension dans le solvant. Dans ce cas, on se servira d'une baguette à braser ou d'une tige en laiton de 2 mm de diamètre environ ou de tout autre dispositif approprié pour favoriser la séparation de l'eau et du toluène.

### VIII. Calcul et expression des résultats

Exprimer la teneur en eau de l'échantillon en pourcentage, en masse, au moyen de la formule suivante :

$$\frac{\text{Volume d'eau en millilitres, dans le tube de recette} \times 100}{\text{Masse, en grammes, de la pris d'essai}}$$

Masse, en grammes, de la pris d'essai

Remarque : Les matières volatiles solubles dans l'eau, entraînées dans le tube de recette, sont comptées comme eau.

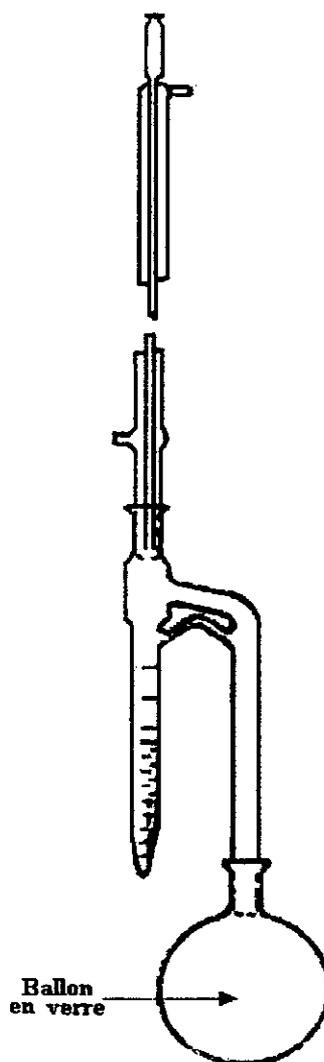


Figure 1 : Appareil type.

# DETERMINATION DU SIGNE DE LA CHARGE DES PARTICULES D'UNE EMULSION

## Avant-propos

La présente norme est techniquement conforme à la norme ASTM D 244-81.

## I. Objet

La présente norme a pour objet de définir le mode opératoire pour la détermination du signe de la charge des particules d'une émulsion de bitume.

## II. Domaine d'application

La présente norme s'applique aux émulsions de bitume quelle que soit leur catégorie.

## III. Définition

Sous l'action d'un champ électrique continu, les particules d'une émulsion se dirigent vers l'anode ou la cathode. Si les particules se dirigent vers l'anode, l'émulsion est anionique, les particules étant chargées négativement. Si les particules se dirigent vers la cathode, l'émulsion est cationique, les particules étant chargées positivement.

## IV. Principe

L'essai consiste à plonger dans l'échantillon d'émulsion, deux électrodes reliées à un générateur de courant continu dont on peut faire varier l'intensité et observer le dépôt de bitume sur l'une ou l'autre des électrodes.

## V. Appareillage

- Générateur de courant continu de 12 V ou source de courant redressé, muni d'un milliampèremètre et d'une résistance variable.
- Plaques d'acier inoxydable 100 mm environ, isolées l'une de l'autre et maintenues fermement parallèles à 12 mm environ l'une de l'autre.
- Bécher de 150 à 250 ml.
- Tamis en acier inoxydable d'ouverture de maille 630  $\mu\text{m}$ .
- Chronomètre.

## VI. Préparation de l'échantillon pour essai

L'émulsion est filtrée sur un tamis en acier inoxydable d'ouverture de maille 630  $\mu\text{m}$  puis homogénéisée soigneusement par agitation.

Si nécessaire, se reporter à la norme NF T 66-016 concernant l'essai d'homogénéité par tamisage.

## VII. Mode opératoire

Verser l'émulsion ainsi préparée dans un bécher jusqu'à une hauteur de 25 mm environ.

Raccorder les électrodes, précédemment nettoyées avec un solvant et séchées, au générateur de courant et les placer dans le bécher.

Régler l'intensité du courant à 8 mA au moins, au moyen de la résistance variable et déclencher le chronomètre. Une intensité plus élevée peut être nécessaire en cas d'ambiguïté sur le résultat de l'essai. Dans ce cas, noter l'intensité utilisée, au procès-verbal d'essai.

Lorsque l'intensité du courant diminue jusqu'à 2 mA, interrompre l'arrivée du courant et laver les électrodes à l'eau courante, si l'intensité du courant a tendance à être constante ou diminue très lentement, maintenir le courant pendant 30 min.

Examiner les dépôts de bitume sur les électrodes. Une émulsion cationique laisse un dépôt relativement important sur la cathode. Dans le cas d'une émulsion anionique, ce dépôt se produit sur l'anode.

## Références :

- [1]- G.ARQUIE, J.C.ROUDE, Routes, E.N.T.P.E.
- [2]- J.ARRAMBIDE, M.DURIEZ, Nouveau traité de matériaux de construction, Tome3, Liants et bétons hydrocarbonés, DUNOD1962.
- [3]- BECHER P., Emulsion Theory and Practice, *Reinhold publishing Co. New York (1965)*.
- [4]- M. BENDHIA, Quelques particularités de l'utilisation du sable de dune en construction routière en milieu saharien. Bulletin du laboratoire des ponts et chaussées, jan-fev1998.
- [5]- J.BONNOT, M.PANET, Les granulats, Revue générale des routes et des aérodromes, N°468, déc.1970.
- [6]- R.COQUAND, Routes, EYROLLES 1965.
- [7]- G.JEUFFROY, Conception et construction des chaussées, EYROLLES 1985.
- [8]- J.G.MALLOUK, Les enrobés bitumineux, MODULO 1982.
- [9]- L.PERIMEL, Origine et caractéristiques des principaux types de sables, bulletin du laboratoire des ponts et chaussées, août1968.
- [10]- A.PINCON, Revue générale des routes et des aérodromes, N°442, Etude granulométrique et essais de classification des sables, juin 1967.
- [11]- Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (version zéro), CTTTP. Nov2000.
- [12]- Groupe de chercheurs. Les émulsions de bitume, Bulletin du laboratoire des ponts et chaussées, juin1974.
- [13]- Les émulsions de bitume, Généralités et applications, Syndicat des fabricants d'émulsion routière. Paris, 1988.
- [14]- Service d'étude technique des routes et des autoroutes, n°9, Enrobés coulés à froid. Avril 1985.
- [15]- Recueil des communications (tome2). III<sup>ème</sup> congrès algérien de la route, Alger. Mars 2001.
- [16]- Revue générale des routes et des aérodromes, n°398, Premier bilan des nouvelles techniques de revêtements bétonnés, Avril 1965.
- [17]- Revue générale des routes, n°757, Axes de progrès pour les enrobés froid.  
Décembre 1997.
- [18]- Revue générale des routes, n°781, Méthodologie d'étude et de formulation des enrobés coulés à froid. Février 2000.
- [19]- Revue générale des routes, n°788, Béton bitumineux à froid. Octobre 2000.