

17/97

République Algérienne Démocratique et Populaire

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département Génie Civil

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de Fin d'Etude

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

SABLE BITUME EN COUCHE DE ROULEMENT ETUDE ET FORMULATION

Proposé par: SONATRO

Dirigé par: Mme KETTAB R

Etudié par: Mlle KACI Hassiba

Promotion: 1997

REMERCIEMENTS

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Je tiens tout particulièrement à remercier ma promotrice Mme KETTAB. R née MITICHE qui m'a été d'une immense aide morale, pour les précieux conseils dont elle m'a enrichis et l'énorme patience et courage dont elle a fait preuve; qu'il me soit permis ici de lui exprimer ma profonde gratitude

Je remercie aussi Mr KETTAB. A pour ses conseils et la mise à ma disposition du matériel nécessaire pour mettre à jour ce travail.

Aussi, je présente mes remerciements pour tout le personnel du laboratoire de la SONATRO et particulièrement Mr HADJ RABEH. M pour son aide durant tout mon séjour au laboratoire.

Je remercie aussi Mr BEDRISSI. M chef de département laboratoire SONATRO pour avoir mis à ma disposition les moyens matériels pour mener à bien mes essais.

Mes remerciements vont également à Mme OUGHANEM S ingénieur au CTPP pour m'avoir si gentiment conseillé et procuré la documentation.

DEDICACES

Je dédie le fruit de longues années d'études:

A la mémoire de mon père et mes grands-pères.

A ma très chère mère.

A ma très chère "seconde" soeur et ma promotrice Mme KETTAB. R

A mes grand'-mères.

A ma soeur MALIKA et son mari MOHAMMED

A mes frères.

A tous mes neveux et nièces

A ma petite FADELA.

Melle KACI Hassiba



ERRATUM

* Toutes les stabilités HUBBARD FIELD ont été déterminées à 20 et 60°C

* les tableaux de la page 42 sont modifiés comme suit:

100% sable de Biskra:

Tableau 1
Résultats des essais Hubbard-Field
obtenus avec le sable de Biskra

% en Bitume	5	5,5	6	6,5	7
Poids à l'Air (g)	100	105.4	106.8	106.3	105.9
Hauteur H (cm)	3.07	3.02	3	3	3
Diamètre D (cm)	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99
Volume V (cm ³)	60.01	59.03	58.64	58.64	58.64
Densité Apparente	1.67	1.79	1.82	1.81	1.81
Densité Théorique	2.28	2.26	2.19	2.21	2.24
Compacité (%)	72.93	79.01	83.25	81.98	80.79
Stabilité H.F (kg) à 18°C	657,93	693,72	819,18	772,56	696
Stabilité H.F (kg) à 60°C	208,8	240,12	299,28	281,88	267,96

100% sable de Ghardaïa:

Tableau 2
Résultats des essais Hubbard-Field
obtenus avec le sable de Ghardaïa

% en Bitume	5	5,5	6	6,5	7
Poids à l'Air (g)	104,5	105,2	105,7	105,2	106,6
Hauteur H (cm)	2.97	3	3.01	2.97	2.98
Diamètre D (cm)	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99
Volume V (cm ³)	58.05	58.64	58.84	58.05	58.25
Densité Apparente	1.84	1.83	1.83	1.85	1.83
Densité Théorique	2.25	2.24	2.23	2.23	2.22
Compacité (%)	81.68	81.82	82.10	83.13	82.56
Stabilité H.F (kg) à 18°C	643,8	678,6	800,4	719,55	642,06
Stabilité H.F (kg) à 60°C	153,14	184,5	243,54	156,825	129,15

* Interprétation générale: (page 60 bis)

Si la formulation est faite correctement, c'est à dire si elle tient compte de la courbe granulométrique et par conséquent du pourcentage de fines (< 0.08mm), on voit que l'optimum est obtenu pour les deux sables (Biskra et Ghardaïa) pour un même pourcentage d'ajout stabilisant et la variation des différents paramètres (stabilités et compacité) est identique.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PREMIERE PARTIE:

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I INTRODUCTION

<i>I.1 PRELIMINAIRES</i>	05
<i>I.2 HISTORIQUE</i>	05
<i>I.3 GENERALITES</i>	06
<i>I.4 BUT DU SUJET</i>	07

CHAPITRE II RAPPELS THEORIQUES

<i>II.1 LES LIANTS HYDROCARBONES</i>	09
II.1.1 Définition	09
II.1.2 Classification des liants hydrocarbonés	09
<i>II.2 LES SABLES</i>	16
II.2.1 Définition	16
II.2.2 Ressources de sable en Algérie	17

CHAPITRE III TECHNIQUE ROUTIERE AU SAHARA

<i>III.1 INTRODUCTION</i>	21
<i>III.2 LES FACTEURS INTERVENANT DANS LA STRUCTURE D'UNE CHAUSSEE AU SAHARA</i>	21
III.2.1 Facteurs climatiques	21
III.2.2 Les matériaux utilisés au Sahara	27
III.2.3 Le trafic	27

SOMMAIRE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

III.3 TECHNIQUE DU SABLE BITUME EN COUCHE DE ROULEMENT	28
III.3.1 Définition	28
III.3.2 Résultats obtenus sur certaines routes sahariennes	28

CHAPITRE IV LES ESSAIS D'IDENTIFICATION

IV.1 L'IDENTIFICATION DU BITUME	33
IV.1.1 Essai de pénétrabilité	33
IV.1.2 Essai de mesure du point de ramollissement	34
IV.1.3 Essai de détermination de la densité relative	34
IV.1.4 Essai de ductilité	35
IV.1.5 Essai de détermination du point d'éclair	35
IV.1.6 Essai de solubilité	35
IV.1.7 Essai de détermination des pertes de masse au chauffage	36
IV.2 L'IDENTIFICATION DU SABLE	36
IV.2.1. Essai de granulométrie	36
IV.2.2. Essai de l'équivalent de sable	36
IV.2.3. Essai au bleu de méthylène	36

SOMMAIRE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

DEUXIEME PARTIE:

ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE V FORMULATION DU SABLE BITUME

<i>V.1 DEFINITION</i>	37
<i>V.2 PRESENTATION DES MATERIAUX UTILISES</i>	37
V.2.1 Les sables	37
V.2.2 Le bitume	38
<i>V.3 PROGRAMMATION DE L'EXPERIMENTATION</i>	39
V.3.1 Détermination de la teneur en liant	39
V.3.2 Comportement mécanique des sables-bitume	40
V.3.3 Première série d'essai	42
<i>V.4 PRESENTATION DES STABILISANTS UTILISES</i>	44
V.4.1 Définition et caractéristiques des stabilisants	44
V.4.2 Deuxième série d'essai	46

CHAPITRE VI CONCLUSION GENERALE

ANNEXE

Annexe 1: Mode opératoire des essais effectués	63
--	----

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPITRE I

I INTRODUCTION

I-1 PRELIMINAIRES:

On appelle chaussée, toute surface spécialement aménagée sur le sol pour la circulation des véhicules. Elle existe depuis les temps les plus reculés de l'histoire.

Les réseaux routiers ont été développés et modernisés avec l'apparition de l'automobile. Cette dernière a marqué un tournant décisif dans l'histoire de la route qui lui offre actuellement de plus grands confort, rapidité et sécurité.

I-2 HISTORIQUE:

On peut résumer l'histoire de la route comme suit:

- De 1890 à 1925:

* La couche superficielle de chaussées n'est pas traitée; elle est constituée soit par un pavage soit par un empierrement.

* Le premier enduit superficiel utilisé est exécuté essentiellement à partir du goudron sans gravillonnage avec répandage d'une couche épaisse de sable graveleux additionnée de criblures de pierres.

- De 1926 à 1950:

* Développement des enduits superficiels qui recouvrent progressivement la totalité des routes empierrées.

* Généralisation des enduits superficiels et par conséquent évolution sensible des liants.

* En 1931, le bitume est utilisé dans le répandage à chaud.

* Le rôle prééminent du goudron s'estompe devant l'apparition des émulsions anioniques de bitume

Anionique: Qui doit son caractère à la présence ou à la concentration, soit en surface soit dans la masse, d'anions (ions négatifs).

* Vers 1934, l'usage du gravillonnage s'établit définitivement entraînant une recherche dans la qualité des gravillons notamment par la mise au point des essais de laboratoire

- De 1950 à 1965:

* Les enduits superficiels connaissent encore des progrès sensibles.

* La technique des enrobés denses connaît un succès foudroyant empêchant l'extension des bétons bitumineux, plus performants mais plus chers.

* Cette période est relativement creuse pour les couches de surface, la technique étant surtout orientée vers la constitution des assises de chaussées.

- De 1965 à 1973:

* Les revêtements de chaussées reviennent favorisés par la réalisation; et les résultats encouragent des graves traités aux liants hydrocarbonés (grave-bitume et grave-émulsions).

* En 1969, la direction des routes et de la circulation routière publie le résultat des études sur les bétons bitumineux et préconise des formulations grenues et semi-grenues 0/10 et 0/14 appliquées en forte épaisseur.

- Depuis 1973:

* Vu leur excellent rapport qualité-prix et leurs propriétés antidérapantes (même à grande vitesse), les enduits superficiels sont appliqués sur les autoroutes et les routes nationales à grande circulation.

* Une recherche sur les liants hydrocarbonés est entreprise pour améliorer leurs performances, en particulier par addition de polymères, de fibres d'amiante et même de soufre, et de poudre d'asphalte. Ces derniers pourraient également avoir pour conséquence une certaine réduction de la consommation de bitume. Les liants améliorés permettent la fabrication d'enrobés spéciaux.

I-3 GENERALITES:

Le SAHARA représente plus de trois quart de la superficie du territoire algérien; dans la vie économique de cet immense "pays" la route représente un instrument essentiel, elle constitue le principal mode de transport des marchandises.

La technique routière au Sahara est maintenant très particulière. Elle possède son expérience, ses normes empiriques propres et il paraît intéressant de commencer par retrouver sa genèse.

Les problèmes sahariens ne se posaient pas à l'époque car les routes n'avaient pas dépassé le Sud des Hauts Plateaux.

Une seule route très étroite dépassait cette limite et atteignait Ghardaia.

Les premières routes Sahariennes ont commencé vers 1955; il s'agit notamment de Ghardaia-El Goléa et de Ouargla-Ghardaia. Elles ont été étudiées en adoptant les bases de la technique mise au point pour la France.

Les matériaux utilisés avaient la granulométrie la plus étalée possible et contenaient très peu ou pas d'argile.

Les différentes parties de chaussées sont à l'image de celles de l'Europe; nous avons de bas en haut:

- Une couche de fondation dont l'épaisseur était fonction du sol sous-jacent.
- Une couche de base d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur
- Une couche de roulement aussi épaisse que les crédits le permettaient.

Eventuellement, on ajoutait entre la couche de base et la couche de roulement un matériau enrobé avec un faible dosage de liant hydrocarboné Binder pour augmenter la rigidité de la couche de roulement et améliorer la répartition des charges sur la couche inférieure.

N.B- Rappel de la définition de Binder: Dans un revêtement, c'est la sous-couche, par opposition à la couche de surface, couche de roulement, ou couche d'usure).

On peut ainsi dire que la construction des routes au Sahara est caractérisée par le fait que les travaux de terrassement sont en général peu importants étant donnée que la couche de base est réalisée avec des matériaux naturels locaux ce qui réduit considérablement le coût de réalisation.

Par contre la couche de roulement en matériaux enrobés revient considérablement cher étant donné le coût du transport du bitume ainsi que les matériaux concassés, en raison de l'éloignement des sites de concassage; cette contrainte a poussé les ingénieurs routiers des années 50 et 60 à essayer d'utiliser à la place des agrégats concassés, le sable éolien couvrant de vastes contrées du nord de l'erg oriental ou dans la mesure du possible des sables alluvionnaires qui se trouvent sur les anciens lits d'oued.

Ainsi, la technique de sable bitume en couche de roulement a vu le jour à l'occasion de la réalisation des premiers tronçons de la RN 3 et la RN 48 au nord du Sahara ensuite cela a été généralisé à l'ensemble du réseau routier d'EL-OUED, TOUGGOURT et OUARGLA sur plusieurs centaines de kilomètres.

1-4 BUT DU SUJET

Depuis un certain temps une tendance de réhabilitation de la technique du sable bitume se dégage avec le lancement de grands chantiers de renforcement et modernisation du réseau principal compte tenu des restrictions financières dues à la conjoncture économique actuelle, et on espère que son utilisation de nouveau permet de réduire le prix de revient des routes tout en étant techniquement valable.

C'est dans ce cadre là que s'inscrit notre travail de recherche sur le sable bitume avec l'utilisation de l'essai HUBBARD-FIELD qui permet d'évaluer la stabilité des matériaux enrobés fins et choisir la meilleure formulation.

Pour cela nous avons utilisé des sables de deux régions différentes (BISKRA et LAGHOUAT) en faisant varier les apports (ciment, chaux, plâtre et sable de concassage) ainsi que leur pourcentage sur la base du choix du module de richesse k.

CHAPITRE II

II RAPPELS THEORIQUES

II-1 LES LIANTS HYDROCARBONES:

II.1.1 Définition:

Les liants hydrocarbonés ou liants noirs sont des produits colloïdaux, généralement très visqueux, qui servent à la constitution des revêtements dans la technique routière. Ces derniers sont soit superficiels soit en enrobés de différentes natures.

Ce sont des produits industriels relativement économiques et provenant de matières premières (pétrole ou charbon) dont la composition varie singulièrement

Ils servent également à la stabilisation des couches de fondation et des couches de base.

II.1.2 Classification des liants hydrocarbonés:

On distingue deux grandes classes de liants noirs, les Goudrons et les Bitumes

2.1.2.1 Les Goudrons:

A) Définition:

D'une manière générale, les goudrons sont des produits, liquides et visqueux, de pyrogénéation à l'abri de l'air, de la houille et d'autres matières.

B) Classification des goudrons:

i) *Suivant leur origine et leurs procédés de fabrication:*

On distingue, les goudrons de haute, moyenne et basse température. Les goudrons de haute température sont distillés vers 1200°C (goudron de gaz), de moyenne température vers 850°C, (goudron de cokeries) et ceux de basse température sont distillés vers 600°C (goudron primaire)

2i) *L'origine des produits soumis à la carbonisation sèche:*

On distingue, les goudrons de houille, de bois, de tourbe, de lignite, de cellulose, de graisse, de schistes et le goudron animal.

Les goudrons qui intéressent la route sont avant tout les "goudrons de houille" que nous détaillerons par la suite tout en parlant des autres goudrons d'une manière succincte.

* Les goudrons de bois: Ils sont utilisés très accessoirement dans les produits routiers, en raison de quelques caractéristiques au point de vue de l'adhésivité.

* Les goudrons de tourbe: Ils proviennent de la distillation de la tourbe que l'on a desséchée avant de la carboniser. Ces goudrons ne sont pas utilisés comme produits routiers.

* Les goudrons de lignite: Ce sont des produits de distillation de charbons bitumineux. Les Allemands tirent toutefois de la distillation du lignite un produit dénommé "cire de lignite" qui a des propriétés d'adhésivité très marquées lorsque l'on additionne les liants hydrocarbonés d'une faible fraction de ce produit.

* Les goudrons de schistes: Ils proviennent de la distillation de schistes bitumineux entre 400 et 500°C. Ce sont des huiles dont les composants ont des analogies avec ceux du pétrole.

* Les goudrons de cellulose de graisse et le goudron animal n'ont pas de propriétés routières.

* Les goudrons de houille: Ils sont pratiquement les seuls à la base des produits routiers. Suivant leur origine de fabrication, on distingue:

* Les goudrons d'usine à gaz: Ils sont les sous-produits de la fabrication du gaz d'éclairage; à l'état brut ces produits sont très fluides. Ils proviennent des hydrocarbures aromatiques, des combinaisons hydrogénées diverses, des phénols, des bases organiques et des composés sulfurés. La composition moyenne des goudrons de gaz est donnée par:

ELEMENTS	POURCENTAGE (%)
Eaux ammoniacales	5
Huiles légères passant au dessus de 170°C	1
Huiles distillant de 170°C à 270°C	20
Huiles distillant de 270°C à 300°C	6
Huiles anthracéniques de 300°C à 360°C	11
Brai	57

* Les goudrons de cokeries: Ils constituent un produit de décomposition du goudron primaire et contiennent des hydrocarbures de la série aliphatique C_nH_{2n+2} , C_nH_{2n} , C_nH_{2n-2} , mais principalement, comme tous les goudrons de houille, des hydrocarbures aromatiques des séries du benzène, du naphthalène, de l'anthracène et du phénanthrène. Ils contiennent en outre du phénol, des crésols, des xylénols, des naphthols, de la résine de coumarone ... etc. Il y a également des dérivés azotés: aniline, pyridine, quinoléine et enfin des dérivés sulfurés tels que le thiophène et le thionaphène. Par distillation fractionnée, on a la composition moyenne suivante:

ELEMENTS	POURCENTAGE (%)
Eaux ammoniacales	5
Huiles légères au dessous de 170°C	3
Huiles moyennes non déphénolées de 170°C à 270°C	10
Huiles lourdes de 270°C à 300°C	10
Huiles anthracéniques brutes de 300°C à 360°C	19
Brai distillé à 360°C	52

* **Le goudron de haut fourneau:** Il contient plus d'huiles et de composés à fonction phénolique (crésols et homologues supérieurs) que les goudrons qui précèdent. Il y a très peu de benzène et relativement peu de carbures aromatiques, c'est en somme un goudron primaire.

* **Les goudrons de verreries et de faïenceries:** Ce sont des goudrons de gazogènes à combustion totale, ils sont très visqueux, renfermant un très haut pourcentage de brai et de carbone libre. Ils sont doués d'un pouvoir collant élevé et mélangés à des goudrons peu riches en brai, corrigent ces derniers d'une façon heureuse. Malheureusement, ils sont difficiles à réchauffer et sont d'une manipulation incommode s'ils ne sont pas fluxés; en outre, ils contiennent de l'eau.

* **Les goudrons de gaz à l'eau, auxquels nous rattachons les goudrons de gaz d'huile:** Ils sont au contraire très fluides et, de ce fait, peu intéressants pour la route. Le goudron de gaz à l'eau est huileux, brun et contient jusqu'à 40% d'eau émulsionnée très difficile à éliminer.

Il a une teneur élevée en paraffine et ne contient presque pas de carbone libre, sa teneur en brai et en résines collantes est très faible.

* **Le goudron de gaz d'huile:** Il présente, par ses propriétés et sa composition, beaucoup d'analogies avec certains goudrons de houille, mais il en diffère par sa faible densité, sa fluidité et par l'absence de phénols et de bases organiques.

* **Les goudrons primaires:** Ils sont obtenus par distillation de la houille à basse température vers 600°C. Ils sont très riches en phénols lourds, en hydrocarbures aliphatiques et naphténiques et on enregistre une absence presque complète d'hydrocarbures aromatiques.

3i) En construction routière:

On distingue dans la construction routière des goudrons bruts, étêtés, rectifiés par mélange, polymérisés ou oxydés et reconstitués. Tous ces goudrons constituent ce que l'on appelle des goudrons préparés, sauf les goudrons bruts.

* **Les goudrons bruts:** Ce sont des goudrons de première distillation, n'ayant aucune préparation autre qu'une simple décantation des eaux ammoniacales.

La présence de naphthaline en excès, qui est un plastifiant des résines du goudron relativement volatil, rend ces goudrons très susceptibles aux variations de température, surtout durant l'été; d'autres produits tels que l'antracène en écus peuvent également beaucoup nuire à leur bonne tenue.

Signalons toutefois qu'en raison de leur fluidité et de la présence de phénols, ces goudrons ont de bonnes qualités d'accrochage et de pénétration lorsqu'ils sont utilisés en première couche; on les remplace actuellement pour cet usage par des huiles de goudron riches en crésote (revêtement des chaussées en béton de ciment).

* **Les goudrons étêtés,** appelés encore goudrons préparés, étaient ceux qui, outre une décantation, avaient subi un début de distillation, de manière à en extraire les produits en tête, tels que le benzène et les huiles légères.

On ne les utilise plus actuellement car on ne sait pas obtenir toute la gamme de viscosités désirées avec les goudrons simplement étêtés.

* Les goudrons rectifiés par mélange: Ils permettent d'améliorer des goudrons insuffisants, auxquels on a fait subir un commencement de préparation, par simple étêtage généralement.

La rectification des goudrons de moyenne température se fait par apport de brais ou par apport d'autres goudrons visqueux tels que les goudrons de verreries.

* Les goudrons polymérisés ou oxydés: Ils sont obtenus à partir de produits qui seraient impropres aux usages routiers. Le but de ces opérations est de condenser ou de résinifier certains composants pour rendre les goudrons plus visqueux.

* Les goudrons reconstitués: Ils représentent actuellement la quasi-totalité des goudrons routiers utilisés. Ce sont les plus intéressants; ils sont recomposés à partir de produits et de résidus de distillation avec des teneurs appropriées au meilleur rendement.

On peut ainsi obtenir toute la gamme des viscosités auxquelles doivent répondre les goudrons modernes; on n'introduit que des éléments réellement utiles, avec un dosage approprié pour chacun d'eux. On peut donc obtenir la constance dans la fourniture, qualité primordiale pour les utilisateurs.

REMARQUE:

Dans la préparation par entraînement à la vapeur, qui permet d'éviter les surchauffes locales, il faut éviter avant tout la formation d'émulsion.

2.1.2.2 LES BITUMES:

A) Définition:

On trouve des bitumes bruts ou même des bitumes purs dans la nature (bitume natif de Trinidad, recueilli en surface du lac de la Trinité, bitume natif des îles Bermudes qui est un bitume pur fillérisé naturellement).

On trouve aussi les pétroles et les asphaltes, qui sont des produits complexes comportant un pourcentage plus ou moins élevé de bitume et le contenant tout formé.

Les bitumes extraits du pétrole sont obtenus soit par distillation directe soit par oxydation (insufflation d'air, d'où le nom de bitumes soufflés).

* Les bitumes asphaltiques sont des bitumes natifs ou préparés par distillation, oxydation ou cracking, ayant des propriétés agglomérantes et pratiquement solubles dans le sulfure de carbone.

* Les bitumes oxydés, ou bitumes soufflés, sont surtout utilisés en étanchéité car leur viscosité varie relativement peu en fonction de la température et ils vieillissent très lentement, par contre, à dureté égale, ils sont moins ductiles que les bitumes de distillation directe.

* Les bitumes de cracking sont destinés à diverses agglomérations mais ne sont pas utilisés d'une manière générale en technique routière (ils sont très "susceptibles").

Les bitumes provenant de la distillation directe des pétroles sont à peu près les seuls utilisés en technique routière.

REMARQUES:

- * Le pétrole brut est chauffé durant un temps très court et il distille rapidement sans altérer.
- * Les pétroles mexicains donnent jusqu'à 70% de bitume.
- * Les pétroles de Venezuela donnent jusqu'à 60% de bitume.
- * Les pétroles roumains et russes n'en donnent pas plus de 20%.
- * Les pétroles du SAHARA n'ont pas de bitume.

Les bitumes de distillation directe sont ensuite traités par des huiles plus légères pour donner toute une gamme de produits variés, ou bien soufflés pour atténuer leur susceptibilité thermique.

On peut fractionner un bitume par des solvants sélectifs et distinguer:

- * Les carboïdes insolubles dans le sulfure de carbone (leur tension superficielle est 31 dynes/cm à 25°C).
- * Les carbènes solubles dans le sulfure de carbone et insolubles dans le tétrachlorure de carbone (25 dynes/cm).
- * Les asphaltènes solubles dans le tétrachlorure de carbone et le sulfure de carbone et insolubles dans l'éther de pétrole (17,4 dynes/cm).
- * Les maltènes solubles dans les trois solvants précédents. Les maltènes constituent un liquide très visqueux alors que les asphaltènes ont des propriétés colloïdales marquées.

La structure même du bitume dépend des proportions relatives des trois groupes d'hydrocarbures:

- * Aliphatiques,
- * Naphténiques,
- * Aromatiques.

Si les carbures aromatiques sont en proportion suffisante, les forces d'absorption des asphaltènes sont saturées et les micelles sont peptisées, formant ainsi un sol. Dans le cas contraire, les micelles forment un réseau de type gel. Les hydrocarbures naphténiques jouent un rôle en qui concerne l'adhésivité et l'émulsibilité des bitumes.

B) Origine des bitumes naturels:

L'origine des bitumes a été longtemps controversée et quatre théories différentes ont été émises:

- i) La théorie "volcanique" sur l'origine des bitumes expliquait la formation des bitumes naturels par combinaison directe du carbone et de l'hydrogène, à haute pression et à haute température, et par des condensations successives jusqu'aux produits les plus lourds". Cette théorie est aujourd'hui abandonnée.

2i) La théorie "houillère" accordé aux bitumes une origine végétale comme la houille, les distillations et transformations s'étant effectuées à l'intérieur de la terre.

3i) La théorie de "l'asphaltisation" des pétroles explique la formation des bitumes par polymérisation et déshydrogénation des pétroles au contact de l'air et des eaux sulfatées (origine du soufre contenu dans le bitume).

4i) La théorie "organique", qui est la plus probable, attribue une origine animale à la formation des bitumes par décomposition des infusoires et des mollusques sédiments au voisinage des mers anciennes (mer Caspienne, mer d'Aral, mer Morte ...). Ce serait notamment l'origine des bitumes de Judée et des pétroles de Bornéo.

REMARQUES:

* Le bitume de Trinidad contient 40% de bitume pur.

* Les bitumes naturels de Cuba contiennent 75 à 80% de bitume pur.

Citons enfin comme origine de bitumes naturels, les roches asphaltiques, généralement des calcaires imprégnés, que l'on trouve en France dans le Gart à Pont-du-Château et en Suisse dans le Val-de-Travers; ce sont des roches brunes contenant 8 à 10% de bitume.

C) Classification des bitumes:

i) *Suivant leurs origines:*

on classe les divers bitumes comme suit:

- * Bitumes naturels,
- * Bitumes d'extraction de roches ou de sable.
- * Bitumes obtenus par calcination de certaines roches contenant des hydrocarbures.
- * Bitumes de distillation.
- * Bitumes asphaltiques soufflés.
- * Bitumes asphaltiques de cracking.

* Les Bitumes naturels: Ce sont les bitumes natifs de Trinidad et des Bermudes. Ils sont essentiellement fabriqués par distillation directe, et sont définis par leurs pénétrabilité minimale et maximale. Les spécifications officielles rassemblées dans les normes NFT 65-000 et NFT 65-001 prévoient cinq qualités:

20/30 la plus dure, 40/50, 60/70, 80/100 et 180/220; d'où le tableau suivant:

Caractéristiques	NORMES	20/30	40/50	60/70	80/100	180/220
Pénétrabilité à 25°C, 100g, 5s	NFT66-004	20 à 30	40 à 50	60 à 70	80 à 100	180 à 220
T° Bille et Anneau TBA (°C)	NFT66-008	52 à 58	50 à 56	45 à 48	42 à 48	34 à 43
Densité relative (25°C)	NFT66-007	1,00 à 1,10	1,01 à 1,10	1,00 à 1,07	1,00 à 1,07	1,00 à 1,07
Ductilité à 25°C (cm)	NFT66-006				> 100	> 100
Point d'éclair (°C)	NFM07-019	> 250	> 250	> 230	> 230	> 230
Solubilité dans le C ₂ Cl ₄	NFT66-012	> 99,5	> 99,5	> 99,5	> 99,5	> 99,5
Teneur en parafine %	NFT60-115	< 4,5	< 4,5	< 4,5	< 4,5	< 4,5
Perte de masse au chauffage en %	NFT66-011	< 1	< 1	< 1	< 2	< 2
DTBA après RTFOT (°C)	NFT en cours		≤ 8	≤ 8	à définir	
TBA min après RTFOT			≥ 52	≥ 47		
% pénétration résiduelles après RTFOT			≥ 60	≥ 60		
T° limite de pompabilité			125	120	115	105

* Les bitumes d'extraction de roches ou de sable: Ce sont les bitumes extraits des asphaltes naturels, notamment des calcaires. On peut encore citer les bitumes contenus dans du sable très riches en ce produit et que l'on découvre notamment en Afrique (la colonie portugaise de l'Angola, au Congo belge et à Madagascar). Ces bitumes sont encore relativement peu étudiés.

* Les bitumes obtenus par calcination de certaines roches contenant des hydrocarbures: On cite les schistes bitumineux d'Aulun ou les schistes bitumineux de l'Aveyron.

* Les bitumes asphaltiques de distillation, soufflés et de cracking: nous les avons déjà cités auparavant

2i) Classement suivant les possibilités d'emploi routier:

Ce classement est suivant la dureté ou plutôt suivant la pénétration. On distingue comme bitumes routiers:

BITUMES	PENETRATION (1/10 mm)
Durs	40/50
Demi-durs	80/100
Demi-mous	180/200
Mous	280/300
Très mous	300/350
Fluides (cut-backs et road-oils)	Supérieur à 350

Les quatre premières catégories (durs, demi-durs, demi-mous et mous) servent pour répandage à chaud (par chauffage vers 150 ou 180°C au maximum) ou pour la fabrication des enrobés.

Les bitumes très mous, de pénétration égale à 350 ont été parfois utilisés pour fabriquer des émulsions d'hiver.

La fabrication des bitumes fluides (fluidification) est destinée à les maintenir dans un état analogue à celui des goudrons visqueux pour faciliter la mise en oeuvre.

Une fois le séchage et la prise effectués, les bitumes redeviendront sensiblement analogues à des bitumes ordinaires (pénétration entre 40 et 300) suivant la dureté du bitume de base.

On distingue deux bitumes fluides:

* Les rond-oils: Ce sont des bitumes asphaltiques fluides obtenus directement par distillation des huiles brutes de pétrole. Ils ont la consistance d'un goudron visqueux. A température ambiante les rond-oils sont liquides ou semi-liquides; ils font prise très lentement, sont moins cohésifs et agglutinants que les cut-backs ou bitumes coupés.

* Les cut-backs: Ce sont des bitumes asphaltiques fluides obtenus par mélange d'un bitume asphaltique de pétrole de dureté normale; ils ont une prise rapide et un pouvoir agglutinant élevé.

II.2 LES SABLES:

II.2.1 Définition:

On appelle sable les matériaux dont le diamètre maximal est inférieur à 6,3 mm et dont le passant à 80 microns n'excède pas 35 %.

A cette définition se rattachent les sables de concassage, mais lorsque l'on parle "sable" on pense essentiellement aux sables naturels; ces derniers sont abondants dans de nombreux pays où les réserves sont quasi inépuisables.

Les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe d'érosion et de sédimentation comportant à des degrés divers une décomposition sur place des différentes roches suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. La plus grande partie des formations sableuses est constituée du quartz. A cette décomposition classique des sables, peuvent s'ajouter des sulfates et des carbonates provenant de la cristallisation sous l'action de l'évaporation de sels en solution (en particulier dans les zones arides à faible pluviosité et forte évaporation).

En définitive, selon leur histoire géologique, les sables se distingueront les uns des autres par une multitude d'aspects; granulométrie, teneur et nature des fines, nature minéralogique, angularité, dureté,...ect.

II.2.2 Ressources de sable en Algérie:

2.2.2.1 Sable du Nord:

A) Sable de mer*

* *sable de plage*: -

Les gisements sont en général difficiles à exploiter ou irréguliers. Cependant, on trouve dans certains endroits des gisements assez importants et réguliers pour pouvoir être utilisés au moins comme matériau d'addition, par exemple pour la confection d'enrobés.

Les dépôts littoraux ont des granulométries très variables; certains sables de plage ont une granulométrie qui les rend utilisables comme éléments uniques ou principaux d'enrobés de bonne qualité.

* Région de REGHAIA:

On l'a utilisé pour la formulation du béton bitumineux pour l'aérodrome de Boufarik; c'est un gros sable à granulométrie serrée, dépourvu de sable fin (9% < 0.4mm, E.S = 82).

* Région de ZERALDA:

Il est utilisé avec le précédent pour le béton bitumineux de l'aérodrome de Boufarik, c'est un sable moyen très serré (90% < 0.4mm, 5% < 0.2mm).

* Région d'ORAN:

C'est un gros sable, à granulométrie étalée, il a été étudié pour la formulation d'enrobés fins et a donné de bons résultats aux essais, grâce à sa granulométrie favorable; (84% < 2, 11% < 0.4)

* *Dunes littorales*:

Ces régions offrent des ressources plus abondantes en sable, ce dernier est généralement de granulométrie très serrée par suite du classement éolien.

*** Région de ANNABA:**

Ce sable de dune était utilisé depuis longtemps sur une vaste échelle dans la plaine de Annaba pour donner de l'épaisseur aux chaussées et s'opposer aux remontées des terrains très argileux. On a récemment utilisé ce sable comme constituant d'enrobés fins (microbétons); (80% < 0.4, 10 % < 0.2 mm)

REMARQUE:

Il doit y avoir des possibilités d'utilisation de sable de dunes analogues en Oranie dans les régions de Mostaganem et d'Arzew.

B) Sables géologiques:*** Mollasse d'ALGER:**

Appelé aussi tuf d'Alger, ce matériau se présente sous forme cimentée, dans les collines des hauteurs d'Alger. Après extraction, il se compose de rognons durs en quantités plus ou moins importantes, avec une proportion prédominante de sable. On peut donc le classer dans la catégorie des sables.

*** Tufs des hauts plateaux:**

Les tufs des hauts plateaux sont des formations continentales de surfaces souvent très étendues, comportant soit un mélange de rognons calcaires mi-durs (supérieur à 20 mm) et des graviers (de 2 à 20 mm) avec des éléments pulvérulents à prédominance calcaire de la dimension du sable et des fines.

2.2.2.2 Sable du Sahara:

Le Sahara est un désert de sable, ce dernier est l'un des matériaux les plus abondants, et même à peu près le seul dans de vastes zones (ergs).

La technique routière saharienne, qui s'élabore actuellement, a donc dû faire au sable une très large place. Nous passerons en revue ici les différents types de sables sahariens:

A) Dépôts alluvionnaires:

On trouve au Sahara des sables de rivière:

* soit dans certains oueds à écoulement fréquent de la bordure de l'Atlas; dépôts actuels comme Oued ITTEIL entre Biskra et Touggourt: les alluvions de cet oued ont été utilisés pour les revêtements de la route Biskra - Touggourt comportant 20 % de graviers et un sable à granulométrie étalée.

* soit dans des lits d'anciens Oueds importants dont l'écoulement remonte à des époques géologiques antérieures: Oued MYA et de l'Oued IRHARRHAR dans la région de Ouargla et de Gassi-Touil.

En fait, les dépôts ont relativement peu d'amplitude et la conclusion des reconnaissances a été en gros que cette région (sahara) était riche de ressources en sables de caractéristiques diverses utilisables pour différentes techniques, mais à condition de bien les chercher et de délimiter les gisements par des prospections très poussées.

Les principaux types de sables retenus pour les usages routiers ont été les suivants:

- * Sable graveleux ou non, à granulométrie assez étalée et avec fines (15 à 30 %) pour couche de fondation et couche de base (technique du sable-argile).
- * Gros sable, de préférence graveleux, à granulométrie étalée pour enrobés (enrobés denses lorsqu'il y a assez de graviers ou sable enrobé à chaud).

B) Sables éoliens:

Le classement éolien a pour conséquence au Sahara de resserrer la granulométrie des sables.

Les dunes sont constituées de sable plus ou moins fin, à granulométrie serrée ou très serrée:

- * Dune d'El-Bibane (route d'El-Oued): sable 0,1/0,4.
- * Dune de Gassi-Touil (Hassi-Tartrat): sable 0,1/0,6.
- * Dune de Dokkara (Touggourt - Ouargla): sable 0,05/0,3.

C) Sables de regs:

Le reg est une formation de surface qui recouvre de vastes zones plates ou à relief très mou, où l'action du vent a balayé le sable fin et enrichi la surface d'éléments plus gros, allant des gros graviers aux cailloux de 100mm et plus, la granulométrie des regs présente toujours une discontinuité entre 2 et 10mm. Les regs sont un mélange de sable éolien et d'éléments pierreux, et constituent d'excellentes plates formes.

Sous ces matériaux on trouve, le plus souvent, une couche de sable contenant des fines auxquelles les pluies ont donné en surface une légère cohésion, formant ainsi une croûte fragile qui facilite la circulation en terrain vierge.

Ces sables n'ont pas une cohésion suffisante pour pouvoir être utilisés seuls en couche de chaussée, ils sont toujours accompagnés de matériaux plus gros, graviers ou cailloux de surface, concassés ou non.

- * Sable de reg de l'itinéraire Ghardaïa - El Golea:

Granulométrie: sable fin 98% < 0.4mm, 90% < 0.1mm, 4% < 0.02mm).

Cohésion: la couche de base est compactée à l'eau (couche de base blanche) puis répandue au finisseur. Le sable de reg donne une légère cohésion à cette couche. Elle nécessite cependant une couche de liaison épaisse au bitume pour résister aux efforts du trafic.

D) Sables géologiques en place:

On peut classer sous cette dénomination des formations continentales de sols fins, tels que les sables argileux du continental intercalaire appelé parfois albien) qui affleure à la bordure ouest et sud du Sahara central et oriental: Reggan, Adrar, Ain-Salah, plateau de Tahouratine au nord d'Edjele.

* Reggan: sable fin 77% < 0.4mm, 38% < 0.08mm.

* Tahouratine: sable fin à granulométrie peu serrée.

E) Sables gypseux:

Nous allons classer les sables gypseux dans une catégorie spéciale, en raison de leur large utilisation routière, ce sont des sables contenant des proportions variables de gypse, qui peuvent être soit des sables géologiques en place soit des dépôts alluvionnaires.

F) Sables gypso-calcaires:

Dans les plateaux tertiaires entre Ouargla et Hassi-Messaoud, on trouve sous une dalle de calcaire assez dure de surface, un mélange de cailloux calcaires mi-durs et de sable gypso-calcaire. Ce tout-venant a été utilisé pour la route Ouargla - Hassi-Messaoud.

Ces sables gypso-calcaires n'ont pas été utilisés seuls jusqu'ici.

CHAPITRE III

III TECHNIQUE ROUTIERE AU SAHARA

III-1 INTRODUCTION:

Avant les années 50 le Sahara était pratiquement dépourvu de routes. La découverte d'importants gisements de pétrole au Sahara a poussé les autorités coloniales jadis à la réalisation de grands axes routiers pour désenclaver les importantes agglomérations, (Ghardaïa, Ouargla, Touggourt et El-Oued...). Ainsi fût réalisée en 1955 la RN 3 reliant Biskra, Touggourt et Hassi-Messaoud ensuite la section Hassi-Messaoud, In-Amenas qui a été achevée en 1963.

III-2 LES FACTEURS INTERVENANT DANS LA STRUCTURE D'UNE CHAUSSEE AU SAHARA:

Le Sahara présente plusieurs particularités relevant essentiellement du climat, mais aussi du sol, du trafic et des matériaux utilisés; tous ces facteurs influent directement sur la couche de roulement.

III.2.1 FACTEUR CLIMATIQUE:

La chaussée est directement soumise au climat de la zone où elle se situe, par conséquent, il faut connaître les éléments climatiques qui conditionnent le comportement d'une chaussée.

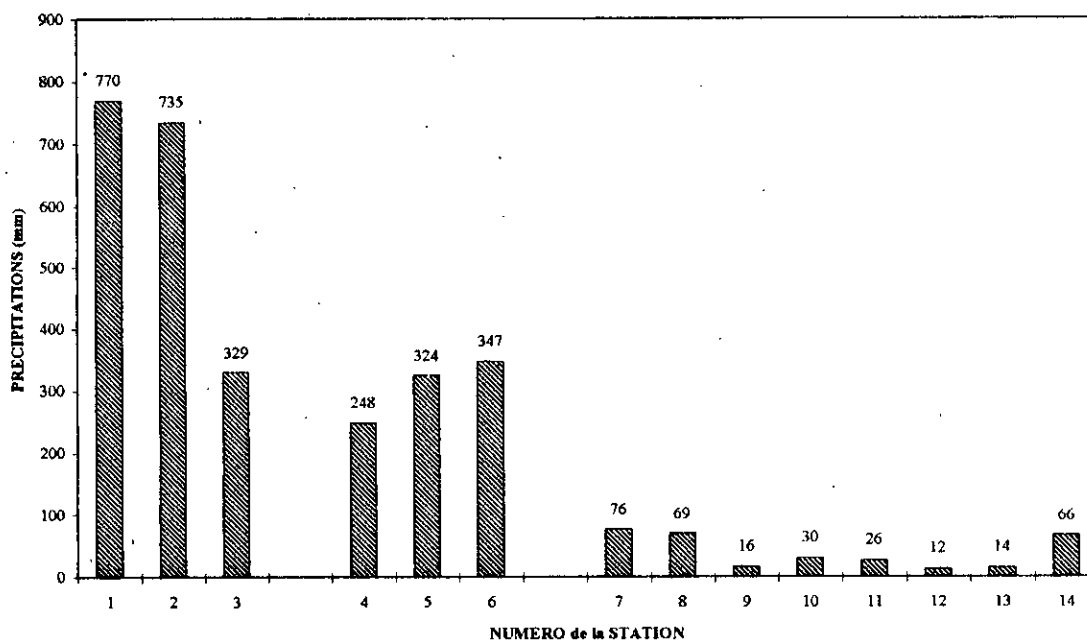
L'ALGERIE est divisée en trois grandes zones climatiques: Les régions Littorales, les Hauts-Plateaux et le Sahara qui est subdivisé à son tour en trois zones: Nord, Centre et Sud Sahara.

Les résultats d'une analyse des données statistiques publiée dans l'Atlas climatologique concernant quelques régions sont donnés sous forme de graphes sur lesquels sont portés les numéros des régions.

LITTORAL	HAUTS-PLATEAUX	SAHARA
01 - Béjaïa	04 - El-Bayadh	07 - El-Oued
02 - Skikda	05 - Djelfa	08 - Ghardaïa
03 - Béni-Saf	06 - Tébessa	09 - In-Amenas
		10 - Béni-Abbès
		11 - Adrar
		12 - In-Salah
		13 - Tamanrasset
		14 - Djanet

3.2.1.1 Pluviométrie (Graphe N°1): Les précipitations annuelles dans tout le Sahara n'accèdent pas 80 mm/an alors qu'elles atteignent 243 à 248 mm/an sur les Hauts-Plateaux et arrivent jusqu'à 566 à 770 mm/an sur les régions Littorales.

PRECIPITATIONS ANNUELLES



Graphe N°1

3.2.1.2 *Température* (Graphes N°2, 3 et 4):

Les conditions thermiques (températures extrêmes, écarts thermiques, ensoleillement...) influent sur la température de surface de la chaussée. Le Sahara est caractérisé par un climat très chaud en été, c'est ce que nous montrent les moyennes pentadaires de température maximale du mois de juillet (le mois le plus chaud de l'année); d'après le Graphe N°2 on a ce qui suit:

- * Au Sahara la température varie entre 39 et 45°C
- * Dans les Hauts-Plateaux on enregistre 34°C
- * Sur le Littoral on a de 27 à 29°C.

La différence de température entre le nord et le sud peut-être appréciée en considérant le Graphe N°4 montrant les moyennes mensuelles de température pour toute l'année.

L'amplitude journalière de température (écart entre la nuit et le jour) qui est un facteur important; le Graphe N°3, caractérise plus le Sahara que toute autre région, en effet, on relève: 12 à 15,4°C en été (juillet) et 9,6 à 15°C en hiver (décembre).

REMARQUES:

- * Cas de basses températures: au Sahara, seules quelques régions enregistrent des températures au dessous de zéro (Aflou, El Bayad).
- * La température en été oscille entre 38 et 45°C, la moyenne des températures nocturnes y est de 35°C.

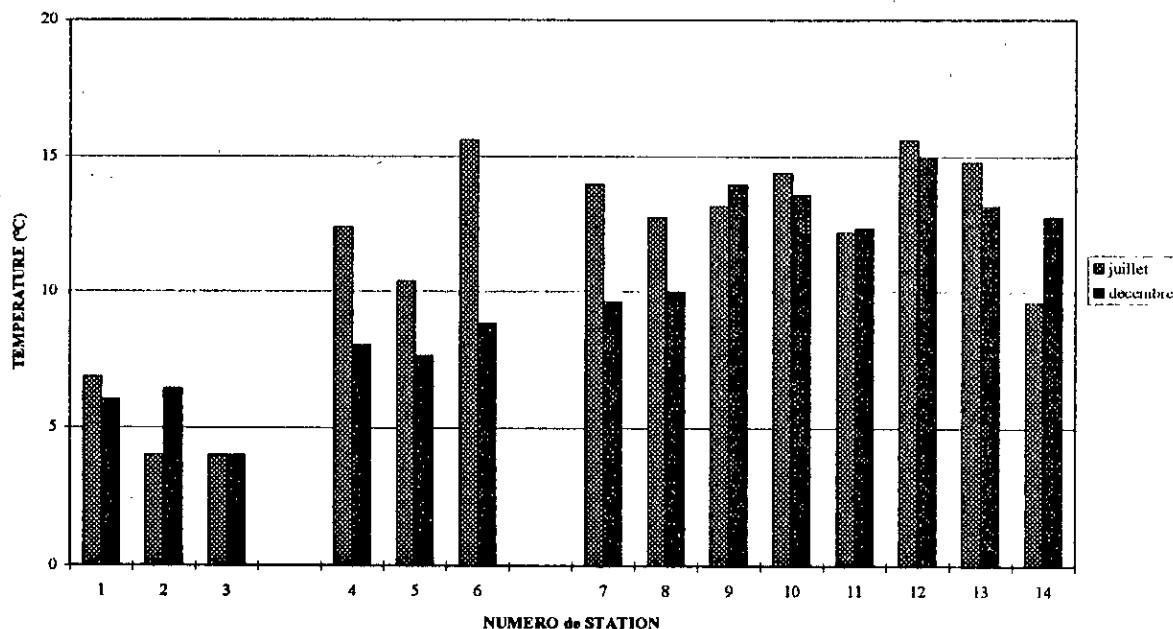
CONCLUSION:

- * Les températures régissent directement les vitesses des réactions chimiques qui se déroulent dans certains matériaux routiers.
- * Les fluctuations de température se traduisent par des variations des modules de déformations des matériaux des couches de revêtement bitumineux provoquant surtout des ressues sous l'effet des températures élevées.
- * Les variations de températures ont une influence sur le choix du liant et des formulations des matériaux enrobés aux liants.

CONCLUSION GENERALE:

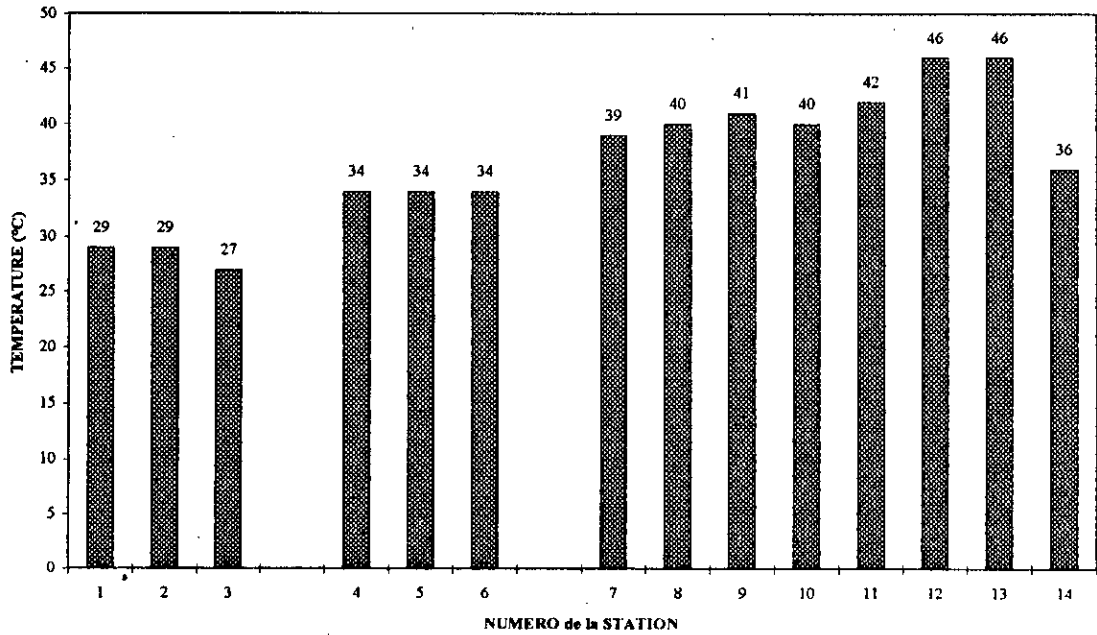
- * Les précipitations sont très faibles (inférieures à 80mm/an), ce qui favorise la bonne tenue de la chaussée, permet l'emploi de matériaux sensibles à l'eau sans traitement.
- * La faible humidité ainsi que la forte évaporation ont pour effet d'assécher les sols et de les rendre très portants.
- * Les températures sont très élevées en été et l'insolation est importante; cela soumet la couche de surface d'une chaussée à une agression thermique contraignante influençant sur le comportement des couches de roulement bitumineuses.

AMPLITUDE JOURNALIERE de TEMPERATURE



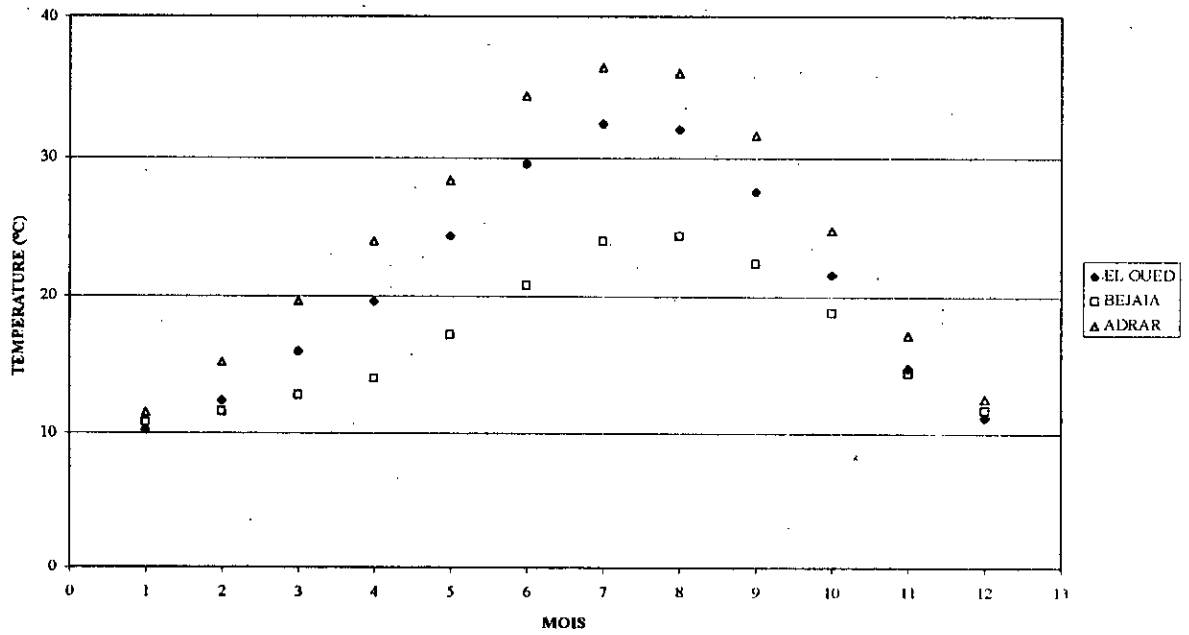
Graphe N°2

TEMPERATURE MAXIMALE (Juillet)



Graphe N°3

MOYENNE MENSUELLE de TEMPERATURE



Graphe N°4

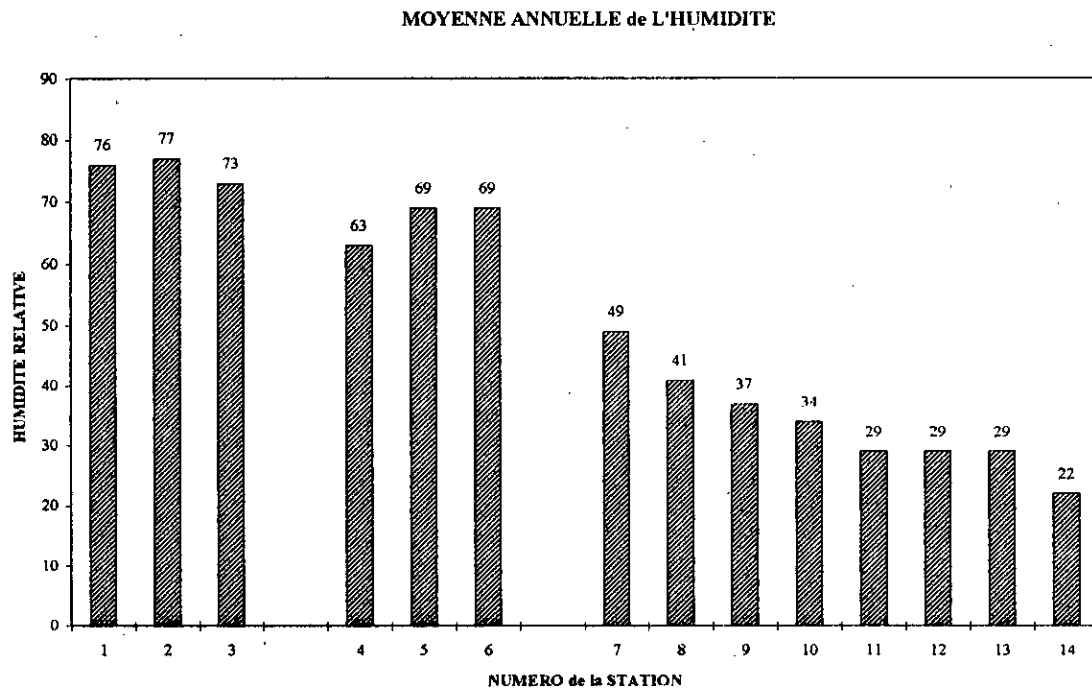
3.2.1.3 Humidité relative de l'air (Graphe N°5): D'après le graphe, on remarque que le nord est deux fois plus humide (humidité relative) que le Sahara exceptée sa frange Nord et que les Hauts-Plateaux se situent au milieu, ce qui justifie à priori la classification suivante:

Humide	Zones Littorales
Sub-Humide	Hauts-Plateaux
Aride	Le Sahara

3.2.1.4 Insolation (Graphe N°6): On entend par insolation la durée de jour exprimée en heures pendant laquelle le ciel est dégagé, ce qui soumet le sol à l'ensoleillement; là aussi le Sahara se trouve en tête, suivi des Hauts-Plateaux.

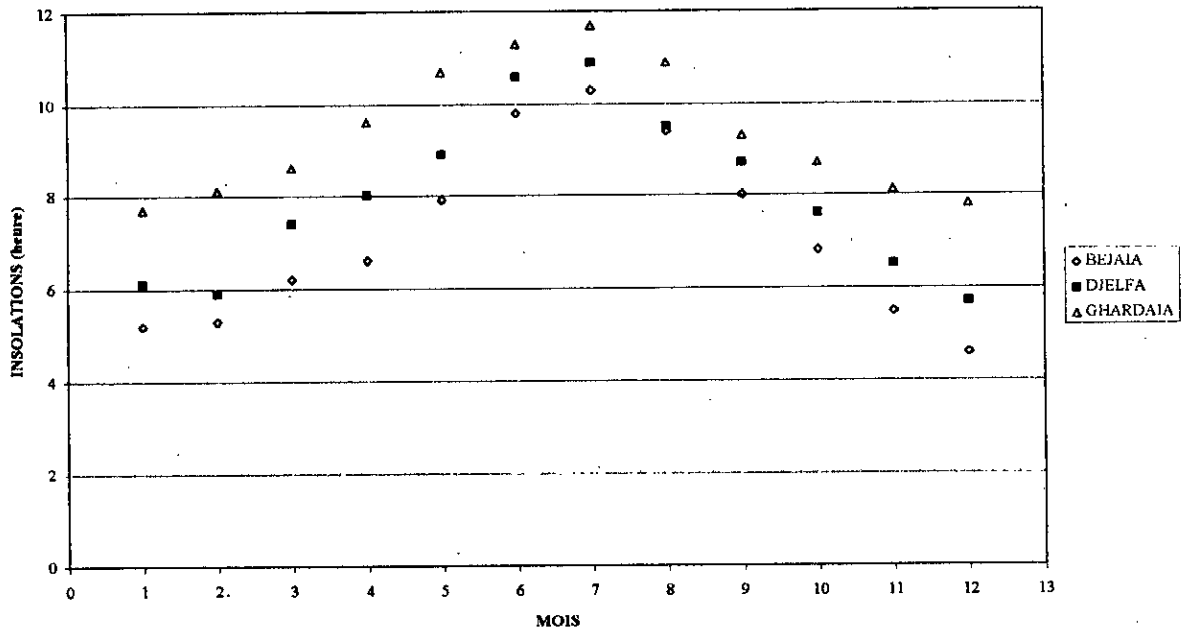
3.2.1.5 Evaporation (Graphe N°7): Mesurée au moyen de l'évaporimètre PICHE, l'évaporation est un paramètre très important qui conditionne l'équilibre hydrique. Sur le graphe N°7 il est montré:

- * Une nette différence entre le SAHARA et les zones littorales,
- * Une amplitude annuelle importante pour le SAHARA; avec des fluctuations du niveau de l'eau qui approche 1m; et nous fait rappeler le régime des Sebkhass qui sont complètement asséchées en été et inondées d'eau en hiver.



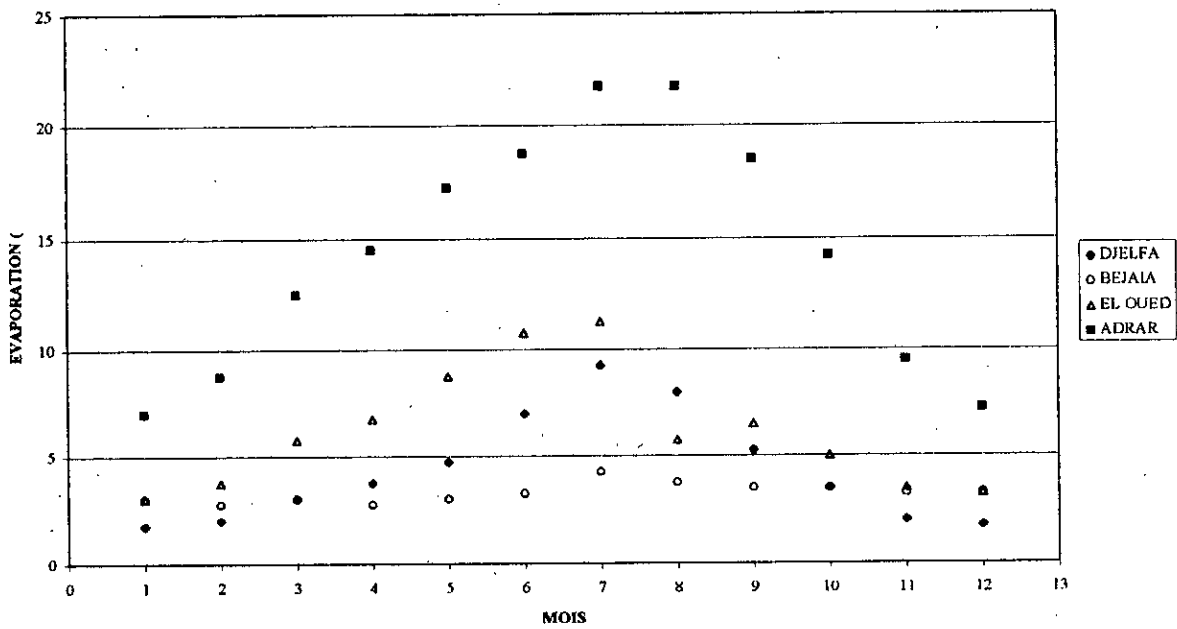
Graphe N°5

MOYENNE MENSUELLE des INSOLATIONS



Graphe N°6

EVAPORATION MENSUELLE



Graphe N°7

III.2.2 LES MATERIAUX UTILISES AU SAHARA:

La construction des chaussées au SAHARA se fait avec des matériaux locaux subnormaux, car il ne répondent pas aux spécifications des matériaux classiques; d'une manière générale nous pouvons les classer comme suit:

3.2.2.1 Les tufs calcaires: Ils proviennent des encroûtements calcaires, et se présentent souvent sous forme de graves à granulométrie étalée, les éléments sont moins durs que le calcaire ordinaire et sont essentiellement composés de carbonates de calcium (CaCO_3).

3.2.2.2 Le sable gypseux: C'est un matériau ayant la granulométrie d'un sable, il est complètement dépourvu de squelette solide, les grains sont essentiellement de nature gypseuse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$).

3.2.2.3 Tout venant: Les tout-venant sont exploités sur les surfaces de l'erg, ils sont en général des graves composées d'éléments anguleux et contenant une fraction fine argileuse ou carbonatée qui leur confère une importante cohésion.

3.2.2.4 Les arènes granitiques: Elles se produisent de l'altération de roches éruptives ou métamorphiques, essentiellement la granite, et se présentent sous forme de grave, de gros sable ou de matériaux fins.

III.2.3 LE TRAFIC:

En général le trafic sur les routes du sud est très faible par rapport aux routes du nord, mais il a la particularité d'avoir un pourcentage de poids lourds plus important qui peut atteindre 60% et l'existence d'essieux non réglementés qui dépassent largement les 13 tonnes; on pense surtout aux camions KENWARTH gros porteurs utilisés par les entreprises pétrolières.

Les résultats du comptage étalé sur cinq années obtenus entre 1985 et 1989 sont les suivants:

* RN 3 entre Touggourt et Hadjira, le trafic se situe entre 1176 et 2171 véhicules par jour dont 42 à 47% de poids lourds.

* RN 3 entre PK 618 et PK 691 le trafic est de 5031 véhicules par jour dont 60% de poids lourds.

* RN 3 entre PK 711 (Hassi Messaoud) et PK 724 le trafic est de 1772 véhicules par jour dont 54% de poids lourds.

* RN 16 le trafic est d'environ 1039 à 1225 véhicules par jour dont le pourcentage de poids lourds varie entre 21 et 46%.

* RN 48 entre Still et El-Oued:

* Still - Hobba 110km: Le trafic est de 718 voitures par jour dont 62% de poids lourds.

* Hobba - El-Oued 30km: Le trafic est de 3186 voitures par jour dont 20% de poids lourds.

III-3 technique du sable bitume en couche de roulement:

III.3.1 Définition:

La technique de sable bitume en couche de roulement s'est imposée au cours des années 50. La pauvreté de certaines régions en granulats routiers a conduit depuis plusieurs années les ingénieurs à étudier la possibilité d'utilisation de matériaux locaux tels que le sable en technique routière, sans peine d'aller chercher très loin des granulats convenable, ce qui aurait une incidence non négligeable sur le coût de transport. Cette technique s'avère très intéressante pour des routes à faible ou moyen trafic; elle a été utilisée en France et dans d'autre pays du monde, suivant certaines restrictions et spécifications:

III.3.2 Résultats obtenus sur certaines routes sahariennes:

3.3.2.1 RN 3 HASSI MESSAOUD - EDJELE:

Après la découverte du grand gisement pétrolier de HASSI MESSAOUD et celui d'EDJELE plus au sud, on a réalisé une chaussée légère constituée uniquement de 10 cm de sable enrobé à froid posé directement sur le sol naturel.

Cette tentative constitue un échec dans la mesure où la route fût complètement détruite juste après sa construction

Les causes les plus probables de cette destruction semblent:

- * L'épaisseur importante du sable enrobé (10 cm) qui facilite la fissuration dans tous les sens.
- * La couche de base, qui est le sol naturel constitué de sable alluvionnaire, grossier, sans cohésion, n'a pu être une assise pour la couche de roulement épaisse et fortement rigide (contraste important entre les modules de déformation).
- * L'enrobage à froid effectué probablement avec un cut-back n'est pas un bon choix.

3.3.2.2 RN 3 REGION DE GASSI TOUIL:

Ce tronçon de route traverse sur environ 300 km un couloir délimité par les dunes de sable au coeur de l'erg oriental, où il n'y a aucune possibilité de trouver une roche concassable.

Le sol naturel est constitué de sable de caractéristiques assez variables, d'origine alluvionnaire, de grains arrondis avec peu de fines. La chaussée a été construite de la manière suivante:

- * Le sol naturel a été compacté à l'état humide.
- * Une couche de fondation de 8 à 18 cm d'épaisseur en sable à granulométrie étalée et contenant 15 à 35 % de fines.
- * Une couche de base de 12 cm d'épaisseur du même matériau que la couche de fondation mais traitée à 1 % de lignosulfite (résidu de l'industrie de cellulose).
- * Une couche d'accrochage du tapis de 1 kg/m² en cut-back.

* Une couche de roulement en tapis de 5,5 cm d'épaisseur en sable enrobé.

La formulation du sable bitume employée est:

- * Sable à granulométrie étalée avec un pourcentage de fines compris entre 5 et 8 %.
- * Teneur en liant (bitume 80/100) entre 6,4 et 6,8 %.
- * Module de richesse égal à 4.

Ce tronçon de route fût mis en service en 1960; deux ans après quelques désordres firent leur apparition sous forme de fissures longitudinales et transversales, qui se sont généralisées le long de la route sans pour autant diminuer considérablement le niveau de service, et sans remarquer de déformation en surface.

Ce tronçon de route continuait à servir jusqu'en 1984, où les premiers travaux de renforcement ont eu lieu.

3.3.2.3 RN 3 STIL - TOUGGOURT:

Elle a été réalisée au cours de l'année 56 - 57, le corps de chaussée était constitué de matériaux gypseux sur environ 20 à 30cm d'épaisseur, quant à la couche de roulement, elle est en sable enrobé sur toute la longueur de la route (140km) avec des épaisseurs variables d'environ 6cm.

La formulation du sable bitume était comme suit:

- * Sable à granulométrie serrée contenant plus de 95% d'éléments inférieur à 0,4mm, entre 55 et 75% d'éléments inférieurs à 0,2mm et 22% de fines ($< 80\mu$); (sable de M'RAEIR).
- * Teneur en liant (bitume 80/100) entre 8,5 et 10%.
- * Module de richesse égal à 4,13.
- * Densité apparente Hubbard - Field entre 1,82 et 1,90g/cm³.
- * Stabilité Hubbard - Field à 25°C : 1775 à 2115kg.
- * Stabilité Hubbard - Field à 60°C : 720 à 750kg.

En 1959 plusieurs carottes ont été prélevées et ont donné les résultats suivants:

- * Densité apparente entre 1,64 et 1,78g/cm³.
- * Compacité entre 70 et 78%.
- * Teneur en liant entre 8,1 et 13,3%.
- * Pourcentage en filler entre 21,9 et 32,5%.

Les stabilités obtenues avec les matériaux prélevés, réchauffés, remaniés, et recompressés dans le moule Hubbard - Field étaient:

- * Stabilité Hubbard - Field à 25°C : 1470 à 2465kg.
- * Stabilité Hubbard - Field à 60°C : 652 à 1083kg.

La reprise de la route par un renforcement n'a été effectué qu'en 1985, après 28 ans de service environ; notons que ce tronçon de route est l'un des plus circulés des routes sahariennes (environ 1800 véhicules par jour, dont la moitié sont des poids lourds).

Voici un tableau récapitulatif donnant les résultats obtenus sur carottes prélevé une année après l'exécution du tapis en sand asphalt:

TABLEAU RECAPITULATIF

PK	43	43	46	46	49	98	104	*	**
BITUME (%)	13,3	11,8	11,3	8,1	8,9	9,45	9,2	8,5	10
FILLER (%)	13,1	8,3	10,4	6,4	4,3	10,4	2,9	5,8	21,8
MODULE K	6,45	5,6	5,35	2,8	4,1	4,5	4,5	4,13	4,13
DENSITE APP	1,70	1,68	1,66	1,64	/	1,78	/	/	/
COMPACITE (%)	74,9	73,9	72,6	70,4	/	78,1	/	/	/
DENSITE	1,87	1,87	1,86	1,86	1,86	1,88	1,85	1,82	1,9
STABILITE 25°C	2237	2465	2055	1470	/	1580	1260	2115	1775
STABILITE 60°C	875	720	652	1083	830	550	370	620	750

*) Formule théorique réalisée au LCPC avec le sable de M'RAIER.

***) Formule théorique réalisée au LCPC avec le sable de M'RAIER.

REMARQUES:

* Du PK 43 au PK 46 le bitume utilisé est le 180/200 et le sable utilisé est celui de M'RAIER.

* Du PK 46 au PK 49 le bitume utilisé est le 80/100 et le sable utilisé est celui de M'RAIER.

* Du PK 98 au PK 104 le bitume utilisé est le 80/100, plus 5% de fuel-oil et le sable utilisé est le sable de dunes de TAMERNA.

3.3.2.4 RN 48 STIL - EL OUED:

C'est une route de 140 km de longueur, de configuration nord-sud, reliant la RN 3 à la ville d'EL OUED, elle fût réalisée en 1956, avec un sable gypseux en corps de chaussée, et en revêtement un sable bitume. En absence de tout autre sable, le sable de dune constituait le squelette essentiel du matériau enrobé.

La formulation théorique réalisée au LCPC a donné les résultats suivants:

* 94% de sable de dune (SIF EL MENADI).

- * 5% de filler d'apport.
- * 1% de chaux.
- * 6,2% de bitume pur 80/100.
- * Module de richesse égal à 3,45.
- * Densité apparente Hubbard - Field : $1,82\text{g/cm}^3$.
- * Stabilité Hubbard - Field à 25°C : 1624kg.
- * Stabilité Hubbard - Field à 60°C : 170kg.

Trois années après la réalisation de la route, plusieurs carottes ont été prélevées et ont donné les résultats suivants:

- * Pourcentage de bitume entre 5,1 et 7,9%.
- * Pourcentage de filler entre 4,3 et 10,4%.
- * Module de richesse entre 3,3 et 3,6.
- * Densité apparente entre $1,64$ et $1,88\text{g/cm}^3$.
- * Compacité entre 68,4 et 78%.

Les stabilités obtenues avec les matériaux prélevés, réchauffés, remaniés, et recompressés dans le moule Hubbard - Field étaient:

- * Stabilité Hubbard - Field à 25°C : entre 1327 et 2065 kg.
- * Stabilité Hubbard - Field à 60°C : entre 172 et 365 kg.

Cette route n'a bénéficié que d'un entretien superficiel par pose de temps à autre d'un enduit monocouche ou bicouche, jusqu'en 1988 où on a décidé de procéder au renforcement d'un premier tronçon à partir de STIL.

Lors de l'étude de renforcement menée au cours de 1986 on a révélé les remarques suivantes:

- * La dégradation visuelle de la route est presque générale sous forme de fissurations longitudinales et transversales, et quelques faïençages ajoutés parfois à des ornières de faibles amplitudes. Les dégradations s'accroissent sur les tronçons de traversées de Chotts et des bas fonds où le sol est constamment humide.
- * Les mesures de déflexion ne dépassent que rarement cent centièmes de millimètres à l'exception des parties correspondant aux bas fonds.

Voici un tableau récapitulatif donnant les résultats obtenus sur carottes prélevées une année après l'exécution du tapis en sand asphalt:

TABLEAU RECAPITULATIF

PK	38	43	60	65	75	98	118	138	**
BITUME (%)	6,1	7,9	6,2	6,4	5,1	5,35	3,75	4,6	6,2
FILLER (%)	13,1	8,3	10,4	6,4	4,3	10,4	2,9	5,8	7
MODULE K	3,4	/	3,3	3,6	/	/	/	/	3,45
DENSITE APP	1,88	/	1,78	1,73	1,70	1,64	1,82	1,8	/
COMPACITE (%)	78	/	73	71	69,7	68,4	72,8	73,3	/
DENSITE	1,87	1,85	1,84	1,82	1,86	1,88	1,81	1,81	1,81
STABILITE 25°C	1327	1330	1600	1757	2065	/	1200	/	1624
STABILITE 60°C	227	181	197	172	355	210	60	95	170

**) Formule théorique réalisée au LCPC avec le sable de dune de SIF EL MENADI.

3.3.2.5 RN 49 OUARGLA - HASSI MESSAOUD:

12km de cette route ont été réalisés en sable enrobé avec la formulation suivante:

- * Sable moyen à grains arrondis contenant 93% d'éléments inférieurs à 2mm et 17% de fines.
- * Compacité Hubbard - Field 88%.
- * Stabilité Hubbard - Field à 25°C 1540kg.
- * Stabilité Hubbard - Field à 60°C 620kg.

Lors de la réalisation, on a utilisé un sable moins fin et les stabilités Hubbard - Field obtenues après plusieurs contrôles se sont échelonnées entre 590 et 260 à 60°C.

Ce tronçon s'est comporté d'une manière satisfaisante pendant plus d'une vingtaine d'années, en présentant toutefois certaines fissurations.

CHAPITRE IV

IV LES ESSAIS D'IDENTIFICATION

IV.1 L'IDENTIFICATION DU BITUME:

Il y a deux sortes d'essais concernant les liants routiers:

- * Des essais destinés à caractériser ou à identifier les liants.
- * Des essais destinés à rechercher leurs caractéristiques ou leur qualité.
- * Les essais sur les liants routiers ne sont pas normalisés. Ils ne déterminent guère de constantes physiques à proprement parler, mais souvent des caractéristiques empiriques qui d'ailleurs ont fait leurs preuves au point de vue de la connaissance des liants dans leurs conditions d'emploi.
- * Pour identifier le liant utilisé, certains essais s'imposent:

IV.1.1 ESSAI DE PENETRABILITE:

4.1.1.1 Définition:

La pénétration d'un liant est l'expression de la profondeur à laquelle pénètre une aiguille type, de dimensions déterminées, dans un échantillon de bitume sous des conditions définies de charge, de temps et de température;(100grammes, 5secondes, 25°C). Elle se mesure surtout pour les bitumes.

REMARQUE: Plus la pénétration est élevée plus le liant est mou.

Quand la température s'élève, le liant devient plus susceptible au point de vue de la pénétration et l'est moins au point de vue de la viscosité; le contraire se produit quand la température diminue.

D'autre part, il peut-être intéressant de connaître la pénétration à 25°C et l'état de dureté d'un liant à une température nettement plus élevée ou nettement plus basse. Pour cela, on fait appel à ce que l'on appelle la mesure au point de ramollissement d'un liant que nous développerons plus loin.

4.1.1.2 Principe de l'essai:

La pénétration est la profondeur à laquelle pénètre une aiguille type dans un échantillon de bitume sous des conditions définies de charges, de temps et de température.

NOTA: Les conditions de l'essai de pénétration pour les bitumes naturels ou raffinés peuvent être les suivantes:

Charges (grammes)	Temps (secondes)	Température (°C)
200	60	0
100	5	25
50	5	45

IV.1.2.ESSAI DE MESURE DE POINT DE RAMOLLISSEMENT:

4.1.2.1 Définition:

Il existe deux points de ramollissement de définitions distinctes

i) Point de ramollissement BILLE et ANNEAU (Ring and Ball):

Il indique la température atteinte par le liant à essayer lorsqu'une bille d'acier standard traverse un anneau rempli de ce liant et lorsqu'elle atteint le fond d'un vase standardisé, chauffé progressivement et rempli d'eau dans laquelle on a plongé l'anneau et la bille. Il est utilisé généralement pour les bitumes.

ii) Point de ramollissement KRAEMER et SARNOW:

C'est la température marquant un certain stade de ramollissement moins prononcé que le B.A.

Au lieu d'opérer avec une bille d'acier, on opère avec 5 grammes de mercure. Il est utilisé pour les brais de houille où le point de ramollissement "Bille et Anneau" est moins précis.

On appelle brai de houille le résidu de la distillation des goudrons jusqu'à une température où ce résidu commence à se décomposer par cracking et ne distille plus de produits normalement compris dans le produit primitif. La terminologie désigne les brais de houille comme des résidus noirs ou brun-foncé, solides ou demi-solides, fusibles et agglomérants, restant après la distillation des goudrons.

4.1.2.2 Principe de l'essai:

L'essai consiste à déterminer la température à laquelle une bille d'acier placée sur un petit disque de bitume contenu dans un anneau de métal, le tout étant progressivement chauffé au bain, imprime à l'échantillon de bitume une déformation verticale de manière à ce que le liant vienne toucher le fond du récipient.

On note la température au moment où le bitume entre en contact avec le fond du bûcher, cette température représente le point de ramollissement Bille et Anneau, elle se situe au début du domaine fluide entre 30 et 130°C. $30^{\circ}\text{C} < \text{T.B.A} < 130^{\circ}\text{C}$.

IV.1.3 ESSAI DE DETERMINATION DE LA DENSITE RELATIVE:

4.1.3.1 Définition:

La densité relative des produits bitumineux est le rapport de la masse d'un volume du produit à celle d'un égal volume d'eau à la même température.

4.1.3.2 Principe de l'essai:

La densité relative d'un bitume qui varie avec la température est déterminée à 25°C par la méthode du pycnomètre.

IV.1.4 ESSAI DE DUCTILITE:

4.1.4.1 Définition:

Cet essai présente l'allongement d'un matériau bitumineux avant qu'il se rompe lorsqu'on l'étire à une vitesse spécifiée et à une température donnée. La ductilité se mesure au moyen d'un ductilimètre Dow. L'essai se fait dans l'eau sur des éprouvettes en forme de "∞", à une vitesse de $(5 \pm 0,05)$ cm/mn

4.1.4.2 Principe de l'essai:

La ductilité est mesurée par l'allongement, à l'instant précis de sa rupture, d'une éprouvette de forme déterminée que l'on étire à une vitesse et à une température normalisées.

IV.1.5 ESSAI DE DETERMINATION DU POINT D'ECLAIR:

4.1.5.1 Définition:

Le point d'éclair est la température minimale à laquelle il faut porter la prise d'essai pour que les vapeurs émises s'allument momentanément, en présence d'une veilleuse dans les conditions normalisées.

4.1.5.2 Principe de l'essai:

La prise d'essai, versée dans le vase d'un appareil Pensky-Martens, est chauffée lentement à vitesse uniforme, en vase clos avec agitation à vitesse constante. Une petite flamme est présentée par une ouverture (fermée à d'autres moments) dans le vase à intervalles réguliers de température, tandis que l'agitation de la prise d'essai est arrêtée. Le point d'éclair est la température la plus basse à laquelle l'application de la flamme d'essai provoque l'inflammation des vapeurs émises au-dessus de la prise d'essai.

IV.1.6 ESSAI DE SOLUBILITE:

4.1.6.1 Définition:

La teneur en bitume d'un produit bitumineux est internationalement définie comme étant le pourcentage de matière soluble dans le sulfure de carbone, le trichloro-éthylène, le tétrachlorure de carbone ou le tétrachloro-éthylène.

NOTE: Pour les besoins de mesure de référence, seul l'usage adopté internationalement, du sulfure de carbone, est autorisé.

4.1.6.2 Principe de l'essai:

La prise d'essai est traitée par le sulfure de carbone, le trichloro-éthylène, le tétrachlorure de carbone ou le tétrachloro-éthylène et filtrée. L'insoluble est lavé, séché et pesé.

IV.1.7 ESSAI DE DETERMINATION DES PERTES DE MASSE AU CHAUFFAGE:

4.1.7.1 Définition:

La perte de masse au chauffage des produits bitumineux est le rapport exprimé en pourcentage de la perte de masse de la prise d'essai à sa masse initiale.

4.1.7.2 Principe de l'essai:

Une prise d'essai est pesée puis chauffée à 163°C pendant 5 heures dans une étuve ventilée. Elle est pesée pour déterminer sa perte de masse.

IV.2 L'IDENTIFICATION DU SABLE:

IV.2.1. ESSAI DE GRANULOMETRIE:

L'analyse granulométrique a pour objet de définir la classification des granulats d'après les dimensions de leurs grains, celle-ci étant exprimée en ouverture de tamis à mailles carrées en millimètres.

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions des mailles des tamis sont choisies en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue. Les masses des différents refus ou celles des différents tamis sont rapportées à la masse initiale du matériau; les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit une forme graphique (courbe granulométrique).

IV.2.2. ESSAI DE L'EQUIVALENT DE SABLE:

L'essai constitue l'une des méthodes d'appréciation de la propreté d'un matériau granulaire (d/D), c'est à dire, comportant du sable et des fines. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments les plus fins, contenus dans une fraction, et qui sont souvent polluants, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sable et les éléments les plus fins (argileux).

L'essai se pratique sur la fraction 0/5 mm du granulat d/D: (Un granulat est dit sale s'il possède un E.S inférieur à 30; très propre s'il possède un E.S supérieur ou égal à 80)

IV.2.3. ESSAI AU BLEU DE METHYLENE: (dit essai à la tache)

L'essai au bleu de méthylène est un essai de propreté. Il consiste à mesurer la masse de bleu fixée par les éléments fins du matériau. Cette masse est fonction de la quantité de fines et de leurs dimensions. Elle est très sensible à la présence d'éléments argileux de l'ordre de quelques microns.

REMARQUE: Cet essai ne remplace pas l'équivalent de sable, mais le complète.

CHAPITRE V

V FORMULATION DU SABLE BITUME

V.1 DEFINITION:

Les sables bitume sont des matériaux qui permettent d'effectuer des revêtements minces (2,5 à 3,5cm)

Une composition des enrobés bitumineux se résume:

- au choix de la granulométrie de l'ossature qui conduit à un minimum de vides, et
- à la recherche de la quantité de liant capable à la fois d'enrober totalement les grains du mélange et d'en permettre l'agglutination totale suivant le meilleur arrangement.

Ainsi la technique du sable bitume consiste à partir d'un sable simple ou composé, à choisir une teneur en liant, et à soumettre le mélange compacté à l'essai de compression simple avant et après immersion.

On vérifie que le pourcentage des vides est convenable, que la stabilité à sec est suffisante et qu'après immersion la chute de résistance à la compression est faible.

V.2 PRESENTATION DES MATERIAUX UTILISES:

Dans cette présente partie, nous allons procéder à la présentation des caractéristiques des matériaux de composition de l'enrobé qui sont: les sables, le liant, et les agents stabilisants.

V.2.1 LES SABLES:

On s'est proposé d'étudier deux sables de dune tout en essayant d'identifier les différentes caractéristiques et conclure ainsi quant à la conformité d'utilisation.

Ces sables sont le sable de dune de GHARDAIA et celui de BISKRA.

5.2.1.1 Composition granulométrique:

le Sable de BISKRA

Tamis (mm)	Tamisat (%)
6,30	100
5,00	100
3,15	99,88
2,00	99,64
1	99,17
0,50	95,24
0,315	75,71
0,20	37,76
0,1	4,29
0,08	1,98

le Sable de GHARDAIA:

Tamis (mm)	Tamisat (%)
6,30	100
5,00	100
3,15	100
2,00	100
1	100
0,50	99,9
0,315	92,15
0,20	21,1
0,1	6,3
0,08	4,1

5.2.1.2 Caractéristiques physiques:

le Sable de BISKRA

Poids Spécifique = 2.57g/cm ³
Equivalent de Sable = 72
Valeur au Bleu = 0,20

le Sable de GHARDAIA

Poids Spécifique = 2.61g/cm ³
Equivalent de Sable = 92
Valeur au Bleu = 0,05

5.2.1.3 Analyse chimique:

le Sable de BISKRA

Elements	Pourcentage (%)
SiO ₂	67,90
Al ₂ O ₃	0,65
Fe ₂ O ₃	0,50
CaO	15,88
MgO	0,60
SO ₃	0,79
Na ₂ O	0,09
K ₂ O	0,16
TiO ₂	-
MnO	-
Cl	-
Perte au Feu	13,33

le Sable de GHARDAIA

Elements	Pourcentage (%)
SiO ₂	94,50
Al ₂ O ₃	1,67
Fe ₂ O ₃	0,25
CaO	1,43
MgO	0,10
SO ₃	0,63
Na ₂ O	0,23
K ₂ O	0,22
TiO ₂	-
MnO	-
Cl	-
Perte au Feu	1,43

V.2.2 LE BITUME:

Les principales caractéristiques de ce bitume sont:

Caractéristique du bitume:

Pénétrabilité à 25°C (1/10mm)	45
Point de ramollissement (°C)	55

Ces caractéristiques répondent aux spécifications SETRA-L.C.P.C relatives à un bitume 40/50.

NB: tous les essais ont été effectués au laboratoire de la SONATRO (Reghaia)

V.3 Programmation de l'expérimentation:

5.3.1 Détermination de la teneur en liant:

La teneur en liant d'un enrobé bitumineux dépend de la granulométrie de l'ossature et plus exactement de la surface spécifique. Cette surface est d'ailleurs déterminée en grande partie par le filler proprement dit et dans une certaine mesure par le sable fin. On admet d'une manière empirique la formule dite "de la racine cinquième" qui est:

$$p = k \times \sqrt[5]{\Sigma} \quad \text{avec} \quad \Sigma = 4,75 + 1,3f \quad (1)$$

Σ : Surface spécifique,

k: Module de richesse

A) Notion de surface spécifique:

La surface spécifique, exprimée en mètres carrés par unité de poids, est la somme des surfaces extérieures de tous les grains; elle varie avec la dimension des grains: plus le matériau est fin, plus la surface spécifique est grande.

La surface spécifique Σ est donnée, en m^2/kg , par la formule suivante:

$$100\Sigma = 0,25G + 2,30S + 12s + 135f \quad (2)$$

Dans laquelle:

- * G: pourcentage de gravillons (> 5mm),
- * S: pourcentage de gros sable (grains entre 0,315 et 5mm),
- * s: le pourcentage de sable fin (grains entre 0,315 et 0,08mm),
- * f: le pourcentage de fines.

Pour les enrobés fins (Sable-Bitume) on adopte la formule:

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

B) Module de Richesse:

Dans l'expression précédente la valeur de $k = p / \sqrt[5]{\Sigma}$ est appelée "module de richesse en liant" ou en abréviation module de richesse; il est caractéristique de l'épaisseur du film de liant enrobant les grains d'agrégats, d'où son nom. Son choix est sous la dépendance de la déformabilité, du climat, de la nature et l'intensité du trafic.

D'une manière générale la valeur du module de richesse k varie entre 3,75 et 4,25.

5.3.2 Comportement mécanique des sables-bitume

La complexité du comportement mécanique des sables bitume dépend, d'une part, de la nature du sable, de sa granulométrie, et d'autre part de la teneur en bitume et du pourcentage de filler.

Ainsi l'essentiel de notre travail au laboratoire consiste à étudier ce comportement par l'essai de stabilité Hubbard-Field pour différentes formulations. A cet effet nous avons étudié:

1°/ L'influence de la teneur en bitume sur la stabilité et la compacité Hubbard-Field de deux sables de dunes de granulométrie différente: Cet aspect consiste à étudier l'évolution de la stabilité et la compacité des sables-bitume en fonction du pourcentage de bitume utilisé.

2°/ L'influence des apports en filler sur les performances mécaniques des sables-bitume: Cette étude consiste à introduire des apports en filler à différents pourcentages dans le mélange et apprécier son incidence sur les performances mécaniques.

Les caractéristiques des matériaux utilisés étant définies, on procède à la confection d'éprouvettes qu'on soumet à écrasement après avoir calculé la compacité. De ces essais, on tire donc trois renseignements:

- * La Compacité,
- * La Stabilité à sec,
- * La stabilité après immersion.

RAPPELS:

A) Calcul de la compacité des éprouvettes:

- Soit:
- * 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.

* La densité vraie de l'éprouvette est:

$$D_m = \frac{100}{p_b/d_b + p_a/d_a}$$

* Le pourcentage volumétrique des vides résiduels ou vides de l'éprouvette est:

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

* d_m/D_m est le volume vrai de l'agrégat dans l'éprouvette de volume unité.

* La compacité C ou pourcentage volumétrique des pleins est:

$$C = 100 - V_m$$

B) Notion de stabilité:

La stabilité des matériaux enrobés est la résistance aux déformations par compression, flexion, traction, cisaillement ou poinçonnement. En pratique, elle est évaluée au moyen des essais au laboratoire et notamment:

i) Essai Duriez:

Il consiste à confectionner des éprouvettes cylindriques dans des conditions déterminées, et soumettre les éprouvettes, après conservation à l'air libre ou en immersion, à l'écrasement pour déterminer la résistance à la compression simple qui sera dite "stabilité Duriez".

2i) Essai Marschall:

C'est un essai de compression simple exercée suivant la génératrice d'une éprouvette cylindrique semi-fretée. Cette compression est appliquée une demi-heure après immersion dans l'eau à 60°C à une vitesse de 0,846 mm/sec.

3i) Essai Hubbard-Field: (concernant les matériaux enrobés fins)

Cet essai consiste à mesurer sous quelle pression une éprouvette de mortier ou enrobé bitumineux, dont les dimensions et la confection sont normalisées, peut fluer à travers un orifice calibré.

Ces trois essais sont utilisés pour l'étude expérimentale des enrobés bitumineux, et le choix de la meilleure formulation à adopter.

C) Principe de l'essai Hubbard-Field:

La mesure de la stabilité Hubbard-Field, dans le cas de sable-bitume, consiste à mesurer la pression qui provoque l'extrusion ou fluage, d'une éprouvette de 100g. Cette compression est appliquée à la vitesse de 1mm/s sur une briquette amenée à la température soit de 18°C, soit de 60°C.

V.3.3 PREMIERE SERIE D'ESSAI:

5.3.3.1 Influence de la teneur en bitume sur la stabilité et la compacité Hubbard-Field:

Des essais ont été réalisés à différents pourcentages en bitume sur les sables de dune pris séparément, les résultats sont résumés dans les tableaux 1 et 2 suivants:

100% sable de Biskra:

Tableau 1
Résultats des essais Hubbard-Field
obtenus avec le sable de Biskra

% en Bitume	5	5,5	6	6,5	7
Poids à l'Air (g)	104,8	105,4	105,8	106,4	106,8
Hauteur H (cm)	2.97	3	3.01	2.97	2.80
Diamètre D (cm)	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99
Volume V (cm ³)	58.05	58.64	58.84	58.05	54.73
Densité Apparente	1.84	1.83	1.83	1.85	1.95
Densité Théorique	2.25	2.24	2.23	2.23	2.22
Compacité (%)	81.68	81.82	82.10	83.13	87.84
Stabilité H.F (kg) à 18°C	657,93	693,72	819,18	772,56	696
Stabilité H.F (kg) à 60°C	208,8	240,12	299,28	281,88	267,96

100% sable de Ghardaïa:

Tableau 2
Résultats des essais Hubbard-Field
obtenus avec le sable de Ghardaïa

% en Bitume	5	5,5	6	6,5	7
Poids à l'Air (g)	104,5	105,2	105,7	105,2	106,6
Hauteur H (cm)	2.97	3	3.01	2.97	2.80
Diamètre D (cm)	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99
Volume V (cm ³)	58.05	58.64	58.84	58.05	54.73
Densité Apparente	1.84	1.83	1.83	1.85	1.95
Densité Théorique	2.25	2.24	2.23	2.23	2.22
Compacité (%)	81.68	81.82	82.10	83.13	87.84
Stabilité H.F (kg) à 18°C	643,8	678,6	800,4	719,55	642,06
Stabilité H.F (kg) à 60°C	153,14	184,5	243,54	156,825	129,15

L'évolution des différentes performances est représentée dans les figures 1 et 2 ci-après:

INFLUENCE DE LA TENEUR EN BITUME SUR LA STABILITE HUBBARD-FIELD
100% Sable de BISKRA

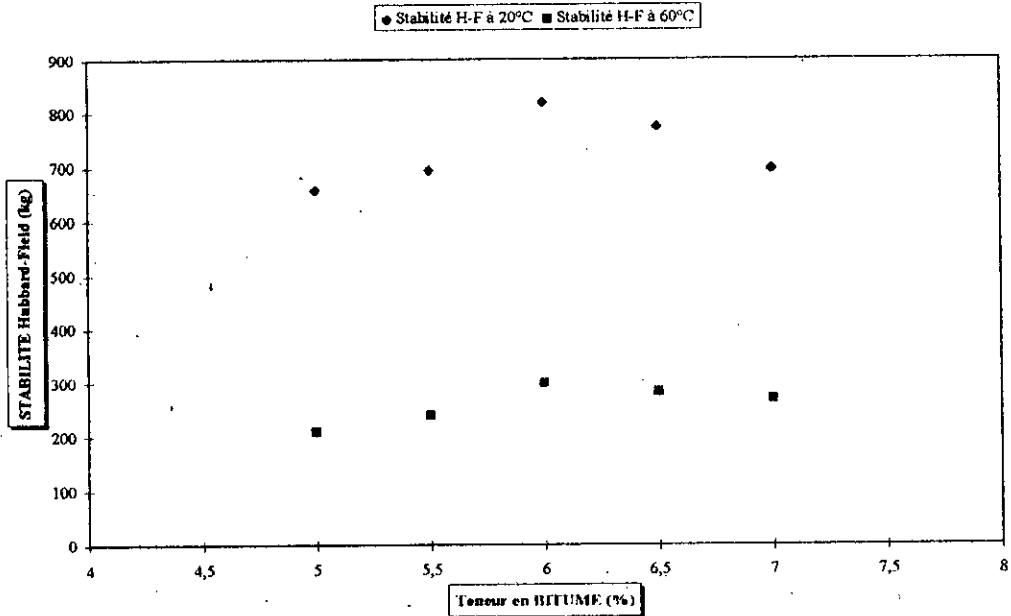


figure.1

INFLUENCE DE LA TENEUR EN BITUME SUR LA STABILITE HUBBARD-FIELD
100% Sable de GHARDAIA

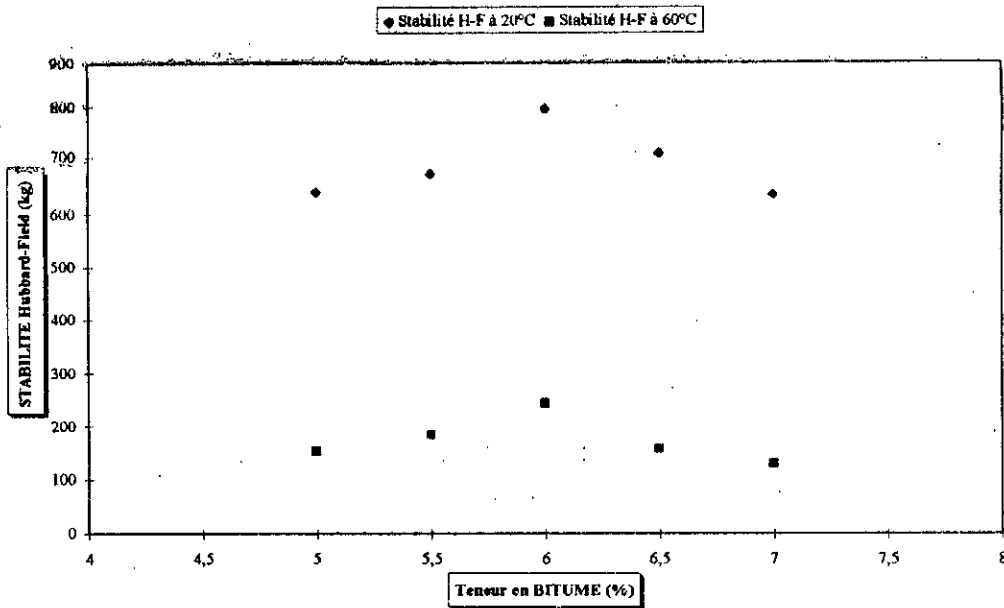


figure.2

Interprétation des résultats:

D'après les résultats obtenus à partir de l'essai Hubbard-Field, on peut conclure que le sable de dune seul enrobé avec un bitume 40/50, donne des compacités et des stabilités insuffisantes par rapport aux caractéristiques recommandées; ceci peut s'expliquer par la granulométrie serrée qui ne permet pas de donner un bon arrangement des grains après compactage

On remarque aussi que la stabilité optimale est atteinte pour une teneur en bitume de 6%, elle est de l'ordre de:

* à 20°C: 800,40kg pour le sable de Ghardaïa et 819,18kg pour le sable de Biskra

* à 60°C: 243,54kg pour le sable de Ghardaïa et 299,28kg pour le sable de Biskra

Cette différence est due à la courbe granulométrique du sable de Biskra qui est plus étalée par rapport au sable de Ghardaïa, et contient un pourcentage d'éléments grossiers plus important.

Ces stabilités restent toutefois insuffisantes. Pour cela, on a pensé à corriger ces résultats et ceci en ajoutant des stabilisants tels que le ciment, la chaux et le plâtre

V.4 PRESENTATION DES STABILISANTS UTILISES:**V.4.1 Définition et caractéristiques des stabilisants:****5.4.1.1 Le ciment****A) Définition:**

C'est un produit qui provient de la calcination poussée pouvant atteindre le point de ramollissement d'un composé de:

- * 80 % de marne calcaire ou carbonate de calcium;
- * 20 % d'argile à forte teneur en silicate d'alumine.

Ce mélange peut:

être sous forme d'une marne argilo-calcaire de composition stable et ayant plus de 8 % de silicate d'alumine "ciment naturel";

être obtenu par un mélange parfaitement dosé de marne calcaire et d'argile "ciment portland artificiel".

Caractéristiques physiques:

Les essais entrepris se limitent à la détermination du poids spécifique, de la surface spécifique et du temps de prise. Les résultats obtenus sont:

* Poids Spécifique = $3,1 \text{ g/cm}^3$

* Surface Spécifique = $4230,7 \text{ cm}^2/\text{g}$

B) Analyse chimique:

Le ciment CPA 325 utilisé pour la stabilisation du sable dunaire est marqué surtout par un pourcentage appréciable de chaux et de silice, tel que le montrent les résultats d'analyse suivants:

elts	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO libre	R.I	P.A.F
(%)	21,47	4,30	2,82	60,13	1,08	2,23	0,48	0,81	2,91	3,09	5,43

5.4.1.2 La chaux:**A) Définition:**

C'est un carbonate de chaux (CO₃Ca) obtenu par calcination d'un calcaire naturel (marne) plus ou moins pur, la présence de silicate d'alumine modifie les caractéristiques du produit après cuisson, la composition de la marne influence la température de calcination, mais de toute façon le résultat est la chaux vive qu'il faut éteindre par aspersion. (Obtention de chaux éteinte).

B) Caractéristiques physiques:

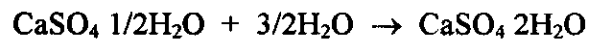
Les principales caractéristiques physiques de la chaux sont:

* Poids Spécifique = 2,34g/cm³

* Surface Spécifique = 14400 cm²/g

5.4.1.3 LE PLATRE:**A) Définition:**

Le plâtre est un hémihydrate SO₄Ca + 0,5H₂O qui, réduit en poudre, puis gâché avec de l'eau, fait prise sous forme d'aiguilles hydratées, pour reconstituer l'hydrate à deux molécules d'eau, ou gypse. La réaction chimique d'hydratation étant:



↓

PLATRE

↓

GYPSE

B) Caractéristiques physiques:

Poids Spécifique = 2,75 g/cm³

Surface Spécifique = 14400 cm²/g

V.4.2 DEUXIEME SERIE D'ESSAIS:

5.4.2.1 Influence de la teneur en chaux sur la stabilité et la compacité Hubbard-Field:

Des essais ont été réalisés à différents pourcentages de chaux (de 1 à 6%) sur les sables de dune pris séparément, les résultats sont résumés dans les tableaux 3 et 4 ci-après:

Tableau 3
Résultats des essais Hubbard-Field
obtenus avec le sable de Biskra et la chaux

% Sable de Dune	99	98	97	96	95	94
% en Chaux	1	2	3	4	5	6
% en Bitume	6,15	6,33	6,48	6,62	6,75	6,84
Poids à l'Air (g)	106,2	106,2	106,4	106,7	106,6	106,8
Hauteur H (cm)	2,97	2,90	2,90	2,89	2,95	3,00
Diamètre D (cm)	4,98	4,99	4,99	4,98	4,99	4,99
Volume V (cm ³)	57,82	56,69	56,69	56,26	57,66	58,64
Densité Apparente	1,84	1,87	1,88	1,90	1,85	1,82
Densité Théorique	2,23	2,22	2,21	2,20	2,19	2,18
Compacité (%)	82,50	84,56	85,06	86,27	84,40	83,38
Stabilité H.F (kg) à 18°C	1252,8	1479	1583,4	1785,24	1653	1469,52
Stabilité H.F (kg) à 60°C	240,12	285,36	400,20	435,00	452,40	494,16

Tableau 4
Résultats des essais Hubbard-Field
obtenus avec le sable de Ghardaïa et la chaux

% Sable de Dune	99	98	97	96	95	94
% en Chaux	1	2	3	4	5	6
% en Bitume	6,48	6,62	6,75	6,87	6,98	7,09
Poids à l'Air (g)	106,4	106,6	106,7	106,9	107,0	107,0
Hauteur H (cm)	2,95	2,91	2,90	2,90	2,95	2,98
Diamètre D (cm)	4,97	4,98	4,99	4,99	4,99	4,99
Volume V (cm ³)	57,20	56,65	56,69	56,69	57,66	58,25
Densité Apparente	1,86	1,88	1,88	1,89	1,86	1,84
Densité Théorique	2,24	2,23	2,22	2,21	2,21	2,20
Compacité (%)	83,05	84,35	84,71	85,17	84,08	83,51
Stabilité H.F (kg) à 18°C	1346,76	1409,40	1465,08	1506,85	1451,16	1419,84
Stabilité H.F (kg) à 60°C	243,60	267,96	365,40	417,60	490,68	511,56

INFLUENCE DE LA CHAUX SUR LA COMPACTITE HUBBARD-FIELD

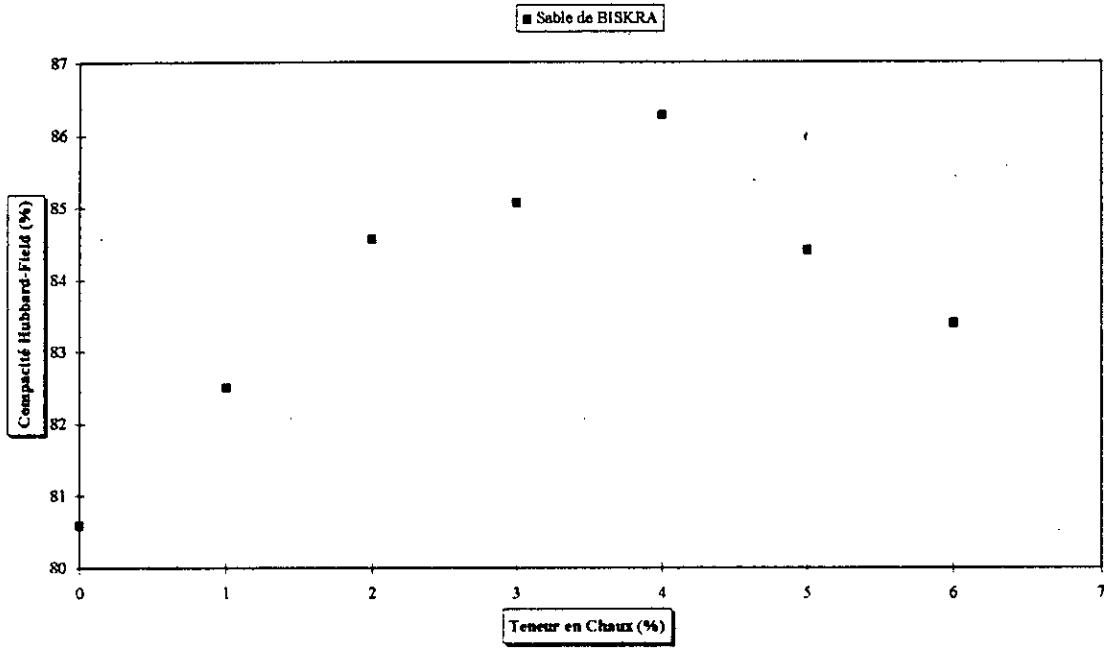


figure 3

INFLUENCE DE LA CHAUX SUR LA STABILITE HUBBARD-FIELD
Sable de BISKRA

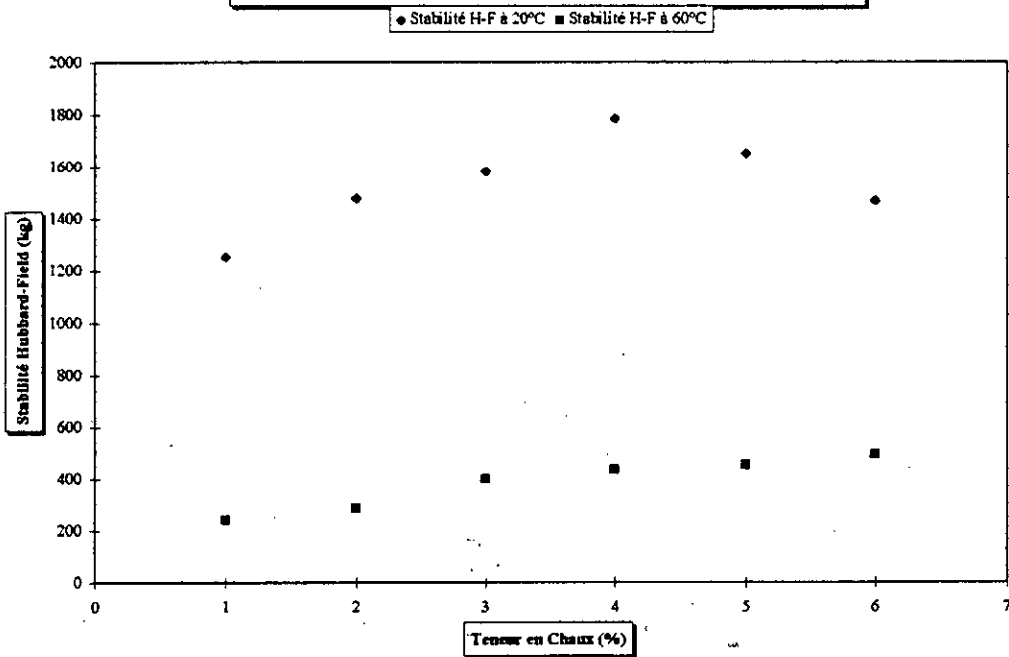


figure.4

INFLUENCE DE LA CHAUX SUR LA COMPACTITE HUBBARD-FIELD

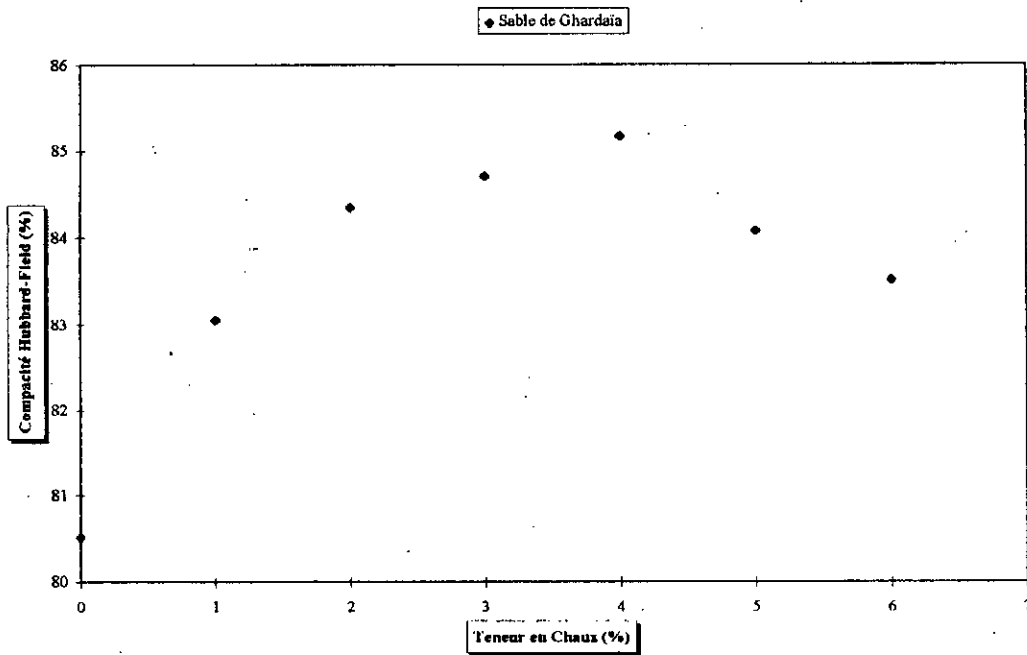


figure.5

INFLUENCE DE LA CHAUX SUR LA STABILITE HUBBARD-FIELD
Sable de GHARDAIA

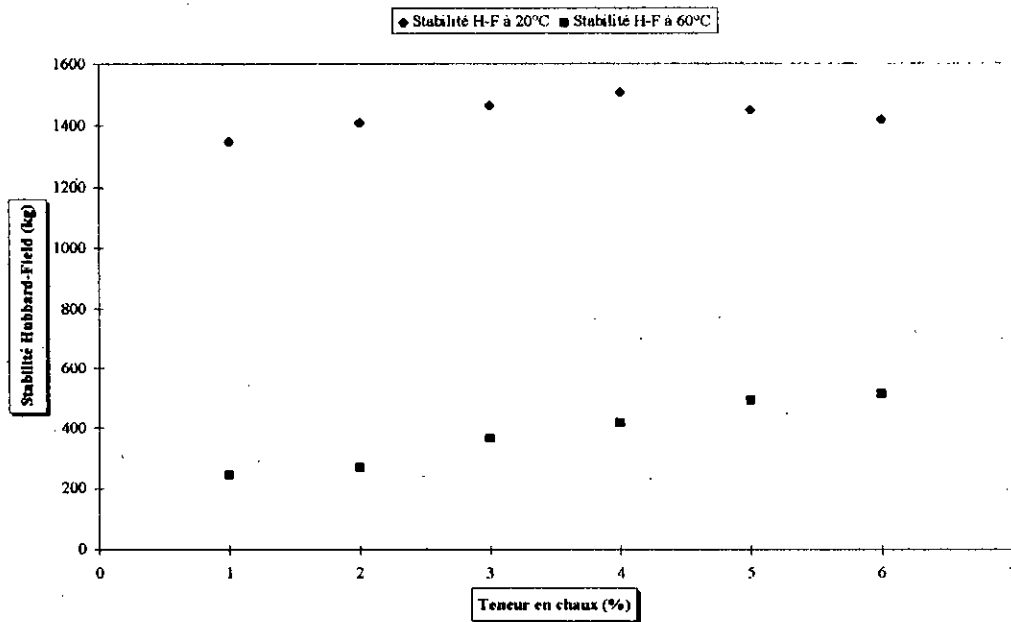


figure.6

Interprétation des résultats:*** Pour le sable de Biskra:**

De la figure.3, on remarque que la stabilité optimale du sable-bitume est atteinte à partir du mélange de 96% de sable de dune et 4% de chaux. En effet, elle passe de 819,18kg sans ajout à 1785,24kg à 20°C et de 229,28kg à 435kg à 60°C avec ajout.

De la figure.4, on remarque que la compacité optimale du sable-bitume est atteinte à partir du mélange 96% de sable et 4% de chaux. Elle passe de 82,1% à 86,27%

*** Pour le sable de Ghardaïa:**

De la figure.5, on remarque de même que la stabilité optimale du sable-bitume est atteinte à partir du mélange 96% de sable et 4% de chaux. En effet elle passe de 800,4kg sans ajout à 1506,85kg à 20°C et de 243,54kg à 417,60kg à 60°C avec ajout.

De la figure.6, on remarque que la compacité optimale du sable-bitume est atteinte à 96% de sable et 4% de chaux. Elle passe de 82,1% sans ajout à 85,17% avec ajout.

5.4.2.2 Influence de la teneur en ciment sur la stabilité et la compacité Hubbard-Field:

Des essais ont été réalisés à différents pourcentages de ciment (1 à 6%) sur les sables de dune pris séparément. Les résultats sont résumés dans les tableaux 5 et 6 ci-après:

Tableau 5
Résultats des essais Hubbard-Field
obtenus avec le sable de Biskra et du ciment

% Sable de Dune	99	98	97	96	95	94
% en Ciment	1	2	3	4	5	6
% en Bitume	6,15	6,33	6,48	6,62	6,75	6,84
Poids à l'Air (g)	106,1	106,3	106,5	106,6	106,8	106,8
Hauteur H (cm)	2,90	2,91	2,89	2,92	2,93	2,95
Diamètre D (cm)	5,00	4,96	4,98	4,99	4,99	4,99
Volume V (cm ³)	56,91	56,20	56,26	57,08	57,27	57,66
Densité Apparente	1,86	1,89	1,89	1,87	1,86	1,85
Densité Théorique	2,23	2,23	2,22	2,22	2,22	2,22
Compacité (%)	83,53	84,94	85,14	84,12	84,09	83,62
Stabilité H.F (kg) à 18°C	1238,88	1392	1635,60	1531,2	1489,44	1454,64
Stabilité H.F (kg) à 60°C	281,88	306,24	313,2	327,12	341,04	354,96

Tableau 6
Résultats des essais Hubbard-Field
obtenus avec le sable de Ghardaïa et du ciment

% Sable de Dune	99	98	97	96	95	94
% en Ciment	1	2	3	4	5	6
% en Bitume	6,48	6,62	6,75	6,87	6,98	7,09
Poids à l'Air (g)	106,3	106,6	106,7	106,8	106,9	107,1
Hauteur H (cm)	2,90	2,94	2,89	2,97	2,98	2,98
Diamètre D (cm)	4,99	4,96	4,96	4,96	4,98	4,99
Volume V (cm ³)	56,69	56,78	55,81	56,97	58,02	58,25
Densité Apparente	1,88	1,88	1,91	1,87	1,84	1,84
Densité Théorique	2,24	2,24	2,24	2,24	2,23	2,23
Compacité (%)	83,53	83,77	85,43	83,87	82,53	82,44
Stabilité H.F (kg) à 18°C	1044	1200,60	1357,2	1249,32	1190,16	1158,84
Stabilité H.F (kg) à 60°C	208,80	229,68	309,72	313,20	323,64	320,16

INFLUENCE DU CIMENT SUR LA COMPACTITE HUBBARD-FIELD

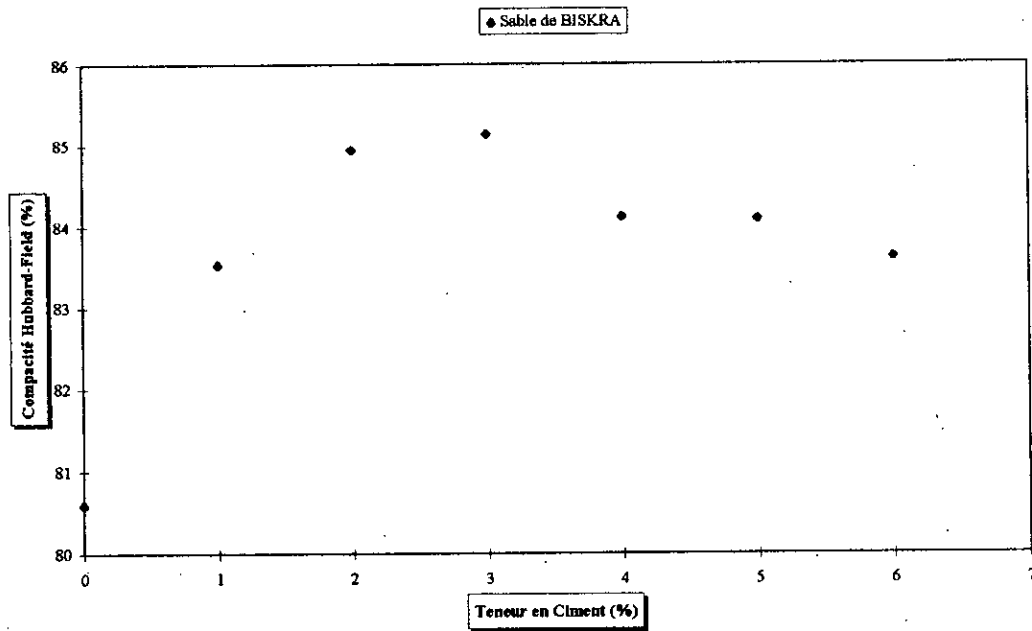


figure.7

INFLUENCE DU CIMENT SUR LA STABILITE HUBBARD-FIELD
Sable de BISKRA

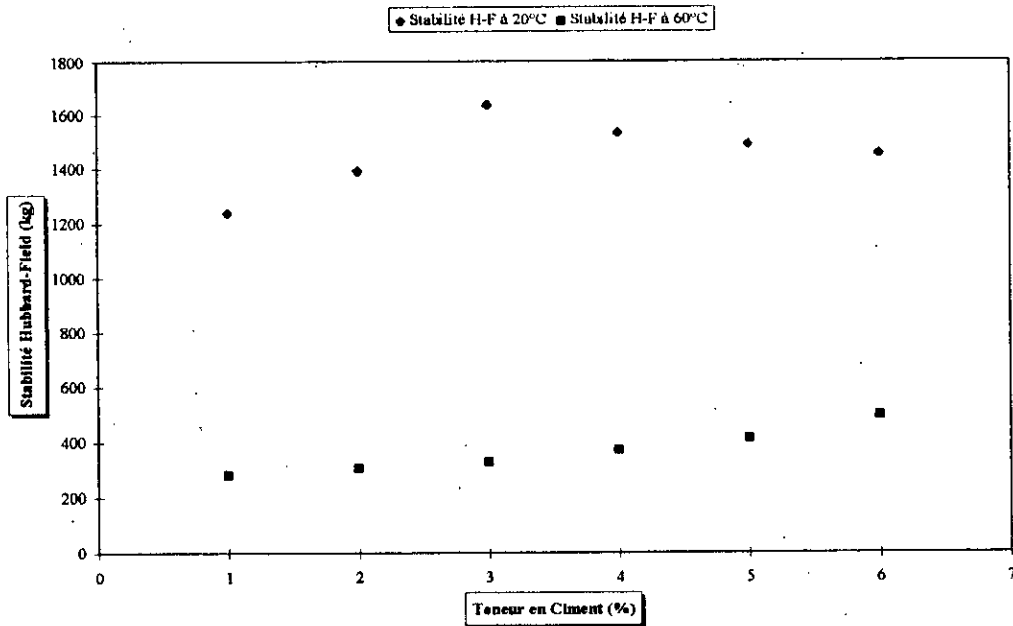


figure.8

INFLUENCE DU CIMENT SUR LA COMPACTITE HUBBARD-FIELD

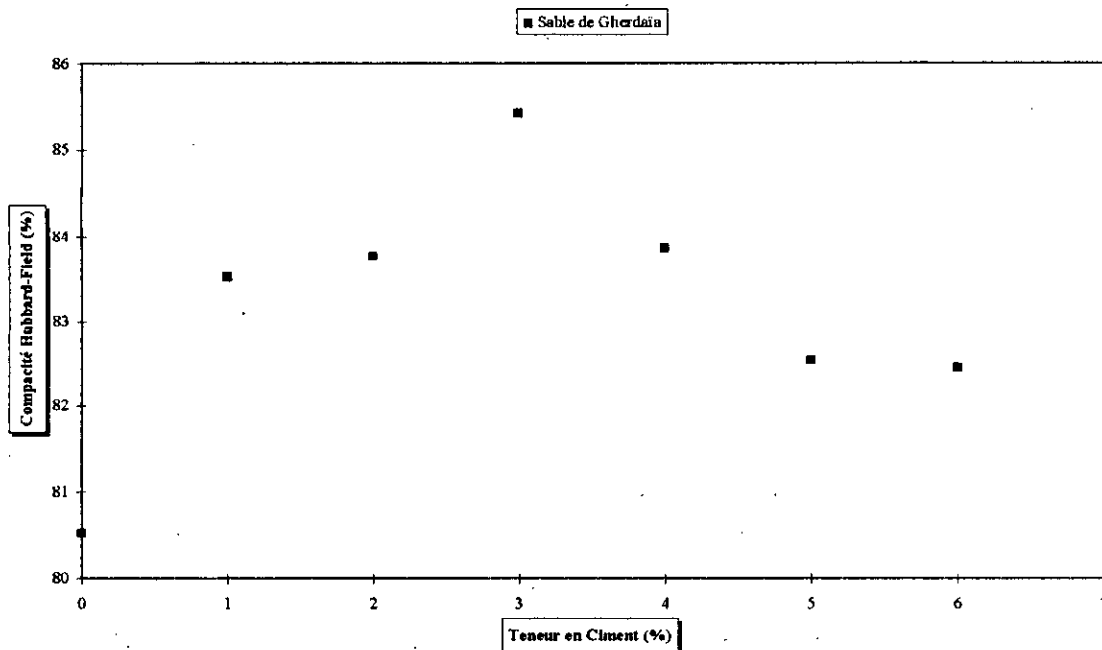


figure.9

INFLUENCE DU CIMENT SUR LA STABILITE HUBBARD-FIELD
Sable de GHARDAIA

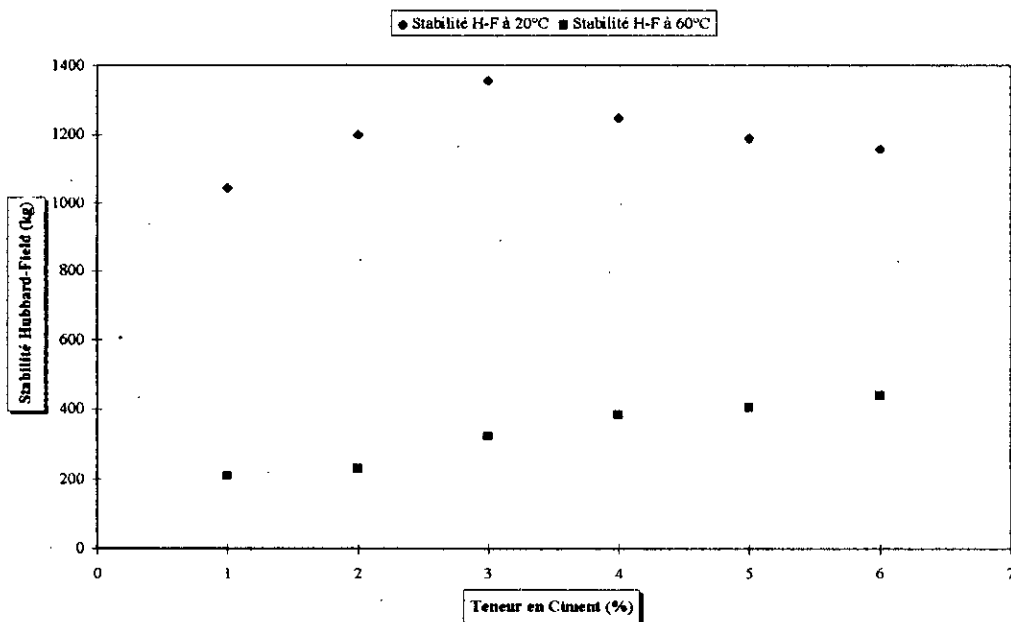


figure.10

Interprétation des résultats:

* Pour le sable de Biskra:

De la figure.7, on remarque que la stabilité optimale du sable-bitume est atteinte à partir du mélange 97% de sable et 3% de ciment. En effet elle passe de 819,18kg sans ajout à 1635,6kg à 20°C et de 229,28kg à 313,12kg à 60°C avec ajout.

De la figure.8, on remarque aussi que la compacité optimale du sable-bitume est atteinte pour le même mélange que précédemment. Elle passe de 82,1% à 85,14%

* Pour le sable de Ghardaïa:

De la figure.9, on remarque que la stabilité optimale du sable-bitume est atteinte à partir du mélange de 97% de sable et 3% de ciment. En effet elle passe de 800,4kg sans ajout à 1357,2kg à 20°C et de 243,54kg à 309,72kg à 60°C avec ajout.

De la figure.10, on remarque que la compacité optimale du sable-bitume est atteinte à 97% de sable et 3% de ciment. Elle passe de 82,1% sans ajout à 85,43% avec ajout.

5.4.2.3 Influence de la teneur en plâtre sur la stabilité et la compacité Hubbard-Field:

Des essais ont été réalisés à différents pourcentages de plâtre (1 à 6%) sur le sable de dune de Biskra, les résultats sont résumés dans le tableau 7 ci-après:

Tableau 7
Résultats des essais Hubbard-Field
obtenus avec le sable de Biskra et du plâtre

% Sable de Dune	99	98	97	96	95	94
% en Plâtre	1	2	3	4	5	6
% en Bitume	6,15	6,33	6,48	6,62	6,75	6,84
Poids à l'Air (g)	106,2	106,5	106,5	106,7	106,7	106,9
Hauteur H (cm)	3,00	2,96	2,98	2,99	2,97	2,98
Diamètre D (cm)	4,99	4,99	4,99	4,99	4,98	4,98
Volume V (cm ³)	58,64	57,86	58,25	58,44	57,82	58,02
Densité Apparente	1,81	1,84	1,83	1,83	1,85	1,84
Densité Théorique	2,23	2,22	2,22	2,21	2,21	2,20
Compacité (%)	81,24	82,84	82,51	82,59	83,66	83,65
Stabilité H.F (kg) à 20°C	817,80	852,6	859,56	1019,64	1318,90	1284,10
Stabilité H.F (kg) à 60°C	208,80	236,64	243,60	267,96	320,16	309,72

INFLUENCE DU PLATRE SUR LA COMPACTITE HUBBARD-FIELD

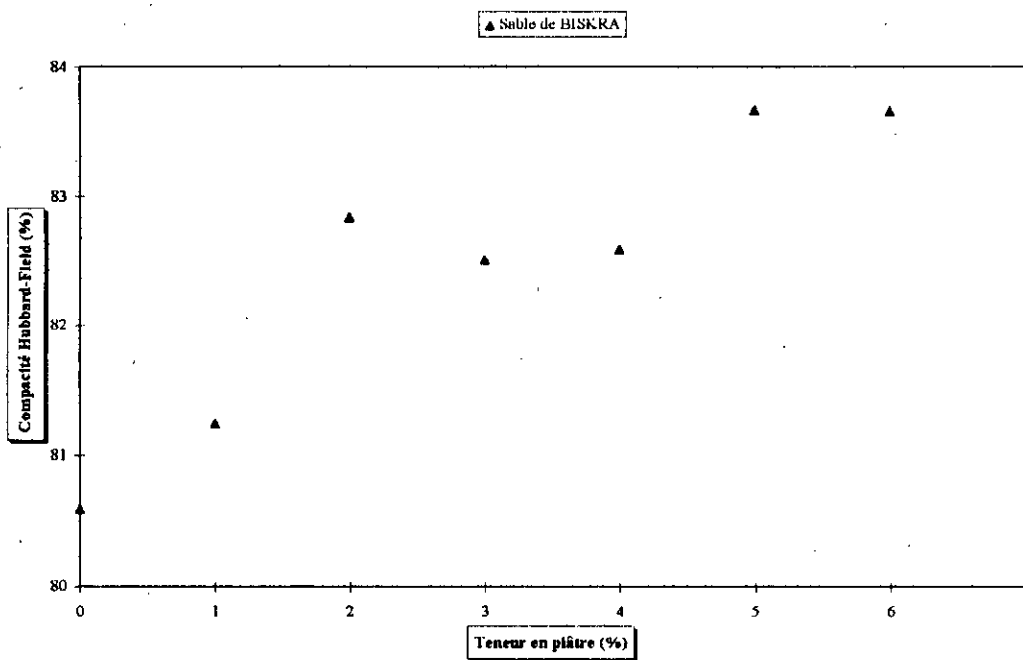


figure.11

INFLUENCE DU PLATRE SUR LA STABILITE HUBBARD-FIELD
Sable de BISKRA

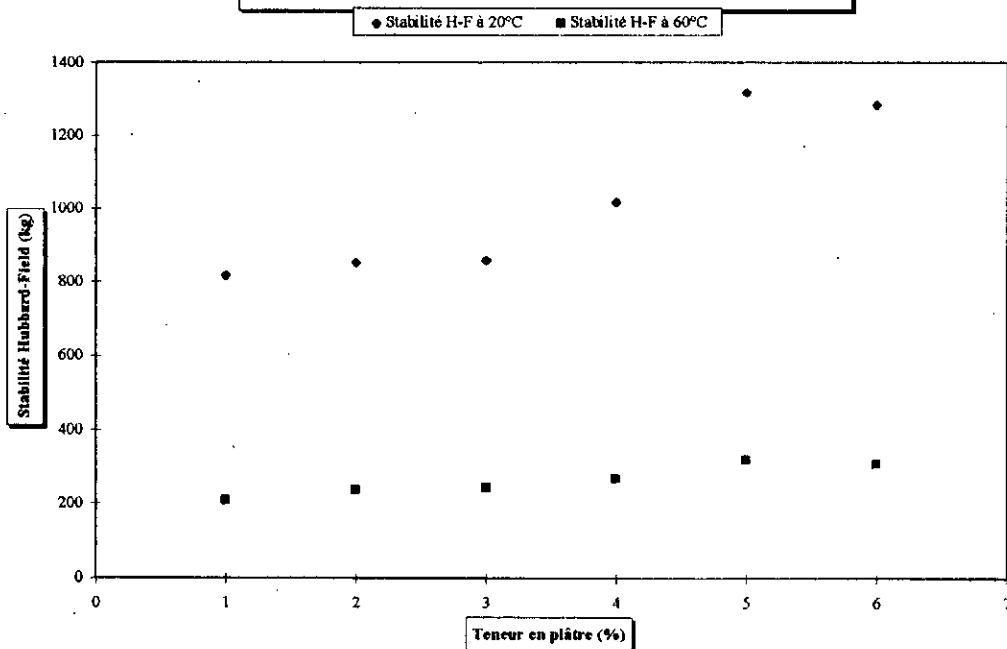


figure.12

Interprétation des résultats:

De la figure.11, on remarque que la stabilité optimale du sable-bitume est atteinte à partir du mélange de 95% de sable et 5% de plâtre; elle passe de 819,18kg sans ajout à 1318,9kg à 20°C et de 229,28kg à 320,16kg à 60°C avec ajout.

De la figure.12, on remarque que la compacité optimale du sable-bitume est atteinte à 95% de sable et 5% de plâtre. Elle passe de 82,1% à 83,66%

Nous avons fait une nouvelle formulation afin de corriger la granulométrie du sable de Ghardaia (trop serrée) en introduisant un sable de concassage.

5.4.2.4 Influence de la teneur en sable de concassage sur la stabilité et la compacité Hubbard-Field:

Le sable de concassage utilisé provient de la carrière JOBBER possédant la granulométrie se trouvant en Annexe 2.

Des essais ont été réalisés à différents pourcentages du sable de concassage (10 à 50%) sur le sable de dune de Ghardaia. Les mélanges ont donné les granulométries du tableau 8 et les résultats sont résumés dans le tableau 9 ci-après:

Tableau 8
granulométrie des différents mélanges obtenus

10%SC + 90%SD	20%SC + 80%SD	30%SC + 70%SD	40%SC + 60%SD	50%SC + 50%SD
100	100	100	100	100
99,93	99,69	99,67	99,53	99,14
99,44	98,81	98,23	97,36	96,63
98,04	96,03	93,86	91,96	90
94,86	91,21	86,74	80,31	75,14
92,16	85,43	79,19	72,26	64,97
67,29	57,14	55,19	56,26	50,36
25,07	22,67	20,9	24,04	23,1
5,2	4,77	5,47	6,7	7,06
2,3	2,53	2,43	2,57	2,74

Tableau 9
Résultats des essais Hubbard-Field
obtenus avec le sable de Ghardaïa et le sable de concassage

% sable de dune	90	80	70	60	50
% en sable de concassage	10	20	30	40	50
% en Bitume	6,02	6,05	6,07	6,08	6,11
Poids à l'Air	105,9	106,0	106,0	106,0	106,1
Hauteur H	2,89	2,89	2,85	2,86	2,83
Diamètre D	4,99	4,98	4,99	4,96	4,97
Volume V	56,49	56,26	55,71	55,23	54,87
Densité Apparente	1,87	1,88	1,90	1,92	1,93
Densité Théorique	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26
Compacité (%)	82,81	83,31	84,20	84,97	85,69
Stabilité H.F (kg) à 18°C	1409,40	2282,88	2895,36	3020,64	3340,80
Stabilité H.F (kg) à 60°C	382,80	765,60	824,76	1026,60	1124,04

INFLUENCE DU SABLE DE CONCASSAGE SUR LA COMPACTE HUBBARD-FIELD

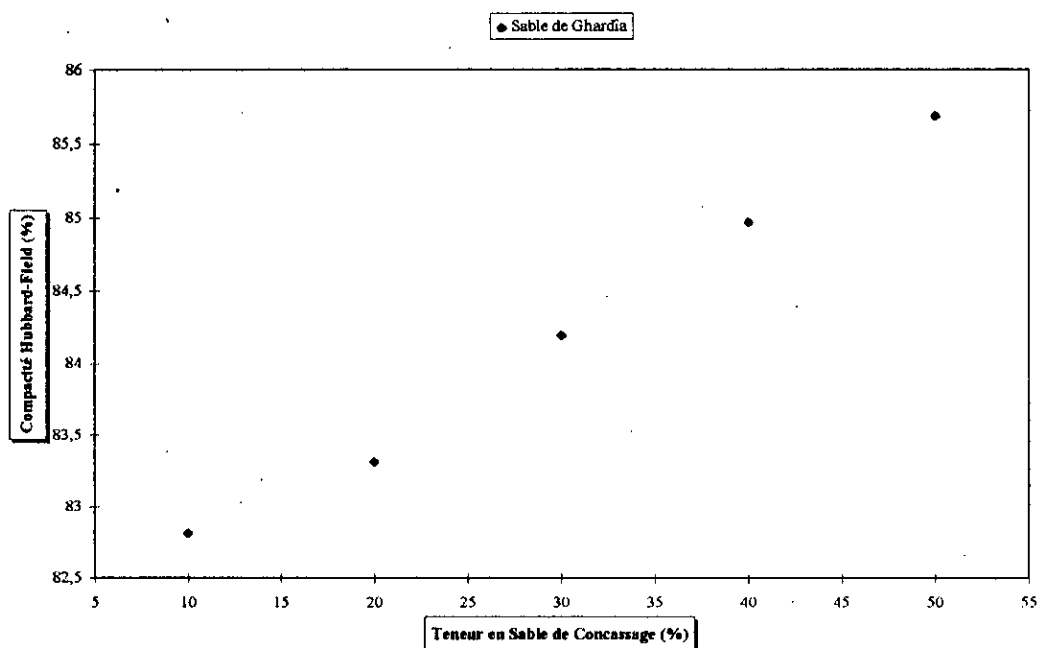


figure.13

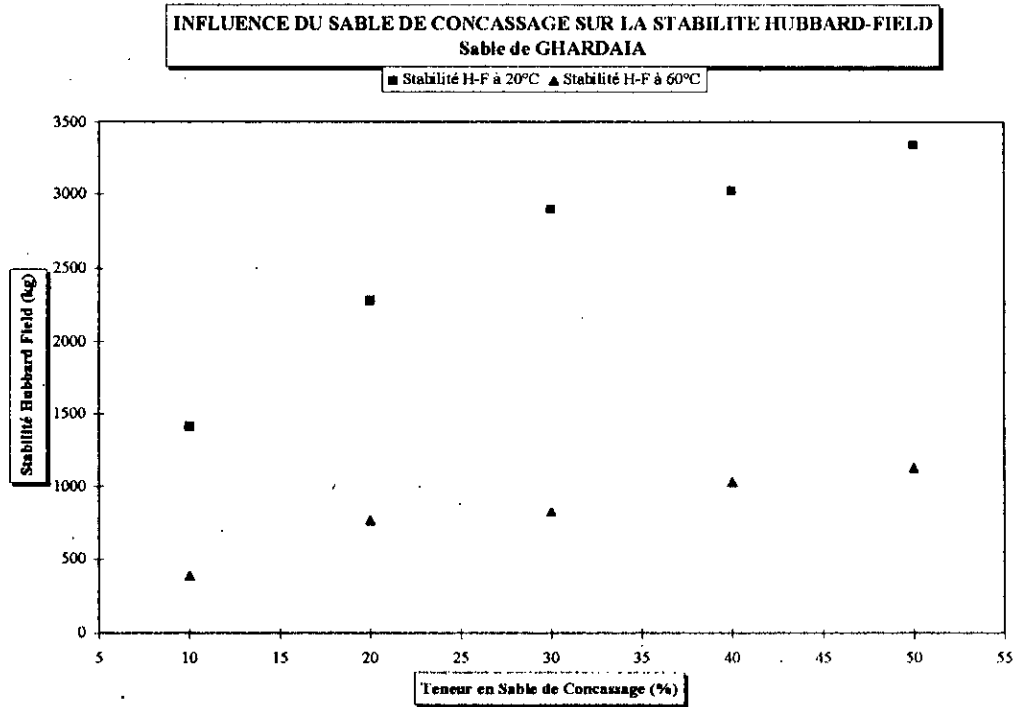


figure.14

Interprétation des résultats:

Des figures 13 et 14, on remarque que la stabilité et la compacité augmentent avec la teneur en sable de concassage.

Prenons maintenant le paramètre sable et comparons les différents résultats obtenus à savoir: la stabilité HUBBARD FIELD à 20 et 60°C ainsi que la compacité des différentes formulations.

INFLUENCE DU CIMENT SUR LA STABILITE HUBBARD-FIELD à 20°C

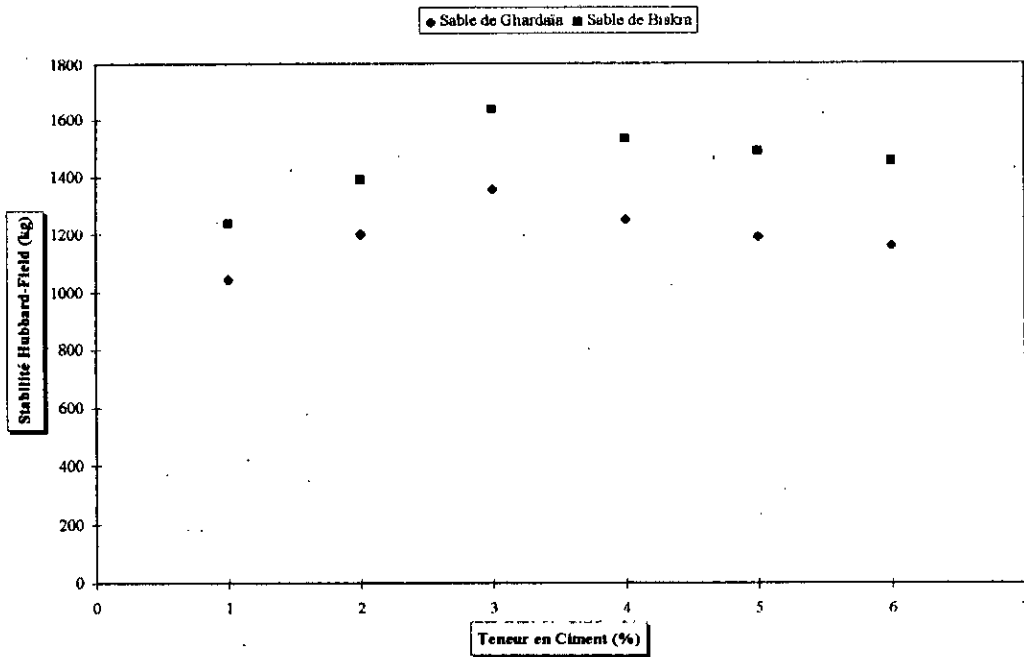


figure.15

INFLUENCE DU CIMENT SUR LA STABILITE HUBBARD-FIELD à 60°C

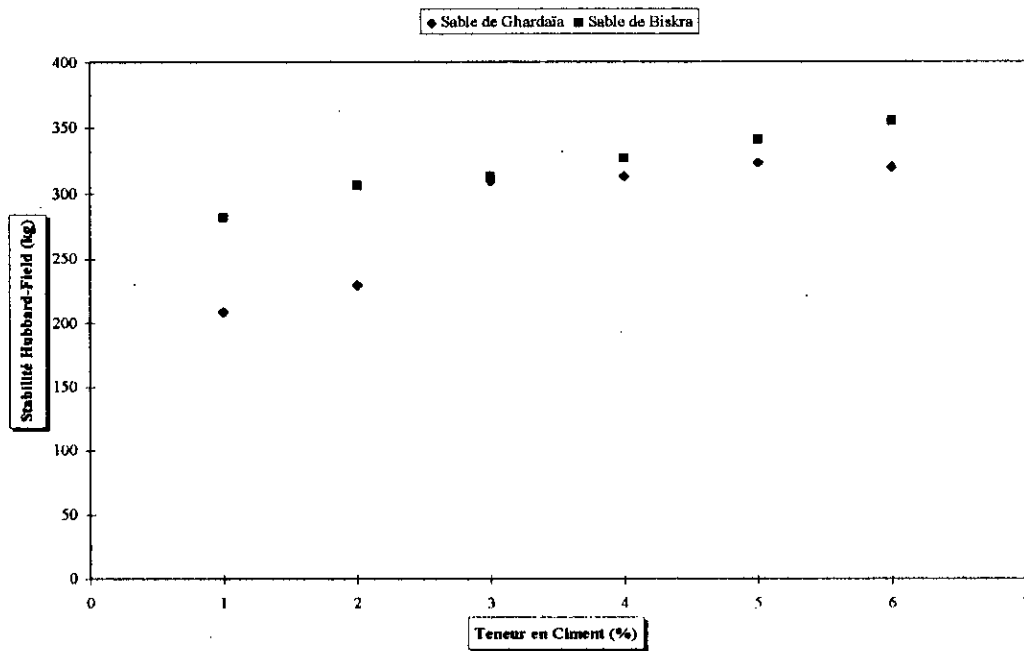


figure.16

INFLUENCE DU CIMENT SUR LA COMPACTE HUBBARD-FIELD

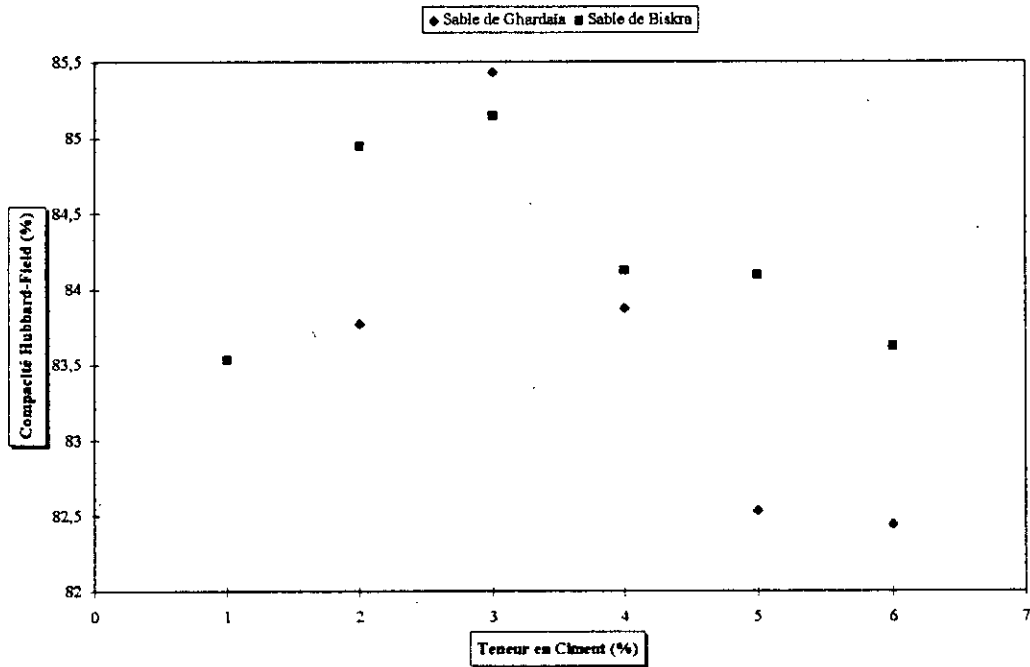


figure.17

INFLUENCE DE LA CHAUX SUR LA STABILITE HUBBARD-FIELD à 20°C

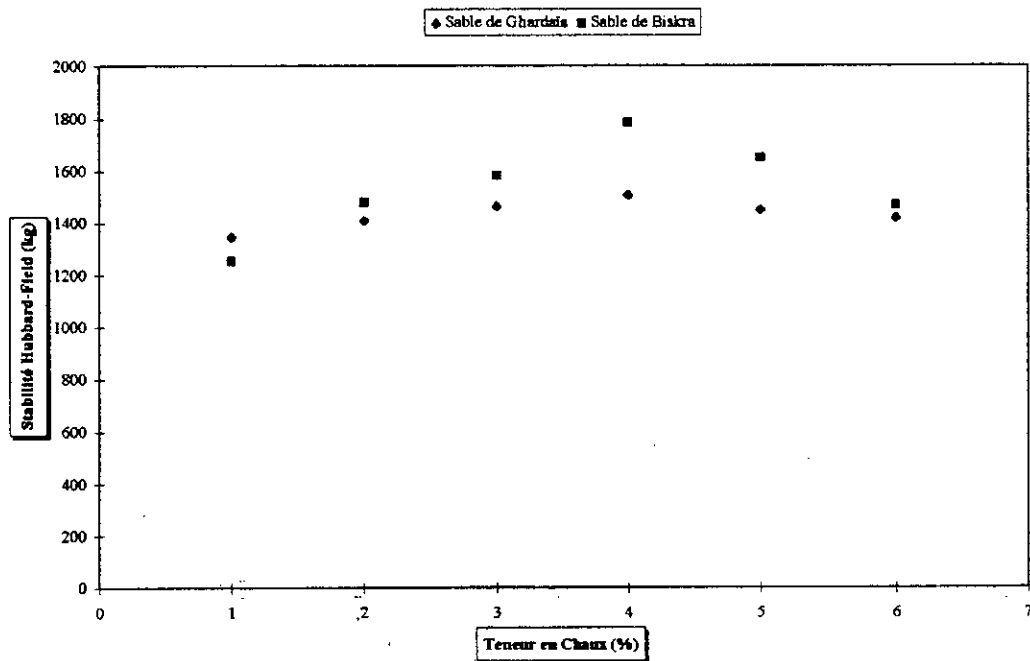


figure.18

INFLUENCE DE LA CHAUX SUR LA STABILITE HUBBARD-FIELD à 60°C

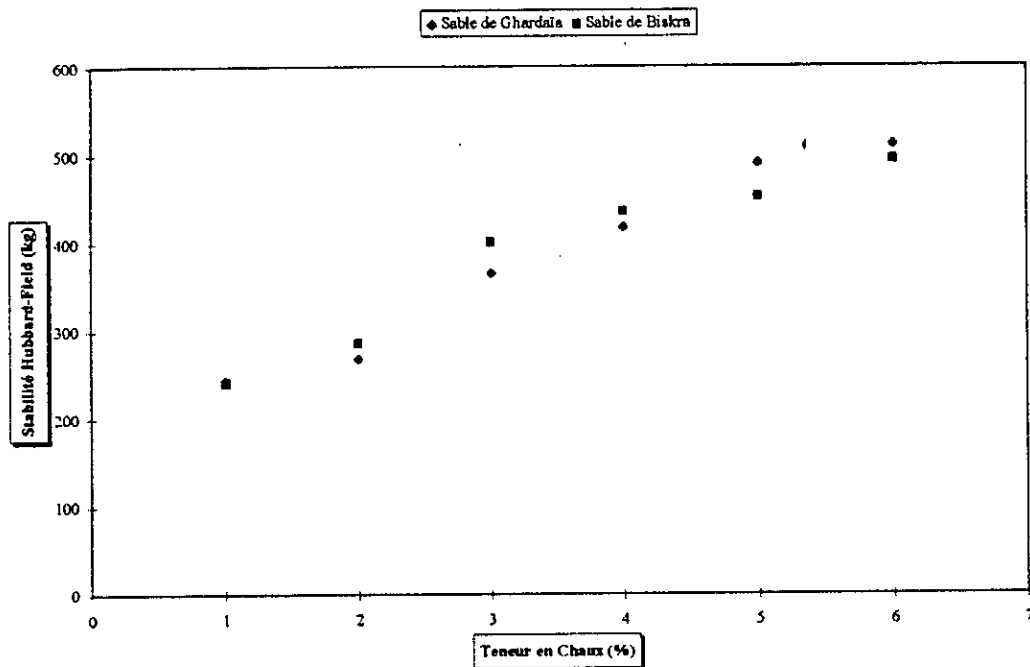


figure.19

INFLUENCE DE LA CHAUX SUR LA COMPACTITE HUBBARD-FIELD

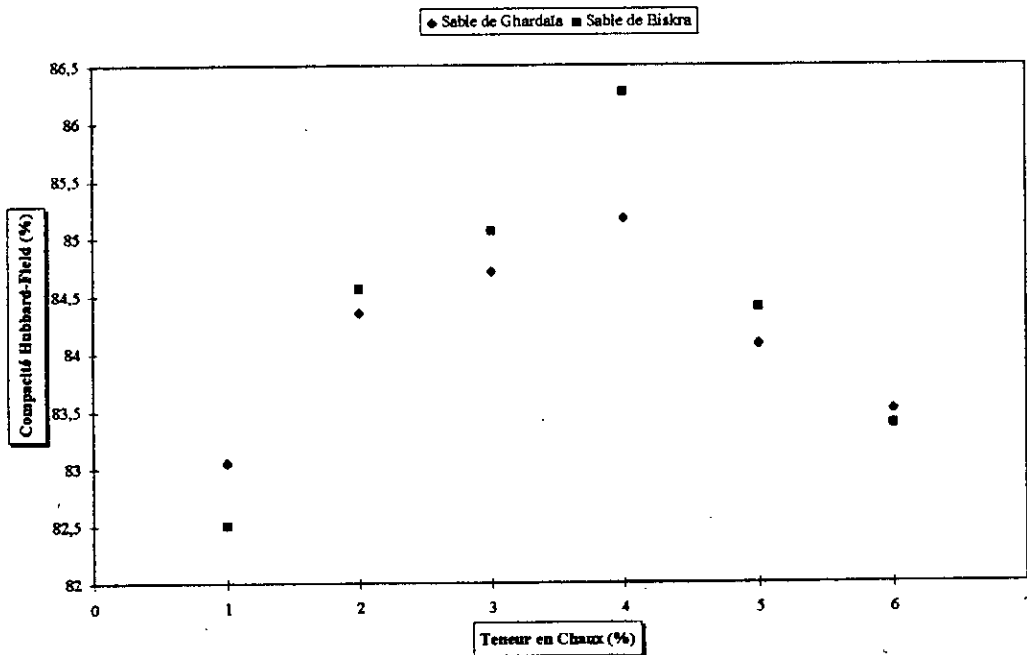


figure.20

CHAPITRE VI

VI CONCLUSION GENERALE

Lors de cette étude nous avons essayé d'exploiter les rares archives concernant les anciennes routes sahariennes et notamment l'utilisation du sable bitume en couche de roulement. La conclusion que nous en tirons est qu'il ne faut pas attendre de l'emploi des sables dans la construction des chaussées une révolution dans la technique routière et il n'est nullement question de chercher à substituer les sables aux graves; ces derniers ayant de bien meilleures caractéristique pour la confection de mélanges hydrocarbonés que les premiers.

Cependant, dans les régions où les graves sont éloignées ou polluées, alors que les sables convenables sont abondants, il y aurait un intérêt économique à les employer.

Au laboratoire nous avons étudié deux sables de granulométrie différente:

- * Un sable de dune de Biskra contenant (2% de fines).
- * Un sable de reg de Ghardaïa contenant (4% de fines).

Nous avons fait:

- * Un traitement à la chaux.
- * Un traitement au ciment.
- * Un traitement au plâtre.
- * Un traitement au sable de concassage.

Sans entrer dans les détails, nous pouvons conclure compte tenu des résultats obtenus que:

1°/ La granularité du sable a un grand effet sur les résultats escomptés de stabilité; plus la granulométrie est plus ou moins étalée plus c'est favorable pour l'obtention d'une meilleure compacité et une meilleure stabilité.

2°/ L'apport de filler est bénéfique à plus d'un titre:

- * D'une part, il apporte une correction à la granulométrie.
- * D'autre part, il contribue à la rigidification du mastic.

Cela a été vérifié pour l'ensemble des formulations étudiées:

3°/ Il semble y avoir un optimum de teneur en liant, au vu des résultats obtenus, qui se situe entre 6 et 7% ce qui correspond à ce qui a été utilisé pour les revêtements existants.

4°/ L'ajout de 4% de chaux ou de 3% de ciment a conduit pour l'ensemble des formulations étudiées à une nette amélioration du comportement.

5°/ L'ajout du plâtre a pu corriger la granulométrie mais les performances ont été faibles, par rapport aux résultats donnés par l'ajout de la chaux ou du ciment, du point de vue stabilité ou compacité; c'est pour cette raison que cette variante a été éliminée.

6°/ La correction de la granulométrie du sable de dune avec un sable concassé 0/3 peut être envisageable dans la mesure où elle peut se faire dans des limites raisonnables: 10 à 25%

Elle améliore d'une manière significative la compacité et la stabilité (surtout le comportement à chaud)

7°/ La formulation du sable-bitume ne peut être généralisée au Sahara vu qu'elle dépend de la granulométrie du sable et par conséquent de la région:

- * granulométrie serrée (ajout du sable grossier)
- * granulométrie étalée (ajout de filler)

ANNEXES

ESSAI DE L'EQUIVALENT DE SABLE**Norme; NFP 18 598****DEFINITION:**

L'équivalent de sable est le rapport multiplié par 100 de la hauteur de la partie sédimentée à la hauteur totale du floculat et de la partie sédimentée. Ces hauteurs sont mesurées dans une éprouvette où la prise d'essai a été traitée, dans des conditions définies, par une solution lavante capable de faire flocculer les éléments fins.

L'équivalent de sable est effectué sur la fraction de sol ou de granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins contenus dans cette fraction, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sableux et les éléments fins (argile, impuretés...).

Il s'exprime par:

ES (équivalent de sable, tout court) mesuré au piston;

ESV (équivalent de sable visuel) mesuré à vue;

à la température de $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$.

DOMAINE D'APPLICATION:

Cette détermination s'applique dans de nombreux domaines, notamment les suivants:

Choix et contrôle des sols utilisables en stabilisation mécanique;

Choix et contrôle des sables à béton;

Choix et contrôle des granulats pour les enrobés hydrocarbonés;

Contrôle des sols utilisés en stabilisation chimique.

BUT DE L'ESSAI:

L'équivalent de sable désigné par E.S est déterminé par une méthode simple et récente, basée sur le repérage de la quantité de sable vrai contenu dans un sable plus ou moins souillé de matière argileuse ou colloïdale.

APPAREILLAGE:

1°/ Une éprouvette cylindrique; transparente, en matière plastique (fig.1), ayant:

Un diamètre extérieur constant à 0,5mm près.

Un diamètre intérieur de $(32,0 \pm 0,5)\text{mm}$ près

Une hauteur de $(430,0 \pm 0,25)$ mm

L'éprouvette porte des traits de repère gravés à:

$(100,0 \pm 0,25)$ mm et $(380,0 \pm 0,25)$ mm de la base.

Un bouchon de caoutchouc s'adaptant à l'ouverture du cylindre permet de fermer l'éprouvette.

2°/ Un tube laveur, conforme à la (fig.2), est constitué par un tube rigide de:

$(6,0 \pm 0,5)$ mm de diamètre extérieur

$(3,0$ ou $4,0 \pm 0,2)$ mm de diamètre intérieur

muni à la partie supérieure, d'un robinet inférieur, d'un embout fileté (fig.3) formant un dièdre, chaque face du dièdre étant percée d'un trou de $(1,0 \pm 0,1)$ mm.

3°/ Un flacon, transparent en verre ou en matière plastique d'environ 5 litres, muni d'un système de siphon. Le fond du flacon est placé à 1 mètre environ au-dessus de la table de travail.

4°/ Un tube de caoutchouc, ou de plastique, de 1,50 m de longueur et de 5 mm de diamètre intérieur. Ce tuyau sert à relier le tube laveur au siphon.

5°/ Un piston taré, conforme à la (fig.4) constitué par:

Une tige de $(430,0 \pm 0,25)$ mm de longueur

Une embase de $(25,0 \pm 0,25)$ mm de diamètre, dont la face inférieure est plate, lisse et perpendiculaire à l'axe de la tige et qui comporte latéralement trois vis de centrage qui centrent le piston dans l'éprouvette cylindrique en laissant un léger jeu

Un manchon de $(10,0 \pm 0,1)$ mm d'épaisseur s'adapte sur l'éprouvette cylindrique et permet de guider la tige du piston en même temps qu'il sert à repérer l'enfoncement du piston dans l'éprouvette. Ce manchon comporte une vis qui permet de le bloquer sur la tige du piston.

Un poids fixé est à l'extrémité supérieure de la tige pour donner à l'ensemble du piston taré, hormis le manchon, un poids total de 1000g, à 5g près;

6°/ Une machine d'agitation, manuelle ou électrique, imprime à l'éprouvette un mouvement horizontal, rectiligne, périodique et sinusoïdal de $(20,0 \pm 1,0)$ cm d'amplitude et de période 1/3 seconde.

MANIPULATION:

A) Mise en place de la première prise d'essai:

* La solution lavante étant siphonnée dans l'éprouvette cylindrique jusqu'au trait repère , inférieur, la prise d'essai correspondant à 120 grammes de sable sec (après échantillonnage) est versée soigneusement à l'aide de l'entonnoir dans l'éprouvette cylindrique posée verticalement sur sa base.

* Taper à plusieurs reprises la base de l'éprouvette cylindrique fortement sur la paume de la main pour déloger les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.

* Laisser reposer 10 minutes.

B) Agitation de l'éprouvette:

* A la fin de cette période de 10 minutes:

- boucher l'éprouvette cylindrique à l'aide du bouchon de caoutchouc prévu à cet effet;
- fixer l'éprouvette cylindrique sur la machine d'agitation.

* L'éprouvette cylindrique subit (90 ± 1) cycles en (30 ± 1) secondes.

* L'éprouvette cylindrique retirée de la machine est remise en position verticale sur la table d'essais.

C) Lavage:

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

* En descendant le tube dans l'éprouvette cylindrique:

- rincer les parois de l'éprouvette cylindrique avec la solution lavante;
- puis enfoncer le tube jusqu'au fond de l'éprouvette cylindrique.

* Laver le sable pour faire remonter les éléments argileux tout en maintenant l'éprouvette cylindrique en position verticale. Imprimer un mouvement doux de piquage et rouler le tube laveur entre le pouce et l'index tout en faisant tourner lentement l'éprouvette cylindrique avec l'autre main.

* 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 lentement sans arrêter l'écoulement de façon que le niveau du liquide se maintienne à hauteur du trait repère. Régler l'écoulement juste avant que le tube ne soit entièrement sorti pour ajuster le niveau final au trait repère supérieur.

* Arrêter l'écoulement dès la sortie du tube laveur.

D) Mesures:

* Laisser reposer sans perturbation pendant 20 minutes \pm 10 secondes.

* Après 20 minutes de stabilisation, mesurer à l'aide de la règle la hauteur H_1 du niveau supérieur du floculat par rapport au fond de l'éprouvette.

* Faire descendre doucement le piston taré dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose sur le sable.

* Lorsque l'embase du piston repose sur le sable, bloquer le manchon coulissant sur la tige du piston.

* L'équivalent de sable d'une prise d'essai d'un échantillon est, par définition, mesuré au piston et donné par la formule:

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

Faire 3 essais pour un même échantillon et avec un décalage de 3 mn pour avoir la moyenne.

TABLEAU DES HEURES DE MESURES
pour 3 essais équivalent sable (6 éprouvettes)

Temps en minutes	Observations	N° de l'éprouvette
0	démarrer	1
3	démarrer	2
6	démarrer	3
9	démarrer	4
10	agiter	1
10 - 12	laver	1
12	démarrer	5
13	agiter	2
13 - 15	laver	2
15	démarrer	6
16	agiter	3
16 - 18	laver	3
19	agiter	4
19 - 21	laver	4
22	agiter	5
22 - 24	laver	5
25	agiter	6
25 - 27	laver	6
32	lire	1
35	lire	2
38	lire	3
41	lire	4
44	lire	5
47	lire	6

REMARQUE:

Il y a lieu d'attirer l'attention sur la nécessité de respecter la durée fixée à 20 minutes \pm 10 secondes pendant laquelle l'éprouvette cylindrique est laissée au repos. La durée de ce repos influe sur la sédimentation et par suite sur la hauteur du sédiment. Ceci est particulièrement valable dans le cas où un même opérateur effectue simultanément plusieurs essais.

Le tableau ci-dessus présente le programme de travail minuté d'un opérateur effectuant simultanément 3 essais équivalent sable.

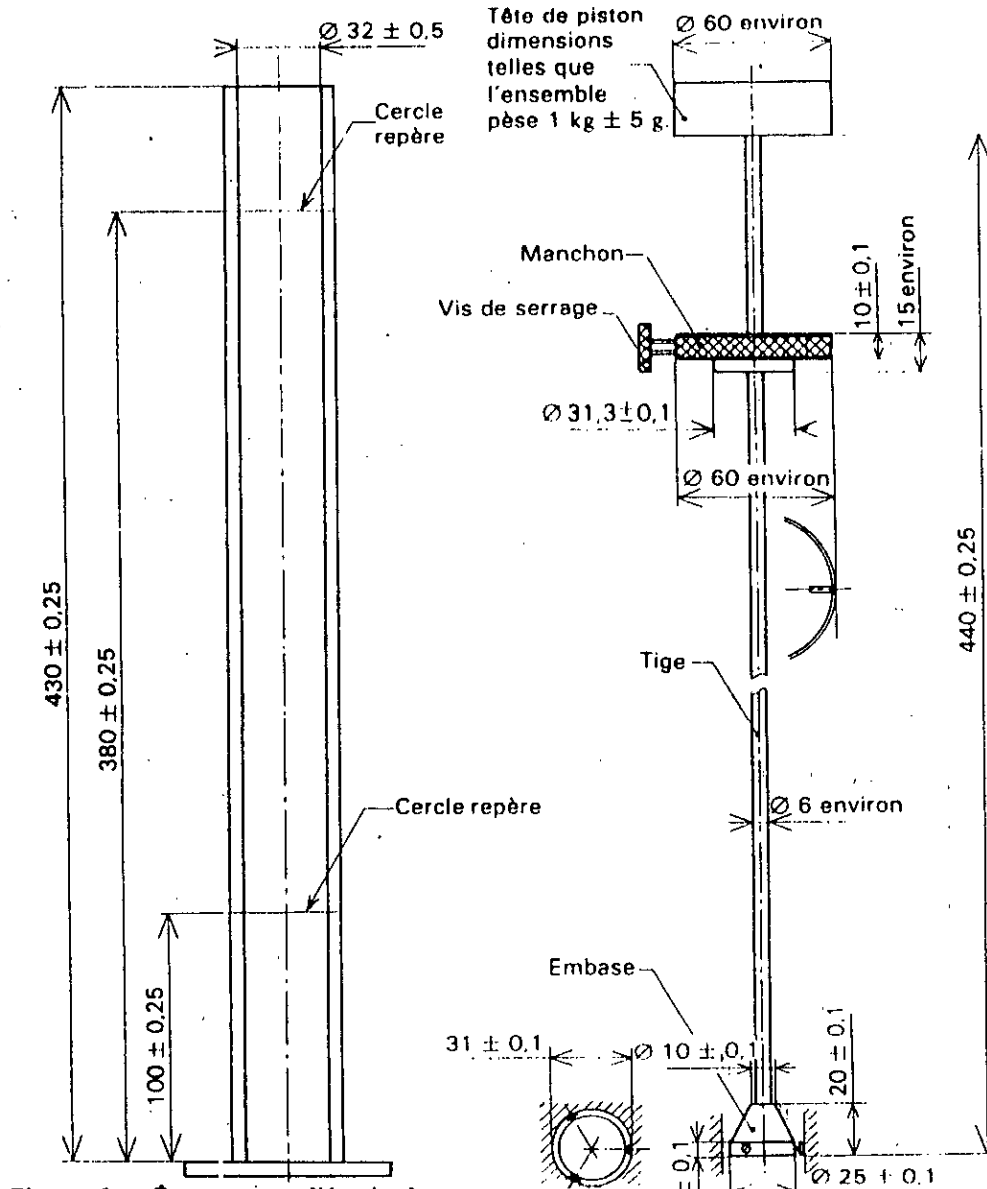


Figure 1 — Éprouvette d'équivalent de sable

Figure 4 — Piston d'essai

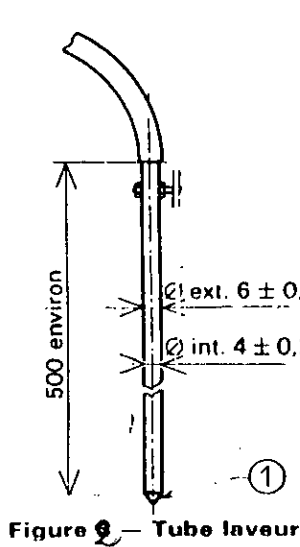


Figure 2 — Tube laveur

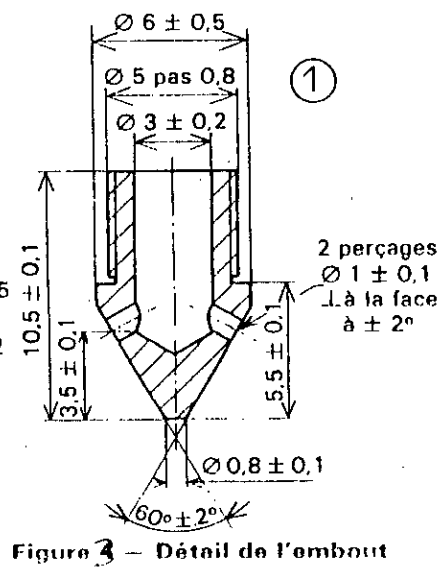


Figure 3 — Détail de l'ombout

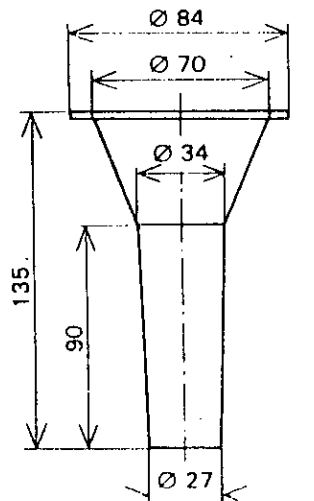
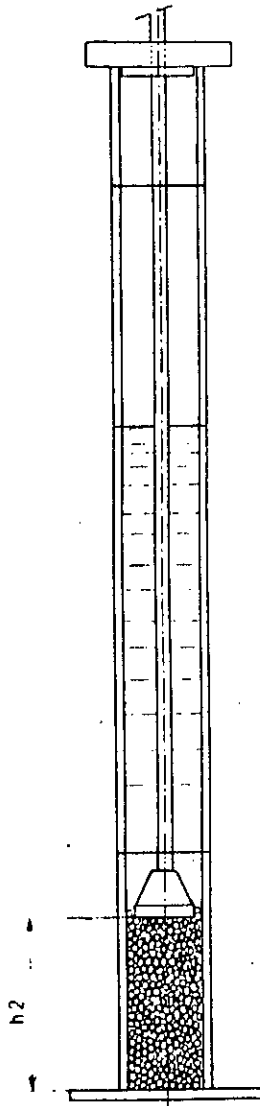
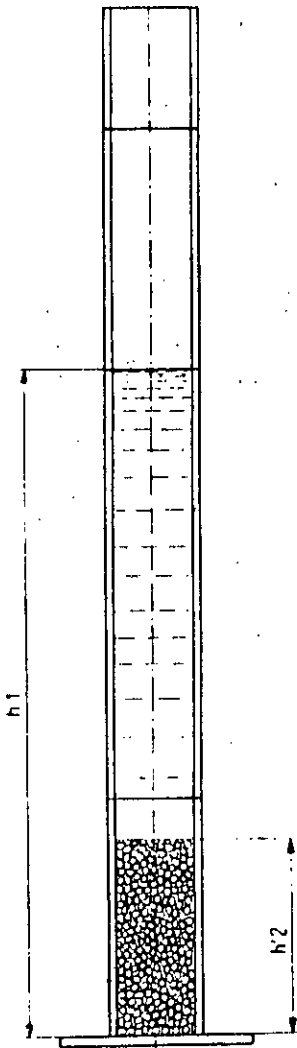


Figure 5 — Entonnoir



LABORATOIRE CENTRALSONATROEQUIVALENT DE SABLEPROVENANCE: *Pistra*

ECH N°

OPERATEUR

DATE

TUBE N°	HAUTEUR DU FLOCCULAT H1 (cm)	HAUTEUR DU SABLE		E.S.V H'2/H1x100	E.S.P H2/H1x100
		A VUE H'2	PISTON H2		
1	12,5		43-34 = 9		72,00
2	11,9		43-34,4 = 8,6		72,26
3	11,5		43-34,7 = 8,3		72,17
<u>MOYENNE</u>					72,14

LABORATOIRE CENTRALSONATROEQUIVALENT DE SABLEPROVENANCE: *Ghardaia*

ECH N°

OPERATEUR

DATE

TUBE N°	HAUTEUR DU FLOCCULAT H1 (cm)	HAUTEUR DU SABLE		E.S.V H'2/H1x100	E.S.P H2/H1x100
		A VUE H'2	PISTON H2 = 43 - H ₁		
1	12.2		43 - 31.8		91.66
2	11.9		43 - 32		92.44
3	12.4		43 - 31.5		92.74
<u>MOYENNE</u>					92.28

ESSAI AU BLEU METHYLENE**Norme; NFP 18 592****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.

BUT DE L'ESSAI:

Il permet de mesurer la capacité des éléments fins d'un sable à absorber du bleu de méthylène.

Le bleu de méthylène étant absorbé préférentiellement par les argiles, les matières organiques et les hydroxydes de fer, cette capacité rend compte globalement de l'activité de surface de ces éléments.

On appelle "*valeur de bleu*" des fines, la quantité de bleu de méthylène absorbée par 100 grammes de fines.

PRINCIPE DE L'ESSAI:

L'essai consiste à mesurer par dosage la capacité d'absorption du matériau.

On injecte successivement des doses élémentaires d'une solution de bleu de méthylène dans le bain aqueux contenant la prise d'essai. On contrôle l'adsorption du bleu après chaque ajout en effectuant une tâche sur un papier filtre.

Pour un simple contrôle de conformité, la quantité de bleu spécifiée est injectée en une seule fois.

APPAREILLAGE:

1°/ Une burette:

capacité: 100 ou 50cm³

graduation: 1/10 ou 1/5cm³

2°/ Papier filtre:

quantitatif et sans cendre (< 0,010);

grammage: 95g/m²;

épaisseur: 0,20cm

vitesse de filtration: 75

rétenion: 8µm.

3°/ Une baguette de verre:

longueur: 300mm;

diamètre: 8mm.

4°/ Un agitateur à ailettes:

tournant entre 400 et 700tr/min.

5°/ Un récipient:

capacité: 500cm³ (en verre ou en plastique);

diamètre 100mm.

6°/ Une balance dont la portée limite est compatible avec la masse de la prise d'essai et qui permet de peser à 1% près.

7°/ Un chronomètre.

8°/ Matériel nécessaire pour effectuer l'échantillonnage du matériau.

9°/ Solution de bleu de méthylène de qualité médicinale à (10,0 ± 0,1)g/l.

10°/ Eau déminéralisée ou distillée.

MODE OPERATOIRE:

A) Mise en place de la prise d'essai:

* La prise d'essai est placée dans un bêcher de 500cm³ avec 200cm³ d'eau déminéralisée.

* L'ensemble est soumis à une agitation d'une minute à 700 tr/mn puis permanente à 400 tr/mn pendant toute la durée de l'essai à l'aide de l'agitateur, les ailettes étant situées à 1 cm au-dessus du fond du récipient.

B) Définition du test de la tache:

* Après chaque injection de bleu, ce test consiste à prélever à l'aide de la baguette de verre une goutte de suspension que l'on dépose sur le papier filtre. La tache ainsi formée se compose d'un dépôt central de matériau, coloré d'un bleu généralement soutenu, entouré d'une zone humide incolore.

* La goutte prélevée doit être telle que le diamètre du dépôt soit compris entre 8 et 12mm.

* Le test est dit positif si, dans la zone humide, apparaît autour du dépôt central une auréole bleu-clair; il est dit négatif si l'auréole est incolore.

C) Dosage:

* A l'aide de la burette, on injecte dans le récipient une dose de 5cm³ de solution de bleu, cette addition étant suivie du test de la tache sur le papier filtre.

* On procède ainsi jusqu'à ce que le test devienne positif. A ce moment, on laisse s'opérer l'adsorption du bleu tout en effectuant des tests de minute en minute, sans rien ajouter.

* Si l'auréole bleu-clair disparaît de la tache avant la cinquième minute, on procède à de nouvelles additions élémentaires de bleu qui sont:

- soit de 5cm^3 comme précédemment si le volume de la solution de bleu déjà introduit est supérieur ou égal à 30cm^3

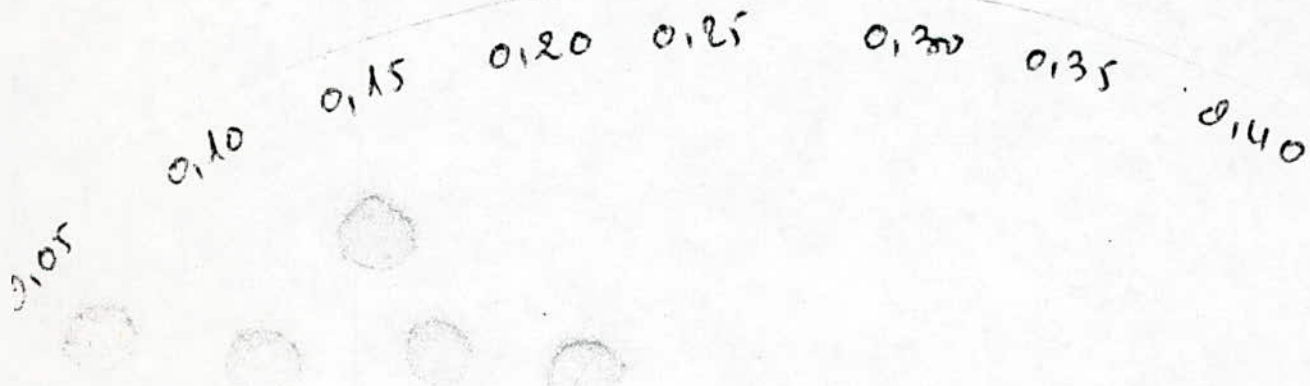
- soit de 2cm^3 si ce volume est inférieur à 30cm^3

* Chaque addition est suivie de tests effectués toujours de minute en minute.

* Renouveler ces opérations jusqu'à ce que le test demeure positif pendant cinq minutes consécutives; le dosage est alors considéré comme terminé.



VB = 0,2 Biskra



VB = 0,105
Ghardaia

ESSAI DE PENETRATION STANDARD A 25°C**Norme; NFT 66 004****DEFINITION:**

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

Elle se mesure surtout pour les bitumes.

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.

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.

APPAREILLAGE:

1°/ Un pénétromètre donnant le 1/10 de millimètre.

2°/ Un récipient standard de forme cylindrique à fond plat de:

35mm de hauteur

55mm de diamètre;

3°/ Une aiguille confectionnée à partir d'une baguette en acier inoxydable, ayant:

50,8mm de longueur

1,00 à 1,02mm de diamètre

4°/ Un bain d'eau maintenu à $(25,0 \pm 0,1)^\circ\text{C}$

MODE OPERATOIRE:

A) 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 10mm 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°C \pm 0,1°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 le bain à une profondeur d'au moins 100mm et doit reposer sur une tablette perforée à au moins 50mm du fond du bain.

B) 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)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 la surface 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)s, le bloquer aussitôt et mesurer la profondeur d'enfoncement en dixièmes de millimètre.

* Effectuer trois mesure en des points de la surface de la prise d'essai distants d'au moins 10mm 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.

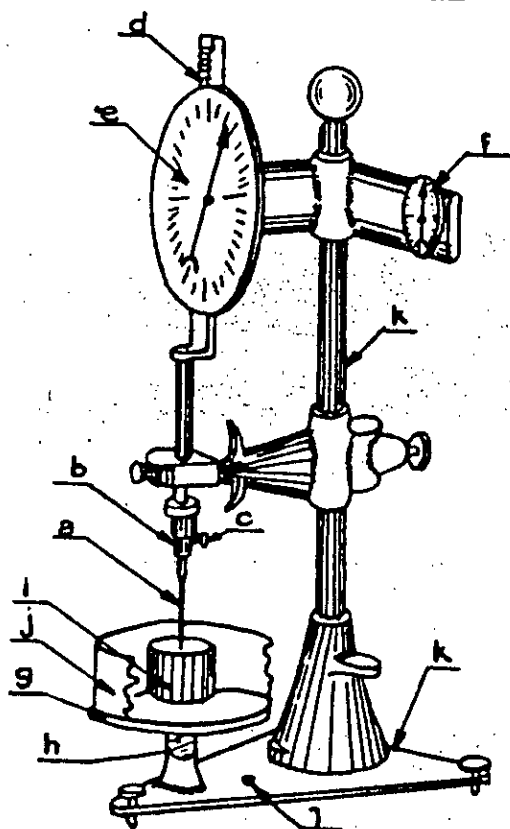
PRECAUTIONS:

- 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.

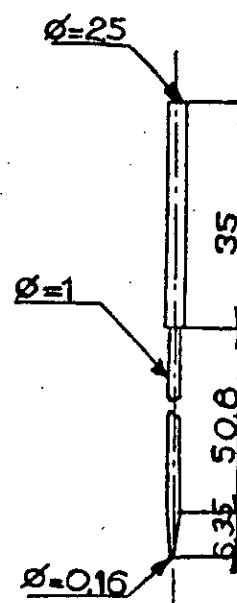
REMARQUE:

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

Ensemble de l'appareil



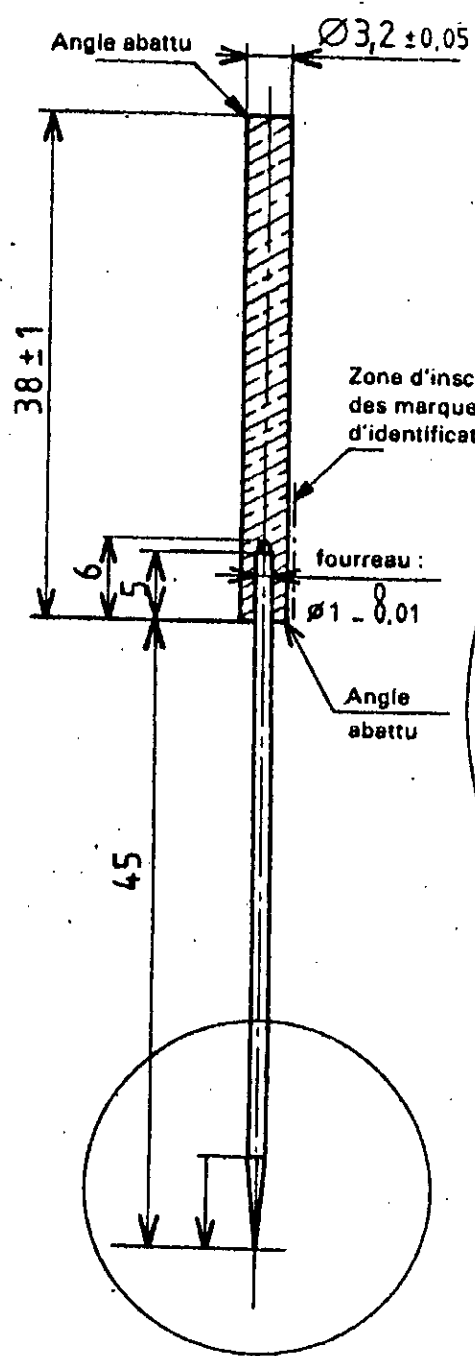
Aiguille



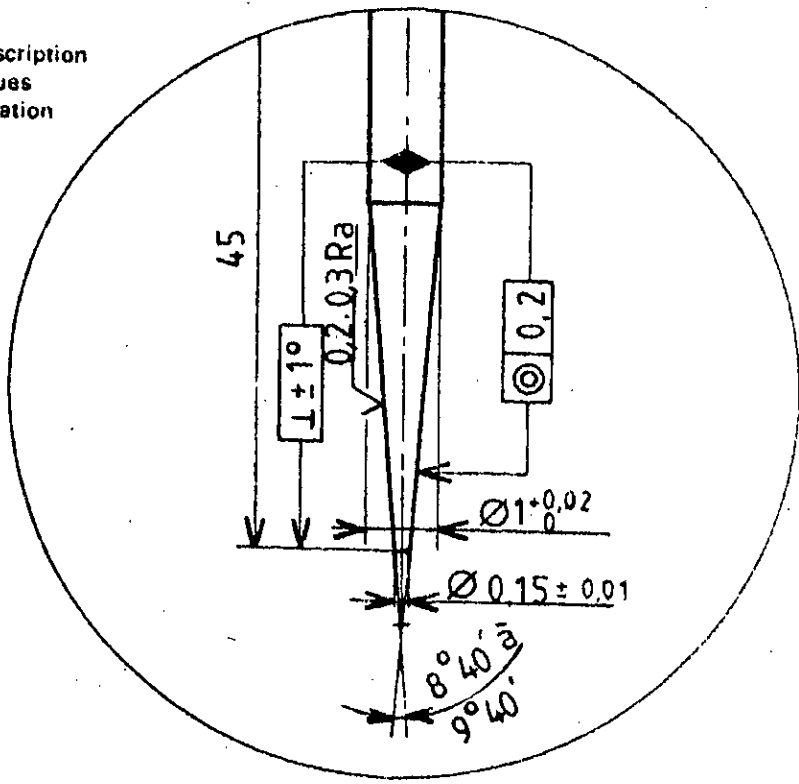
L'aiguille terminée est trempée puis parfaitement polie

FIG. 63. — Pénétrömètre Standard.

- | | |
|--|---------------------------------|
| a) Aiguille ; | g) Tablette porte-échantillon ; |
| b) Dispositif de déclenchement ; | h) Vis à faible pas ; |
| c) Vis de blocage ; | i) Échantillon ; |
| d) Crémaillère ; | j) Bac en laiton ; |
| e) Cadran gradué en 1/10 de millimètre ; | k) Support ; |
| f) Chronomètre ; | l) Niveau d'eau. |



Masse de l'ensemble aiguille et fourreau : $2,5 \text{ g} \pm 0,05 \text{ g}$ à ajuster sur le fourreau par usinage de méplats sur le corps ou perçage de la face supérieure



Alignement axe fourreau/axe aiguille < 1 mm

Matière :
 Aiguille : acier inox, type Z 100 CD 17 ou équivalent, trempe revenu, dureté C54 à 60
 Fourreau : laiton ou acier inox.

Figure 1 — Dimensions de l'aiguille et du fourreau

ESSAI DE POINT DE RAMOLLISSEMENT (BILLE ET ANNEAU)**Norme; NFT 66 004****DEFINITION:**

Le point de ramollissement est la température atteinte par le liant à laquelle un produit bitumineux atteint un certain degré de ramollissement dans des conditions normalisées.

DOMAINE D'APPLICATION:

La présente norme décrit les conditions de détermination, par la méthode "Bille et Anneau", du point de ramollissement des produits bitumineux; cette caractéristique est comprise entre 30°C et 200°C.

BUT DE L'ESSAI:

Le point de ramollissement Bille et Anneau désigné souvent par B.A indique la température atteinte par le liant à essayer lorsqu'une bille d'acier standard traverse un anneau rempli de ce liant et lorsqu'elle atteint le fond d'un vase standardisé, chauffé progressivement et rempli d'eau, dans lequel on a plongé l'anneau et la bille.

PRINCIPE DE L'ESSAI:

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 enveloppée de celui-ci, d'une hauteur déterminée, est prise comme le point de ramollissement du produit étudié.

APPAREILLAGE:

- 1°/ Un récipient en verre pouvant supporter la chaleur n'ayant pas moins de 8,5cm de diamètre
- 2°/ Un thermomètre gravé sur une tige de (-2°C) à (+80°C), la précision étant de 0,2°C, ayant:
 - 380 à 400mm de longueur,
 - 6 à 7mm de diamètre.,
- 3°/ Des anneaux de laiton de:
 - 15,9mm de diamètre intérieur, à 0,25mm près
 - 6,3mm de hauteur;
 - l'épaisseur du cercle est de $(2,4 \pm 0,25)$ mm.

- 4°/ Des billes d'acier de
9,5mm de diamètre,
3,45 à 3,55g de poids.

MODE OPERATOIRE:

A) Préparation des anneaux:

L'échantillon sera complètement fondu, à la plus basse température possible et agité jusqu'à ce qu'il soit homogène et exempt de bulles d'air. Il sera ensuite coulé dans l'anneau de façon qu'il y ait un excès à enlever après refroidissement.

Pour cela, on doit poser l'anneau sur une plaque de laiton amalgamée au préalable ou enduite d'un mélange en parties égales de glycérine et de dextrine, afin d'éviter l'adhérence de la matière bitumineuse.

Après refroidissement, l'excès de matière est coupé proprement avec un couteau légèrement chauffé.

B) On remplit le récipient de verre à une hauteur de 8,25 cm avec de l'eau bouillie, à la température de 5°C, on place sur support:

* Les anneaux contenant l'échantillon, de façon que leur surface inférieure soit à (exactement) 2,5cm du fond du récipient et par la suite que la surface supérieure soit à 5cm de la surface de l'eau.

* Les billes dans des évidements pratiqués sur le support:

On suspend le thermomètre de sorte que l'extrémité inférieure du réservoir soit au niveau de la surface inférieure de l'anneau et distant de 0,63cm sans toucher l'anneau.

On maintient la température de l'eau à 5°C pendant 15mn

Avec une pince convenable, on place alors la bille au centre de l'anneau plein, on chauffe ensuite de telle manière que la température de l'eau s'élève de 5°C/mn.

La température enregistrée par le thermomètre à l'instant où la matière bitumineuse touche le fond du récipient de verre, est celle du point de ramollissement.

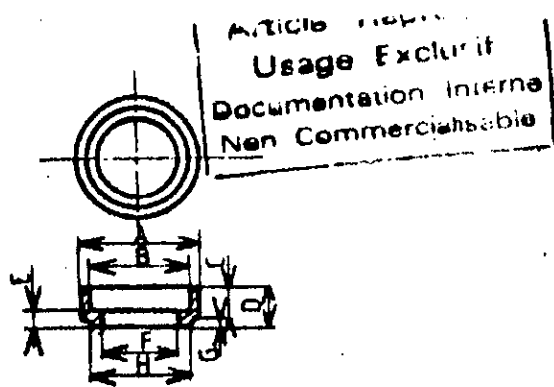
REMARQUES:

Ne pas agiter, on ne fait aucune correction de colonne émergente.

La vitesse de chauffage doit être uniforme et on ne doit pas faire une moyenne pendant la durée de l'essai.

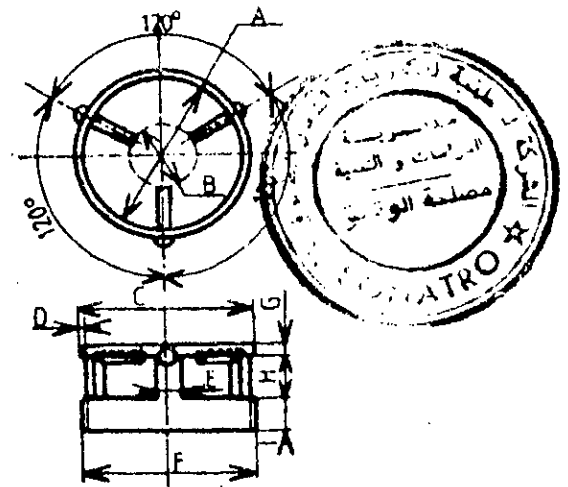
On procède à trois essais qui doivent donner des résultats ne variant pas de plus ou moins 1°C de la moyenne.

Une feuille de papier filtre placée au fond du récipient de verre permet un nettoyage rapide.



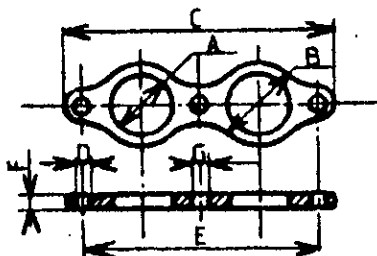
$A = 23,0 \pm 0,1$	$E = 2,8 \pm 0,1$
$B = 19,8 \pm 0,1$	$F = 15,9 \pm 0,1$
$C = 4,4 \pm 0,1$	$G = 2,0$
$D = 6,4 \pm 0,1$	$H = 19,0 \pm 0,1$

Figure 1 — Anneau à épaulement



$A = 23,0$
$B =$ légèrement plus fort que le diamètre de la bille (9,53) pour permettre la centrage.
$C = 24,6$
$D = 0,8$
$E = 3,2$
$F = 23,0$
$G = 1,6$
$H = 4,8$
$I = 4,4$

Figure 2 — Guide de centrage de la bille



$A = 19,1$, ce diamètre doit permettre l'insertion de l'anneau jusqu'à son épaulement.

$B = 24,0$
$C = 76,0$
$D = 5,5$
$E = 67,0$
$F = 1,5$
$G = 5,5$

Figure 3 — Support d'anneau

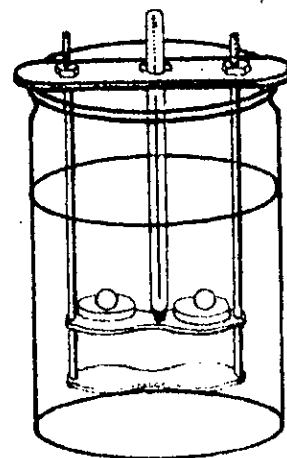


Figure 4 — Ensemble monté

ESSAI DE STABILITE HUBBARD-FIELD

DEFINITION:

On appelle stabilité HUBBARD-FIELD, la charge exprimée en kilogrammes, qu'il faut exercer pour provoquer le fluage (orniérage).

DOMAINE D'APPLICATION:

La méthode Hubbard-Field est d'application plus étendue qu'elle n'est pratiquée au L.C.P.C.

D'une part, il existe deux appareils Hubbard-Field:

* l'un pour les matériaux fins (les éléments ne contenant pas plus de 35% en poids d'éléments retenus au tamis à mailles de 2mm). Cet appareil est utilisé au L.C.P.C. pour les mortiers hydrocarbonés dont les agrégats passent à 5mm passoire.

* l'autre pour des matériaux grossier (les éléments sont supérieures à 16mm et contenant plus de 35% d'éléments retenus au tamis 2mm). Cet appareil n'est pratiquement pas utilisé au L.C.P.C. car pour cette catégorie de matériaux, on exécute les essais de compression-immersion ou de stabilité Marschall.

D'autre part, cette méthode ne s'applique pas seulement pour les mortiers, enrobés, et bétons hydrocarbonés, mais aussi elle s'applique aux sols-bitume, sols-goudrons, sols-émulsions, etc. Elle est particulièrement indiquée pour les enrobés préparés à froid, par exemple, au bitume fluide.

BUT DE L'ESSAI:

L'essai de stabilité Hubbard-Field a été adopté au L.C.P.C. pour l'étude des mortiers hydrocarbonés c'est à dire des matériaux enrobés dont les agrégats passent à la passoire à trous ou au tamis à mailles carrées module 37 (5mm pour la passoire, 4mm pour les 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 composition préalablement établies, permet de faire la choix entre ces formules.

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 brique de 100g et de 50,8mm de diamètre à travers un anneau de diamètre intérieur de 44,5mm. Cette compression est appliquée à la vitesse de 1mm/s sur une brique amenée à la température soit de 18°C, soit de 60°C.

APPAREILLAGE:

1°/ L'appareil Hubbard-Field utilisé au L.C.P.C. est celui prévu pour les éléments fins. Il se compose de:

- * 1 moule à briquettes (avec piston de compression et plaque de base).
- * 1 cylindre d'essais (avec piston de compression, support d'anneau et anneau d'essai).
- * 2 pilons de damage

2°/ Une presse hydraulique développant un effort d'au moins 5 tonnes et permettant une vitesse d'application de 1mm/sec.

3°/ Plusieurs récipients de pesée et de malaxage.

4°/ Cuillères ou grandes spatules,

5°/ Une étuve réglée à $60^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$

6°/ Une armoire réglée à $18^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$,

7°/ Une balance de portée minimum 2kg sensible au décigramme,

8°/ Un thermomètre au $\frac{1}{2}$ degré (T° ambiante à 100°C)

9°/ Une plaque chauffante,

10°/ Un récipient pour le transport dans l'eau à 60°C des briquettes et du matériel d'essai,

11°/ Un bain-marie pour les essais de stabilité à 60°C (par exemple, cuve cylindrique à fond plat de 30cm de diamètre et de 20cm de hauteur; cette cuve est placée au moment de l'essai sur le plateau de la presse).

MODE OPERATOIRE:

Le mode opératoire ci-dessous, est 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 trois essais. Aussi pour un mélange, six éprouvettes sont confectionnées, trois pour la valeur de stabilité à 18°C , trois pour la valeur de stabilité à 60°C .

A) Préparation du mélange et composition des éprouvettes:

* On pèse successivevent dans un récipient d'environ 1000cm^3 de capacité, les quantités nécessaires de chacun des agrégats y compris le filler, calculées pour donner une gâchée totale de 700g (sans le liant).

* Les pesées sont faites au décigramme près (Si les fines sont trop abondantes, il est préférable de peser le filler à part). Puis, le récipient et son contenu sont placés une heure en étuve à 140°C .

- * 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 a été pesé à part, on commence par enrober les agrégats, puis on ajoute le filler.
- * On sort de l'étuve un moule à briquettes, on le place sur la plaque de base, et le moule est enduit intérieurement d'oléate de soude glycéринé puis on le remplit de 100g de mélange chaud.
- * On dame d'abord par 60 coups de pilon n°1 puis par 20 coups de pilon n°2; chaque coups 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 se trouve à l'intérieur du cylindre et l'on place le tout sur le plateau de la presse.
- * On élève rapidement la charge de compression jusqu'à atteindre 4200kg (soit 210kg/cm²) et on maintient 5min à cette valeur. Pour cette compression on peut utiliser une presse CBR équipée d'un anneaodynamométrique de 6 tonnes.
- * On décomprime lentement puis on démoule, en chassant, à l'aide de la presse, la briquette dans un cylindre de diamètre un peu 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).

B) Essai de stabilité:

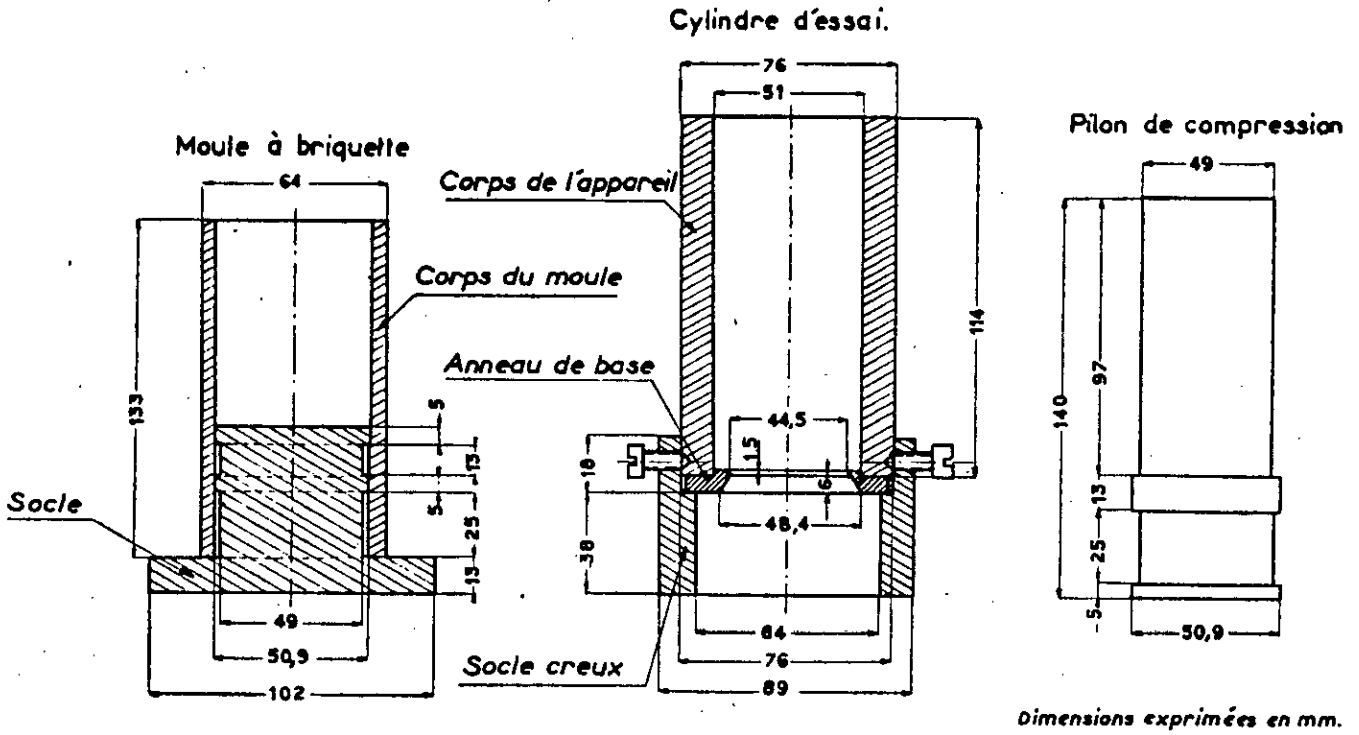
- * Les 6 briquettes sont placées pour 24 heures en armoire spéciale réglée à 18°C.
- * Au bout de ce temps, on place dans une étuve à 60°C pour une durée de 1 heure les 3 briquettes destinées à l'essai, ainsi que le matériel d'essai (cylindre, support d'anneau, anneau d'essai et piston de compression).
- * Pour l'essai à 18°C, on introduit la briquette dans le cylindre d'essai en la plaçant au dessus de l'anneau d'essai préalablement fixe 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 1mm/sec 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. (maximum).
- * Pour l'essai à 60°C, on place le cylindre d'essai entre les plateaux de la presse et on exerce la compression comme précédemment décrit.

C) Présentation des résultats:

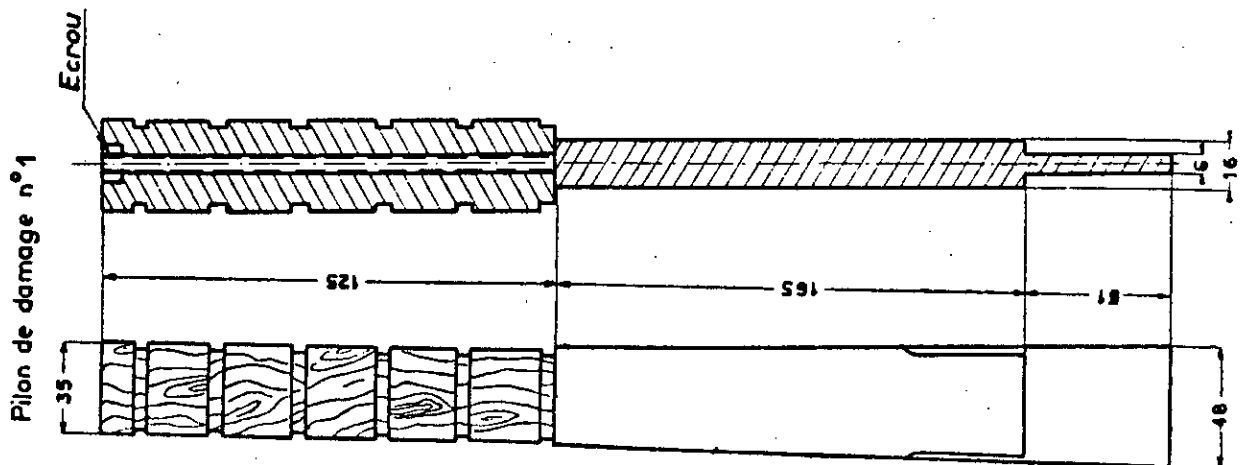
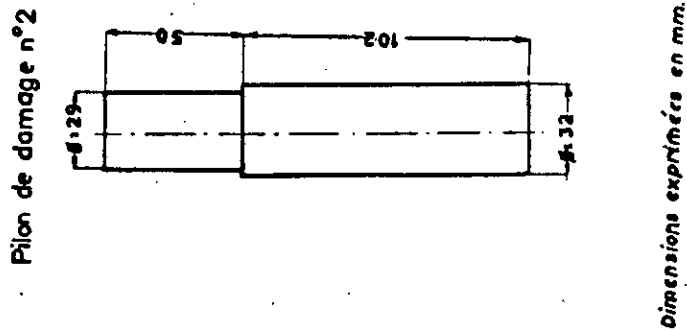
Les résultats sont présentés comme suit: Eprouvettes Hubbard-Field de 100g (compressées à 210kg/cm²)

- * Densité par la détermination des mesures,
- * Stabilité Hubbard-Field à 18°C en kg pour une vitesse de déformation de 1mm/sec 24 heures après confection de l'éprouvette: pour une surface de 20cm² environ; soit en kg/cm².

* Stabilité Hubbard-Field à 18°C en kg pour une vitesse de déformation de 1mm/sec 24 heures après confection de l'éprouvette: pour une surface de 20cm² environ, soit en kg/cm².



Essai de stabilité Hubbard Field des bétons bitumineux préparés à chaud. (Eléments fins).



Essai de stabilité des bétons bitumineux préparés à chaud.
Dessins des pilons réglementaires.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE

Norme; NFP 18 560

DOMAINE D'APPLICATION:

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

DEFINITION:

Granularité: C'est la Distribution dimensionnelle des grains;

Refus sur un tamis: C'est le matériau retenu sur le tamis;

Tamisat (ou passant): C'est le matériau qui passe à travers les mailles d'un tamis.

PRINCIPE DE L'ESSAI:

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de taille décroissante. Les dimensions des mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus ou celles des différents tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau; les pourcentages ainsi obtenus sont soit exploités sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).

APPAREILLAGE:

La liste des passoires et tamis couramment utilisé est:

Modules	50	48	46	44	41	38	34	31	27	24	21	20
Passoires	100	63	40	25	12,5							
Tamis	(80)	(50)	(32)	(20)	(10)	5	2	1	0,4	0,2	0,1	0,08

EXECUTION DE L'ESSAI:

A) 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'ils 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.

En général la limite inférieure de cette formule est suffisante.

B) Tamisage par voie sèche:

1°/ Le matériau préalablement échantillonné, est séché dans une étuve à 105°C.

2°/ 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 continue l'eau qui s'écoule par le bec, cette eau se déverse sur un tamis de 0,08mm destiné à retenir les éléments supérieurs qui auraient pu être entraînés.

3°/ On poursuit ce procédé jusqu'à ce que l'eau contenue dans le récipient devienne claire.

4°/ On laisse le matériau à l'étuve jusqu'à dessiccation complète. Après dessiccation complète du matériau lavé, on procède au tamisage par voie sèche soit manuellement, soit au vibro-tamis.

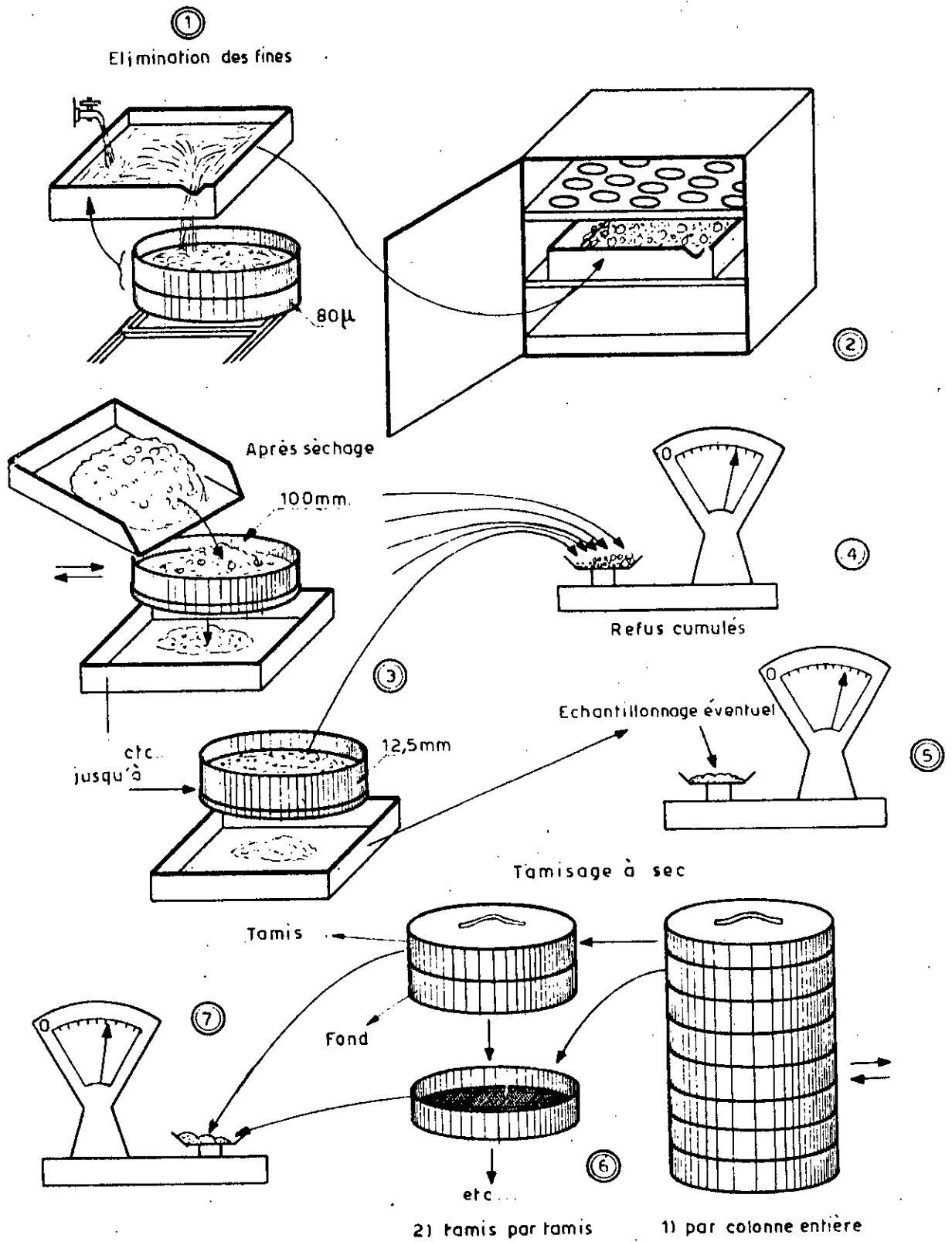


Fig. 8. — Analyse granulométrique par voie sèche.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] AHMED-CHAOUCH. A: "Etude des caractéristiques du béton de sable de dunes" Thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, 1993
- [2] ARRAMBIDE. J et DURIEZ. M: "Liants hydrocarbonés, mortiers et bétons bitumineux" Edition DUNOD, 1954.
- [3] ARRAMBIDE. J et DURIEZ. M: "Liants routiers et enrobés, matériaux de protection, plâtre - agglomérés - bois" Edition DUNOD, 1959.
- [4] ARRAMBIDE. J et DURIEZ. M: "Nouveau traité de matériaux de constructions" Tomes 2 et 3, Edition DUNOD, 1962.
- [5] BAHMED BASLIMANE. M: "Principaux aspects de la technique routière saharienne" 2^{ème} Congrès Maghrebien de la Route. Edition, Association Routière Maghrébine, 1994.
- [6] BENMALEK. M. L: "Contribution à l'étude des bétons de sables dunaires pour éléments de structures" Thèse de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, 1992;
- [7] BENOUALI. Y et CHOUAKI. K: "Sable bitume en couche de roulement" Projet de Fin d'Etude, USTHB, 1996.
- [8] CHAUVIN. J. J: "Les sables guide d'utilisation routière". Comité de recherche des matériaux locaux . Edition, ISTD 1987.
- [9] HADDADI. S: "Contribution à l'étude du comportement des matériaux traités aux liants hydrocarbonés: influence des paramètres de composition" Thèse de Magister USTHB 1995.
- [10] HADDADI. S et LARADI. N: "Etude de sable bitume en couche de roulement" 2^{ème} congrès Algérien de la route, Edition, Association Routière Maghrébine, 1996.
- [11] HANK. E et SENHADJI. F: "Utilisation du sable bitume en couche de roulement" 2^{ème} congrès Algérien de la route, Edition, Association Routière Maghrébine, 1996.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[12] JEUFFROY. G: "Conception et construction des chaussées" Tome 2: Les matériaux, les matériels, les techniques d'exécution des travaux" Edition EYROLLES, 1983.

[13] NORMES FRANÇAISES Edition, Association Française de Normalisation (AFNOR) (1976 à 1986)

[14] OLIVIER. E: "Technologie des matériaux de construction" Tomes 1 et 2 Edition entreprise moderne d'édition, 1978.

[15] TOUATI TLIBA. M. B.: "Particularités de dimensionnement des chaussées dans le contexte saharien" 2^{ème} Congrès Maghrebin de la Route, Edition, Association Routière Maghrébine, 1994.