

Ecole Polytechnique
de Thies.

Departement de genie civil
Projet de fin d'etudes

Sujet: Proprietes des bitumes
utilisés au Senegal.

Auteur: Cheikh Amadou Bamba
Chioye.

Directeur de projet: Andre Paris

Date: 16 Mai 1983

A mon regretté grand-père
El Hadj Kbakhté Cgaye
A mes regrettés amis
Malick Mbanoumbé Sieng
Papa Sidy Bengeloun
A tous mes camarades.

La vie nous séduit. Elle nous permet de
grands plaisirs dans la possession de la
gloire. Mais à peine commence t-on à vivre
qu'il faut mourir

La Bruyère.

Remerciements.

i

Nous tenons à remercier les personnes qui nous ont apporté leur concours dans l'élaboration de ce projet.

— M^r André Paris

— M^r Franklin

— Elève - Ingénieur Yves Francis Blabib Konaté.

Sommaire.

Nous nous sommes proposés d'étudier les propriétés des bitumes utilisés au Sénégal. Après un inventaire des matériaux, des fournisseurs et des prix, nous nous sommes arrêtés sur leurs propriétés à l'aide d'essais de contrôle en laboratoire (pénétration, viscosité, point éclair et point de feu, point de ramollissement, densité, ductilité) pour montrer dans quelles voies les recherches actuelles s'orientent pour une meilleure connaissance des bitumes. Ces tests nous ont permis de vérifier la conformité de ces liants hydrocarbonés avec les normes établies. On a essayé de montrer l'intérêt de l'utilisation des bitumes dans le domaine de l'hydraulique et surtout dans le domaine routier. De l'ensemble de ces propriétés, il résulte que les bitumes permettent de recourir à des procédés originaux, souvent beaucoup plus favorables que les techniques classiques. Les procédures et méthodes employées sont celles prescrites par la norme ASTM.

Cable des matieres

	Page
<u>Introduction</u>	1
<u>Chapitre premier: Generalite</u>	2
A - Historique	2
B - Origine des bitumes	2
a) bitumes naturels	4
b) bitume de petrole	4
<u>Chapitre 2: Composition physique et menutention</u>	7
A - Structure physico-chimique	7
B - Production des bitumes	8
a) reception	8
b) chauffage	9
c) securite'	11
d) controle	12
e) livraison	12
f) prix	13
<u>Chapitre 3: Essais de consistence.</u>	14
A - Penetration	14
a) resume' de la methode	14
b) appareils	15
c) rapport des resultats	16

B - Point de ramollissement	17
a) résumé de la méthode	17
b) appareils	17
c) rapport des résultats	18
d) précision	18
e) tableau de comparaison	19
C - Analyse	20
<u>Chapitre 4: Essais de contrôle</u>	28
A - Densité relative	28
a) appareils	28
b) matériels	28
c) résultats	29
d) précision	32
B - Point éclair et point de feu	33
a) résumé de la méthode	33
b) appareil	33
c) précision	35
d) tableau des résultats	35
C - Ductilité	
a) appareil	36
b) tableau des résultats	36

D - Viscosité cinématique	37
a) résumé de la méthode	37
b) appareil	37
c) précision	38
d) calcul	38
e) résultats	38
E - Analyse	39
<u>Conclusion</u>	44
<u>Recommandations</u>	44
<u>Appendices</u>	45
A1. Penetration	45
A2. Point de ramollissement	46
A3. Point éclair et point de feu	47
A4. Densité	48
A5. Suctilité	49
A6. Viscosité cinématique	50
<u>Bibliographie</u>	51

Introduction.

Le bitume, connu depuis la haute antiquité sous forme naturelle, provient de nos jours presque exclusivement de la distillation des pétroles bruts.

Imperméables, durables, cohérents, excellents liants se comportant selon les conditions de température et de charge comme des matériaux plastiques ou élastiques, les bitumes possèdent évidemment une aptitude exceptionnelle à résoudre de nombreux problèmes routiers, hydrauliques, pour ne citer que ceux-là.

Ils permettent le revêtement des chaussées, la construction sans joint d'ouvrage résistant à l'érosion et aux chocs, souples quoique monolithiques, s'adaptant aux tassements et aux affouillements de leurs supports, étanches ou perméables. La rapidité de leur prise, qui pour les bitumes ne s'effectue que par simple refroidissement, constitue souvent un avantage important. Enfin l'entretien et la réparation des structures bitumineuses sont en général, relativement aisés.

L'importance des investissements dans l'utilisation des bitumes, surtout dans le domaine routier, nécessite des études de laboratoire pour analyser leur structure physico-chimique et prévoir leur comportement.

Chapitre premier: Generalités.

A) Historique.

Les liants hydrocarbonés ne sont certes pas une création de la civilisation moderne: leur premier usage remonte à la Mésopotamie (3800 avant J.C.) comme liant pour la construction de réservoirs, canaux et piscines. Les Égyptiens utilisaient les asphaltes pour les momifications. Leur premier usage routier remonte au milieu du XIX^e siècle (en utilisant des roches asphaltiques), dans la région Rhône - Alpes. Cependant depuis cette époque, la qualité de ces liants a considérablement évolué; la connaissance des principales caractéristiques de leur comportement s'est sans cesse accrue.

B) Origine des bitumes.

Le bitume est un corps noir ou brun, solide ou semi-solide à température ambiante, constitué de molécules hydrocarbonées et qui, soit existe dans la nature, soit résulte de la distillation fractionnée d'un pétrole brut.

En fait dans les deux cas, il y'a eu distillation fractionnée d'un pétrole brut, dans le premier (bitume «naturel»), cette distillation s'est accomplie naturelle-

ment au cours des temps géologiques, dans le deuxième cas, cette distillation est effectuée volontairement par l'homme, beaucoup plus rapidement dans les raffineries. Il convient de bien différencier les bitumes des goudrons. Le goudron n'existe pas à l'état naturel car il est le produit d'une réaction chimique. C'est le résultat d'une distillation destructive ou pyrolyse, d'un certain nombre de substances organiques (houille, bois, sucre, coton). C'est un produit noir, visqueux, de composition très complexe fonction d'ailleurs des conditions de la pyrolyse (appareillage, température).

Du point de vue de leur utilisation routière.

— Les goudrons sont plus susceptibles que les bitumes aux variations de température. Leur viscosité varie plus vite. La viscosité d'un cut-back double lorsque la température s'abaisse de 5°C . Pour la même variation de température la viscosité d'un goudron est multipliée par $5/2$.

— Les bitumes vieillissent moins vite que les goudrons

— L'adhésivité du goudron pour les granulats secs ou humides est meilleure que celle des bitumes. La stabilité est également meilleure.

a) Bitumes naturels.

Les bitumes naturels sont en fait des pétroles bruts, complètement dépourvus de fractions légères et contenant un certain pourcentage de matières minérales. On peut donner comme exemple le « bitume de Trinidad » provenant d'un lac de bitume situé dans l'île de la Trinidad (Antilles britanniques). Le produit existe sous forme d'une émulsion contenant environ 40% de bitume, 30% d'eau et 30% de matières minérales.

De même, les bitumes existent dans la nature sous forme de roches imprégnées. On leur attribue en France le nom d'asphalte.

b) Bitumes de pétrole.

Le bitume est la fraction la plus lourde du pétrole brut, constituée des molécules hydrocarbonées les plus longues. La composition schématique d'un pétrole brut peut être ainsi représentée :

GAZ
carburants
FUELS
bitume

Le pourcentage de bitume peut varier dans de très grandes proportions.

— Il peut être pratiquement nul, ou tout au moins suffisamment faible pour que l'extraction n'en soit pas industriellement rentable (cas des pétroles sahariens).

— Il peut être très élevé

— pratiquement 100% dans les bitumes naturels

— de l'ordre de 70 à 80% dans certains pétroles

bruts du Venezuela

En fait on distingue dans les pétroles bruts:

— les bruts asphaltiques, dans lesquels les fractions lourdes sont effectivement aptes à l'obtention de bitumes routiers (cas des bruts du Venezuela).

— les bruts paraffiniques, dans lesquels les fractions lourdes sont essentiellement constituées de paraffine ou de cire.

— les bruts semi-paraffiniques ou asphaltoparaffiniques qui peuvent également être utilisés pour la fabrication de bitumes routiers, moyennant certains traitements complémentaires.

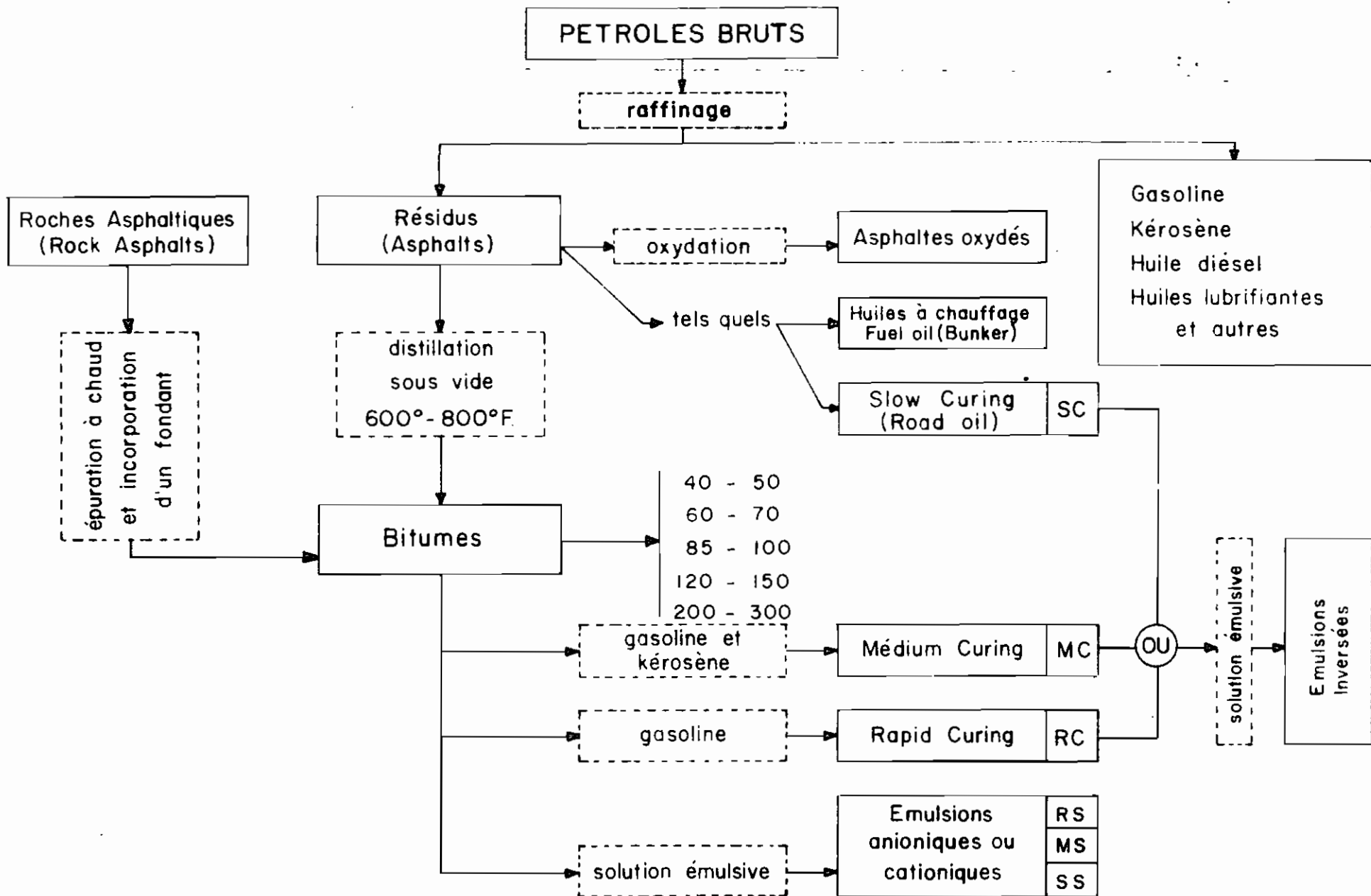


Fig I1

ORIGINE DES LIANTS BITUMINEUX

Chapitre 2: Composition physique et Manutention

A) Structure physico-chimique:

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

— aliphatique

— naphthenique

— aromatique.

Le groupe olefinique est rencontré dans certains bitumes craqués.

L'utilisation comme solvant sélectif, d'un hydrocarbure léger en grand excès permet de fractionner un bitume en deux parties

— la partie dissoute - les maltènes - a l'aspect d'une huile visqueuse de couleur foncée;

— la fraction précipitée - les asphaltènes - est constituée par des corps de poids moléculaire très élevé se présentant sous la forme d'une substance solide et noire, avec des propriétés colloïdales très marquées.

Il n'y a pas de discontinuité entre maltène et asphaltène, le fractionnement obtenu dépendant du solvant employé (ether de pétrole, heptane normale).

Les maltènes se comportent comme un fluide parfaitement visqueux (fluide newtonien).

Les asphaltènes ont tendance à absorber la fraction aromatique la plus lourde des maltènes et formant ainsi des corpuscules complexes - les micelles - qui sont en suspension dans une phase continue formée par les maltènes de bas poids moléculaires.

Si les maltènes contiennent suffisamment d'aromatiques pour que les forces d'absorption des asphaltènes soient saturées, les micelles sont complètement mobiles au milieu de la phase dispersante: elles sont peptisées. La solution colloïdale est alors à l'état de sol.

S'il n'y a pas suffisamment d'aromatiques, les micelles s'attirent mutuellement, deviennent moins mobiles et forment un réseau au milieu de la phase intermicellaire.

Cette structure, qui confère au bitume des propriétés élastiques, est désignée sous le nom de gel.

B) Production des bitumes:

a) Reception:

Le bitume est importé des pays d'Europe et d'Amérique du Sud, principalement du Venezuela. La réception se fait par tanker. Le déchargement Tanker-terminal se fait à l'aide de flexibles spéciaux. Deux à trois flexibles constituent la ligne tanker qui amène le bitume au bac de réception. La ligne tanker bitume est rechauffée

à l'aide de deux cornières à l'intérieur de laquelle circule de la vapeur produite par une chaudière. Le bitume étant un produit lourd, la réception se fait par le haut du bac. La conservation se fait dans le bac à serpentin réchauffé à 100°

b) chauffage:

Les bitumes étant mauvais conducteurs de la chaleur et beaucoup plus visqueux que la plupart des fluides usuels, les températures ne s'égalisent dans la masse que très lentement.

La meilleure méthode de chauffage consiste à employer une surface de chauffe aussi grande que possible et maintenue à une température ne dépassant pas beaucoup celle que l'on veut obtenir. L'utilisation d'une surface de chauffe à température trop élevée risque de provoquer la formation de coke sous forme d'une croûte qui rendra plus difficiles les échanges thermiques.

Les meilleurs moyens de chauffage sont les circuits à huile, à vapeur ou les résistances électriques.

L'huile permet d'atteindre, sans pression dans les organes de chauffe, des températures relativement élevées (jusqu'à 250°C pour les bitumes soufflés les plus durs)

La vapeur par contre ne convient que si la température n'est pas trop élevée (130°C).

L'électricité est utilisée pour fondre le bitume et le porter à la température d'utilisation. Les résistances doivent être correctement réparties pour éviter les surchauffes locales.

Pour réaliser un chauffage économique, il est indispensable de calorifier tous les éléments de l'installation. Si le stockage doit être prolongé, il vaut mieux maintenir la température à une valeur aussi basse que possible, mais un peu au-dessus de la limite de pompabilité. Un stockage de longue durée, à une température trop élevée, pourrait en effet amener un changement des caractéristiques du produit.

Pour porter le bitume de la température de stockage à la température d'utilisation, on opère en général par chauffage rapide. On peut donc, dans ce cas, sans crainte de surchauffe, prévoir une source de chaleur à température d'autant plus élevée que le temps de contact doit être plus court. Si le débit est faible, plutôt que de laisser la même quantité de bitume en contact avec le chauffeurr, il est préférable de faire circuler une quantité de produit assez

importante en recyclant, dans le réservoir de stockage, la fraction non utilisée.

Les pentes des vannes de canalisation doivent avoir telles que le bitume puisse s'égoutter après arrêt de la circulation.

c) Securite':

Certaines precautions doivent accompagner la manutention des cut-backs et des bitumes.

— Il ne doit jamais y avoir de contacts possibles entre les vapeurs de bitume ou de cut-back et une flamme nue. De ce fait, on ne doit jamais regarder à l'intérieur d'un bac ou d'une cuve en s'éclairant avec une flamme.

— Les bitumes et cut-backs pouvant s'enflammer au dessus d'une certaine temperature, les installations de chauffage doivent être conçues de manière à ce qu'aucun élément ne soit à une temperature trop élevée.

Les éléments chauffants doivent toujours être immergés, même lorsque le niveau est bas: ils doivent donc être aménagés au fond des réservoirs ou pouvoir être mis hors de circuit dans certaines de leurs sections.

En particulier, une citerne mobile doit toujours être placée sur un terrain horizontal pour que les tubes de chauffage ne risquent pas d'être découverts.

d) contrôles:

Il est indispensable de contrôler la température du bitume en de nombreux points et au minimum au stockage, au point de chauffage et à l'utilisation.

e) livraison:

Le bitume est livré chaud par camion-citerne. Ces derniers servent à la fois de stockage et de centre de reheating pour porter le liant à la température désirée.

Le tableau suivant montre les températures usuelles pour les liants pour leur compatibilité.

	Température de pompage (°C)
Bitume 60-70	110 - 115
Cut-back 400-600	70
Cut-back 150-250	65-70

F) Prix:

Le prix des liants hydrocarbonés est fixé par le service des mines qui relève du ministère du développement industriel.

Le prix varie, dépendant du fait que le client soit producteur ou non-producteur.

Les clients producteurs comme la roles ont leurs propres unités de transformation pour l'utilisation des bitumes sous d'autres formes.

Nous présentons les prix moyens au 1^{er} février 1983.

Il faut souligner la fluctuation de ces prix qui varient plusieurs fois par an et qui dépendent de beaucoup de facteurs (prix du pétrole, transport etc.).

Qualité	Prix par tonne métrique F. CFA
60/70	251.058
0/1	312 862
150/250	277 224
400/600	272 878

Chap 3: Essais de consistance

Les essais en laboratoire pour déterminer la conformité des bitumes avec leurs spécifications seront brièvement décrits.

Signalons que les procédures suivant la norme ASTM seront présentées en annexe.

A) Penetration (ASTM D5)

La caractéristique désigné sous le nom de pénétration représente exprimée en dixième de millimètres, la pénétration au bout d'un temps de 5 secondes d'une aiguille chargée d'un poids de 100 g dans un échantillon de bitume. La pénétration est mesurée à 25°C .

a) résumé de la méthode:

L'échantillon est chauffé et refroidi sous des conditions contrôlées. La pénétration est mesurée à l'aide d'un pénétromètre muni d'une aiguille normalisée qui est appliquée sur l'échantillon sous ces conditions spécifiques.

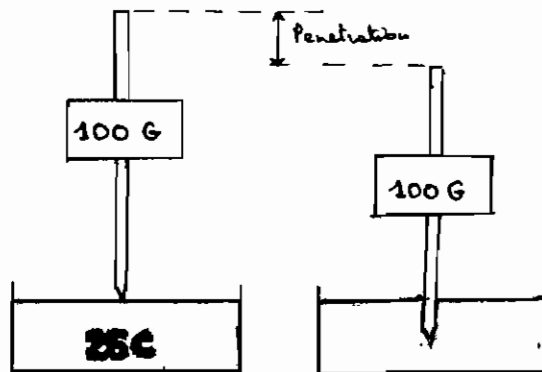


Fig. 3.1

Schema de l'essai

b) appareils

— Appareil à pénétration.

— aiguille en acier inoxydable durci et trempé possédant les dimensions suivantes

longueur environ 50 mm

diamètre $1 \pm 0,02$ mm

— Contenant en métal de forme cylindrique ayant un fond plat.

— Bain d'une capacité minimale de 10 litres et capable de maintenir une température de $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$. Le bain a une tablette perforée à au moins 50 mm du fond et immergée à au moins 100 mm de la surface de l'eau.

— Minuterie possédant une précision de 0,1 seconde

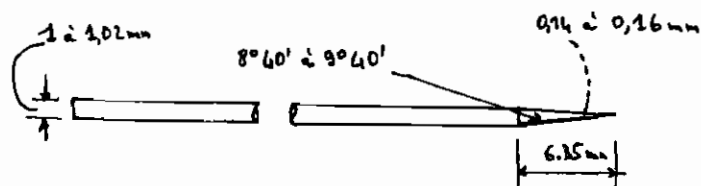
— Thermomètre conformément à la norme ASTM E1

+ ASTM 17F ou 17C

+ graduation $19 \pm 27^\circ\text{C}$

+ immersion 150 ± 15 mm

Schema de l'aiguille: Fig 3-2



c) rapport des résultats. (Bitume 60-70)

1 ^{ère} lecture	61
2 ^{ème} lecture	60
3 ^{ème} lecture	61,5
4 ^{ème} lecture	61
5 ^{ème} lecture	61

On prend la moyenne des pénétrations dont les valeurs ne diffèrent pas plus de 4 des différences maximales entre la plus grande et la plus petite détermination des pénétrations.

$$\text{pénétration} = \frac{61 + 60 + 61,5 + 61 + 61}{5} = 60,9$$

Calcul de l'écart-type

$$\sigma = 0,5$$

On voit que le bitume est conforme à la norme ASTM qui stipule que la pénétration doit être entre 60 à 70 dixième de millimètres. La valeur faible de l'écart type montre qu'on a une bonne précision dans les résultats de l'essai.

B) Point de ramollissement (ASTM D36)

Le point de ramollissement est la température à laquelle une portion de l'échantillon retenu dans un anneau horizontal est amené vers le bas, à une distance de 25.4 mm, sous le poids d'une bille d'acier lorsque l'échantillon est chauffé dans un contenant standard d'eau ou de glycerine à un taux indiqué.

a) résumé de la méthode.

Le point de ramollissement ne s'obtient pas en général avec ces types de matériaux à une température définie. Si on a une augmentation graduelle de la température, ces matériaux se modifient graduellement et imperceptiblement de matériaux fragiles et excessivement épais et se versant lentement à des matériaux plus mous et moins visqueux. Pour cette raison, le point de ramollissement doit être déterminé par une méthode fixe, arbitraire et bien définie si les résultats doivent être comparables.

b) Appareils:

- Anneau en laiton
- bille en acier pesant 3,53 g avec un diamètre de 9,53 mm
- Guide pour centrer la bille en laiton
- contenant en verre avec une profondeur minimale de 120 mm et pouvant être chauffé.

— Support pour anneau

— Thermomètre ASTM pour point de ramollissement

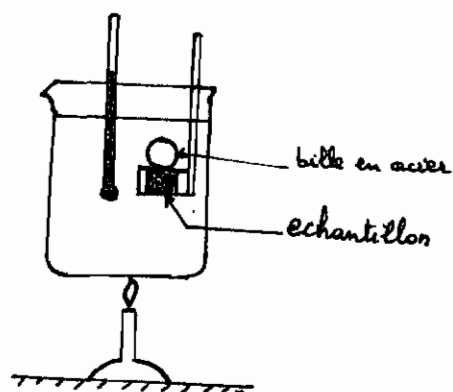


Fig. 3.3. Essai Bille - Anneau

c) Rapport des résultats.

1 ^{ère} lecture	47°C
2 ^{ème} lecture	46°C
3 ^{ème} lecture	46°C
4 ^{ème} lecture	47°C

d) Precision:

— reproductibilité: conformément aux normes de l'ASTM concernant les produits pétroliers et les lubrifiants, les résultats en duplicata pour les points de ramollissement d'un même opérateur seront considérés comme douteux s'ils diffèrent

de plus de $1,1 C$. La deviation standard est estimée à $0,73$.

$$\begin{aligned} \text{point de ramollissement} &= \frac{47 + 46 + 46 + 47}{4} \\ &= 46,5 C \end{aligned}$$

$$\text{ecart type} = 0,5$$

Avec cette valeur faible de l'écart type on peut accepter comme point de ramollissement la valeur de $46,5 C$.

e) Tableau de comparaison:

expérience en laboratoire	Norme
46,5°C	43°C à 56°C

On constate que le bitume 60-70 est conforme à la norme en ce qui concerne le point de ramollissement.

C) Analyse:

L'essai de pénétration à l'aiguille et l'essai de ramollissement Bille et anneau sont des essais de consistance qui servent à repérer la consistance des bitumes à une température donnée ou à noter la température à laquelle ils ont une consistance donnée.

En effet du fait de la complexité de leur composition chimique, les bitumes n'ont pas de point de fusion déterminé et lorsque leur température croît, ils passent continuellement de l'état solide à l'état liquide en traversant des états pâteux de forte viscosité. De même si on les refroidit, il se durcit jusqu'à devenir aux températures basses ou très basses, un solide très dur et fragile. Ils se comportent comme des corps visco-élastiques dans la gamme des températures usuelles d'emploi.

Deux domaines de température sont particulièrement intéressants à regarder

— Celui des températures de service

— Celui des températures de mise en œuvre.

Si on trace sur un graphique l'évolution de la consistance en fonction de la température, il serait souhaitable de disposer d'une courbe aussi voisine que possible de l'horizontale

dans la zone des températures de service, mais qui, après cette température évoluerait aussi rapidement que possible de façon à atteindre, pour une température aussi peu élevée que possible, les conditions permettant la mise en œuvre. Les spécifications s'efforcent de limiter la pente dans la partie des températures de service, en introduisant deux créneaux

— l'un vertical, résultant de l'essai de pénétrabilité à 25°C , et défini par un certain repérage de la consistance (enfouissement d'une aiguille dans des conditions bien définies)

— l'autre, horizontal, résultant de l'essai de ramollissement bille et anneau - température à laquelle est atteinte une certaine consistance type.

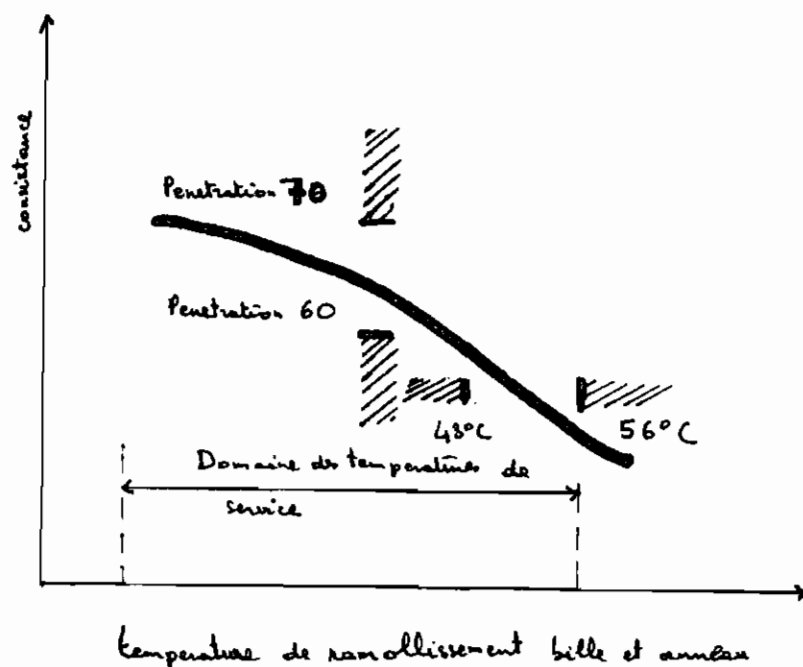


Fig 3-4.

Pour des nécessités industrielles, chacun de ces creneaux doit être relativement large, ainsi des courbes de pente relativement différentes peuvent y passer.

C'est pourquoi, dans certaines spécifications, on prévoit de fixer directement la pente à l'aide d'un indice de susceptibilité.

En effet pour la plupart de bitumes, la valeur de la pénétration déterminée par extrapolation à la température «bille et anneau» est voisine de 800 dixième de millimètres.

Cette remarque permet de construire très simplement la droite représentant la variation de la pénétration en fonction de la température au moyen d'une seule valeur de la pénétration mesurée à une température quelconque et du point de ramollissement «bille et anneau». La pente de cette droite caractérise la susceptibilité à la température du bitume considéré.

On calcule la susceptibilité h par les deux essais de pénétration et de température de ramollissement «bille et anneau»

$$h = \frac{\log 800 - \log P_{25}}{T_{BA} - 25}$$

P_{25} = pénétration à 25°C

T_{BA} : température Bille & Anneau

Il est courant d'employer un indice de pénétration «IP» pour caractériser la susceptibilité du bitume.

$$h = \frac{20 - IP}{10 + IP} \cdot \frac{1}{50}$$

Plus la valeur de «IP» est élevée moins le bitume est susceptible. Les bitumes très susceptibles, comme les bitumes de cracking, ont un indice de pénétration nettement négatif. Les bitumes de susceptibilité moyenne (bitumes routiers) ont un indice de pénétration voisin de zéro. Les bitumes peu susceptibles (bitumes soufflés), ont des indices de pénétration fortement positifs. En général les valeurs sont comprises entre -3 et +8.

Exemple: bitume 60-70

$$\begin{aligned} h &= \frac{\log 800 - \log 60,9}{46,5 - 25} \\ &= 0,05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IP &= \frac{20 - 500h}{1 + 50h} = \\ &= 11,4 - 1,4 \end{aligned}$$

On a préféré, pour une raison de commodité, utiliser un abaque à points alignés sur lequel on a retenu, pour origine des échelles, la valeur trouvée pour un bitume routier courant.

Il a été introduit par Pfeiffer et Van Dormaal pour chercher rapidement l'indice de pénétration IP

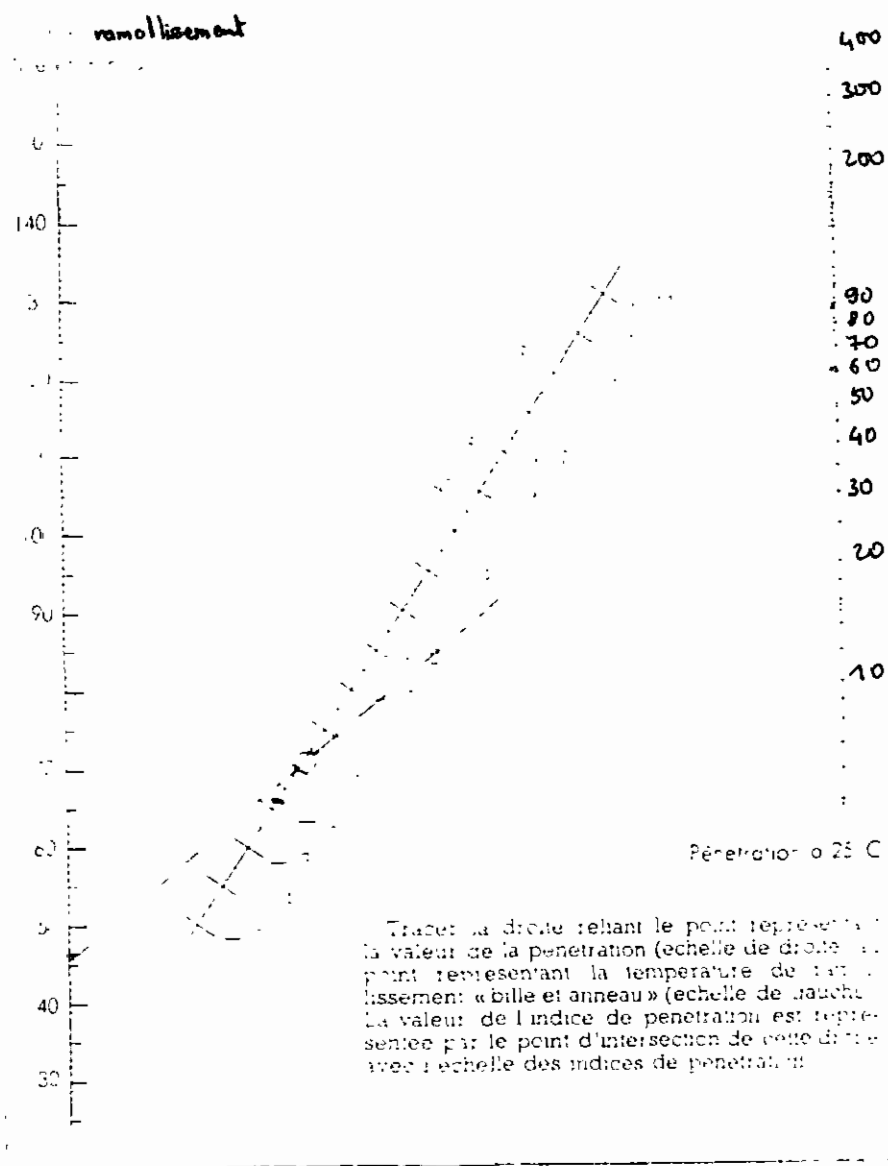


Fig 35 — Indice de pénétration.

exemple: Bitume 60-70

pénétration à 25°C = 60,9

Température de ramollissement: 46,5°C

La droite reliant le point 60,9 de l'échelle de droite au point 46,5°C de l'échelle de gauche coupe l'échelle des indices de pénétration en un point

On lit :

$$IP = -1,7$$

On note une légère différence entre la valeur donnée par l'abaque et celle calculée.

On peut dire que notre échantillon a une susceptibilité moyenne.

En ce qui concerne les propriétés mécaniques des bitumes, C. Van der Poel étendant la notion de module de Young a étudié dans le cas des bitumes, les variations des σ en fonction du rapport de l'effort appliqué à la déformation résultante.

Il l'appelle « module de rigidité longitudinale » ou plus simplement, module de rigidité: $S_b = \frac{\sigma}{\epsilon}$

C. Van der Poel a constaté que le module de rigidité longitudinale dépend de trois grandeurs

— La différence entre la température du bitume et la température de ramollissement Bille et Anneau.

— L'indice de pénétration du bitume

— la durée d'application de l'effort

Il a fait une synthèse des résultats des essais effectués sur des bitumes de nuances très différentes en tenant compte du fait expérimental suivant. Les courbes $S = f(t)$ de tous les bitumes deviennent des courbes de translation qu'on peut faire coïncider, à condition de faire subir une affinité convenable aux échelles des temps. Il a vérifié que tous les bitumes de même indice de pénétration avaient pour une même durée de chargement la même variation de module de rigidité en fonction de la température ou plus exactement en fonction de la différence entre la température de l'essai et la température Bille et Anneau du bitume en question.

Les constatations ont été traduites par un abaque. Il ne prétend pas indiquer le comportement d'un bitume particulier, mais seulement le comportement moyen d'une variété donnée en fonction de sa dureté et de son indice de pénétration. La précision est à peu près d'un facteur 2 pour le module de rigidité, ce qui correspond à une différence de température de 2 à 3°C. Cette précision est en général bien suffisante pour les besoins des ingénieurs.

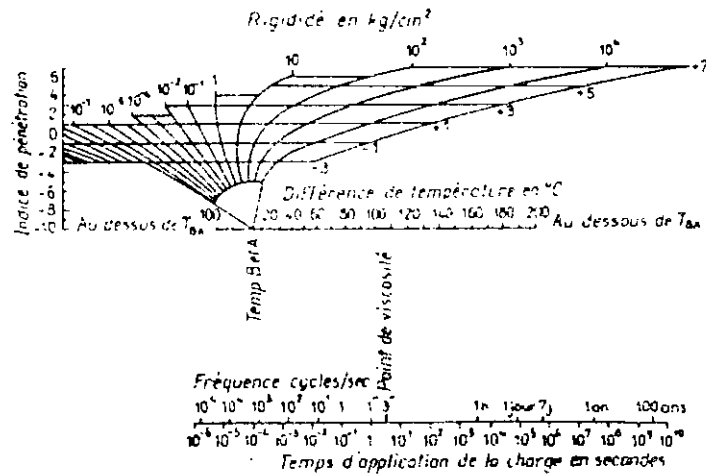


Fig. 316 — Nomogramme donnant la rigidité des bitumes.

On peut faire certains rapprochements entre les essais de routine d'identification et le module de rigidité.

Si plusieurs liants ont la même pénétration à 25°C tout en ayant des susceptibilités différentes, ils auront le même module de rigidité pour une durée de chargement inférieure à 5 secondes. En effet l'essai dure 5 secondes, mais la durée pendant laquelle la contrainte est très élevée est brève.

D'autre part la pénétration étant constante, la température et la durée de l'essai aussi, le module de rigidité l'est également. C'est ce qu'on constate en utilisant l'abaque à partir d'indices de pénétration variés, mais $T - T_{8A}$ variant de telle sorte que la pénétration ait une valeur constante.

On constate aussi qu'à une température donnée, tous les bitumes ayant même pénétration ont le même module de rigidité longitudinale pour une durée d'application de l'effort de 0,4 seconde.

Chap 4: Essais de contrôle

A) Densité relative: ASTM D70

La densité relative est exprimée comme étant le rapport du poids d'un volume donné de bitume à 25°C, et celui d'un volume égal d'eau à la même température.

a) Appareils

- Pycnométrie de verre
- Bain à température constante
- Thermomètre se conformant aux exigences de la norme de l'ASTM E1.

b) Matériel

- Eau distillée bouillie et refroidie pour remplir le pycnomètre.

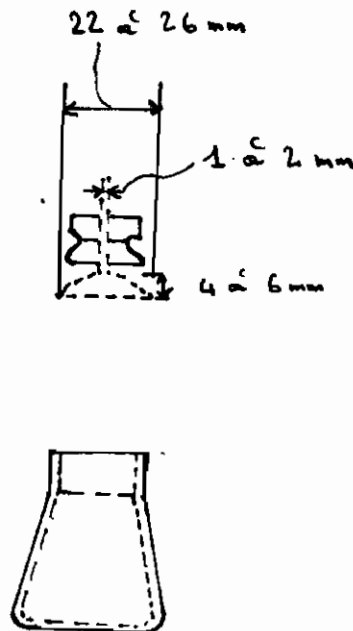


Fig 4.1 Pycnomètre:

c) Resultats

Bitume 60/70

Echantillons

	N°1	N°2	N°3	N°4
poide du picnometre + bouchon (a)	27,57	28	27,06	
poide du picnometre + bouchon + eau (b)	53,94	54,61	53,64	
poide du picnometre + bouchon + bitume (c)	45,88	46,39	48,49	
poide du picnometre + bouchon + bitume + eau (d)	54,54	55,17	55,79	
poide du bitume (1) = (c - a)	18,31	18,39	21,43	
volum du picnometre (2) = (b - a)	26,37	26,61	26,58	
volum d'eau ajoutée (3) = (d - c)	8,66	8,78	7,3	
volum du bitume (4) = (b - a) - (d - c)	17,71	17,83	19,28	
densite' relative du bitume = (1) ÷ (4)	1,03	1,03	1,11	
moyenne	1,06			

$$D_b = \frac{(c - a)}{(b - a) - (d - c)}$$

$D_b =$ densite' relative du bitume a' 25°C

$$\sigma = 0,04$$

Résultats

Cut - Back 150 - 250

Echantillons

	N°1	N°2	N°3	N°4
poide du picnometre + bouchon (a)	28,10	28,38	27	27,92
poide du picnometre + bouchon + eau (b)	54,54	54,51	54,31	54,05
poide du picnometre + bouchon + bitume (c)	45,48	46,38	44,51	46,45
poide du picnometre + bouchon + bitume + eau (d)	55,27	56,42	54,08	54,92
poide du bitume (1) = (c - a)	17,38	18	17,51	18,53
volume du picnometre: (2) = (b - a)	26,44	26,13	27,31	26,13
volume d'eau ajoutée: (3) = (d - c)	9,79	8,04	9,57	8,47
volume du bitume: (4) = (b - a) - (d - c)	16,65	18,09	17,74	17,66
densité relative du bitume: = (1) ÷ (4)	1,04	0,99	0,99	1,05
moyenne	1,02			

$$D_b = \frac{(c - a)}{(b - a) - (d - c)} = 1,02$$

D_b = densité relative du cut-back à 15°C

$$\sigma = 0,008$$

d) Precision.

La deviation standard pour un operateur concernant les materiaux bitumineux semi-solides verifiés à 15,6C est de 0,0013. Cependant les resultats de deux essais effectués par le même operateur sur le même échantillon ne doivent pas differer de 0,003.

Pour les materiaux verifiés à 25C la deviation standard est de 0,00082. Les resultats de deux essais effectués par le même operateur sur le même échantillon ne doivent pas differer plus de 0,002.

Le materiel de laboratoire ne nous permet pas d'avoir des precisions au 1000^{ième}.

Bitume 60/70 : $D_b = 1,03$

cut-back 150/250 : $D_b = 1,02$

cut-back 01 : $D_b = 1,02$

Pour les cut-back les normes recommandent une densité à 15°C comprise

entre 0,92 et 1,04

En ce qui concerne les bitumes les normes exigent une densité à 25C comprise entre 1 et 1,1

B) Point éclair et Point de feu. ASTM D92 - 72

Le point éclair est la température à laquelle en présence d'une flamme, une étincelle jaillit du bitume chauffé à une vitesse déterminée dans une coupe ouverte.

La température à laquelle la flamme d'essai enflamme le liquide et brûle pour au moins 5 s est appelé point de feu.

a) Résumé de la méthode.

La tasse d'essai est remplie avec l'échantillon jusqu'à un niveau spécifique. La température de l'échantillon est augmentée rapidement au début de l'essai et par la suite à un taux lent et constant en approchant du point éclair.

A des intervalles spécifiques, une petite flamme d'essai est passée au-dessus de la tasse contenant l'échantillon chauffé. La plus basse température à laquelle l'application de la flamme d'essai provoque des vapeurs au dessus de la surface du liquide pour l'allumer est désigné comme étant le point éclair. Pour le point de feu, l'essai est continué jusqu'à ce que l'application de la flamme d'essai enflamme et brûle pendant au moins 5 secondes.

b) Appareils:

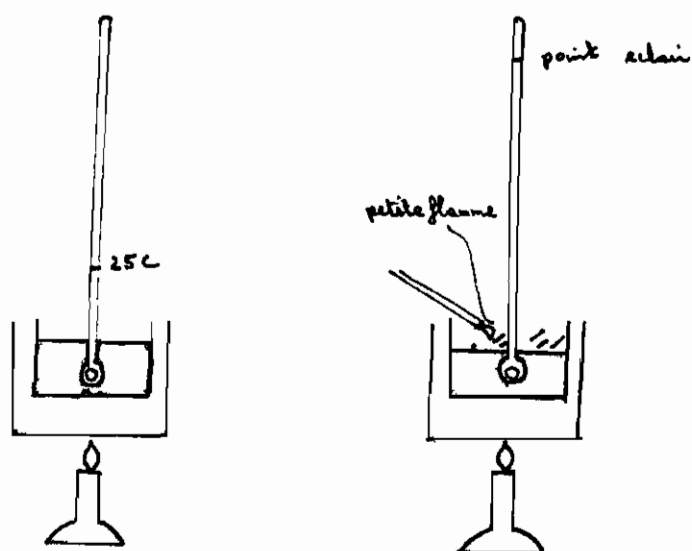
— L'appareil "Cleveland" (tasse ouverte)

— Ecran - ayant 450 x 460 mm et 620 mm de hauteur avec la partie ouverte.

Thermomètre ayant une graduation conforme aux exigences de normes ASTM E1 et IP concernant les thermomètres standards

Fig 4-2

Schema de l'essai.



Il existe sur le marché des appareils automatiques pour effectuer le point éclair. Pour les cas litigieux, le point éclair déterminé par la méthode manuelle sera considéré comme étant l'essai arbitral.

c) Precision:

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

— Repetabilité

— Point éclair 8C

— Point de feu 8C

d) Tableau des résultats.

Bitume 60/70

	Point éclair	Point de feu
1 ^{ère} lecture	245 C	300 C
2 ^{ème} lecture	240 C	303 C
3 ^{ème} lecture	247 C	302 C
moyenne	244 C	302 C
σ	2,9	1,2

Les résultats du laboratoire sont acceptables avec une bonne précision

La norme exige un point éclair supérieur à 230°

C) Ductilité ASTM D113.

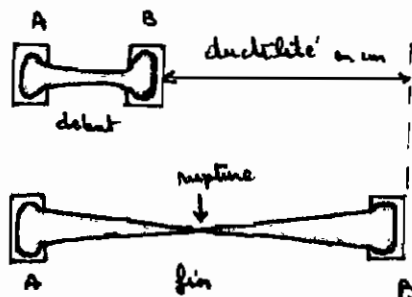
L'essai consiste à mesurer la longueur d'allongement avant rupture d'une éprouvette normalisée de bitume.

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

a) Appareils

- moules
- Bain d'eau
- Appareil à ductilité

Fig 43, Schéma de l'essai



b) Tableau des résultats. 60/70

	Ductilité (cm)
1 ^{er} essai	135
2 ^{ème} essai	145

Nous sommes dans les limites permises par la norme (> 80).

Le bitume 60/70 répond aux exigences du point de vue de la ductilité.

D) Viscosité cinématique:

La viscosité absolue ou dynamique des liquides Newtoniens est la force par unité de surface (dyne/cm^2) requise pour maintenir une différence de vitesse de 1 cm/sec de deux couches parallèles espacées de 1 cm . L'unité est la poise. La viscosité cinématique des liquides Newtoniens est le quotient de la viscosité absolue ou dynamique divisé par la densité, les deux critères effectués à la même température. L'unité est le stoke (cm^2/sec).

a) Resume' de la methode:

On mesure le temps qu'un volume donné de liquide prendra pour passer dans un viscosimètre capillaire en verre qui est calibré pour un volume de liquide et une température contrôlée. La viscosité cinématique est calculée en multipliant ce temps en secondes par le facteur de calibration du viscosimètre.

b) Appareils.

- Viscosimètre de type capillaire, en verre borosilicate
- Thermomètre se conformant à la norme ASTM E1
- Bain d'huile
- Nivelerie

c) Precision:

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

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

Bitume à 135 C 1,8 %

Echantillon à 60 C

inférieur à 3000 cSt 1,5 %

entre 3000 et 6000 cSt 2 %

d) Calcul:

Viscosité cinématique, cSt = Ct

C = constante de calibration du viscosimètre, en centistoke par seconde

t = temps de coulé, en seconde.

e) Résultat:

	1 ^{er} lecture	2 ^{er} lecture	3 ^{er} lecture
0/1	32	35	29
150/250	3337	3342	3339

les viscosités sont en centistoke à 60 C

E) Analyse

39

Les essais de densité relative, point éclair et point de feu, ductilité et viscosités sont des essais de contrôle.

Le coefficient de dilatation cubique varie légèrement d'un bitume à l'autre et dépend aussi de la température.

Toutefois, pour un calcul approché, on peut adopter la valeur moyenne

$$C = 0,0006.$$

On peut en outre utiliser le graphique ci-dessous pour la variation de la densité en fonction de la température.

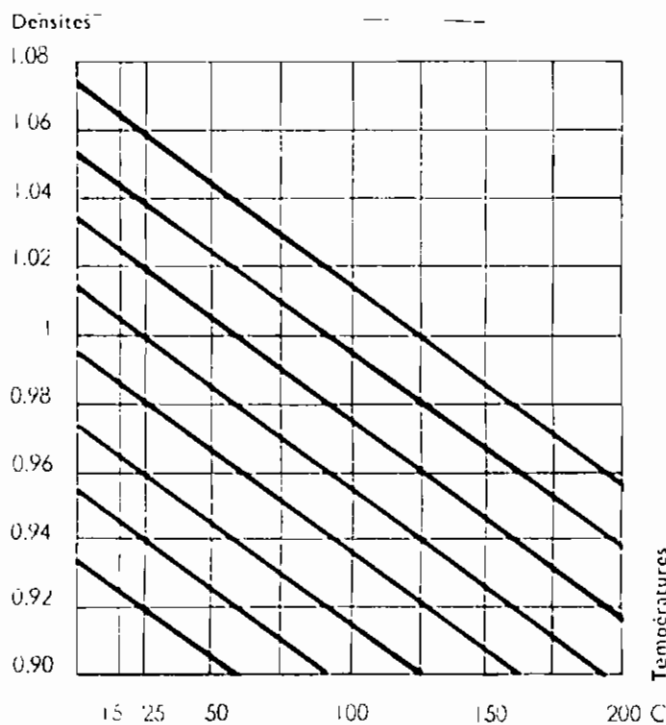


Fig. 4.4 Variation de la densité des bitumes et cut-backs en fonction de la température.

Le point éclair et le point de feu servent essentiellement lors de la manutention et lors de l'utilisation du liant. Dans tous les cas le liant ne doit pas être chauffé à une température voisine du point éclair pour éviter des risques de catastrophes.

La ductilité contrôle le vieillissement des bitumes.

Le vieillissement correspond à une modification de structure par évaporation des fractions les plus légères, par oxydation et par polymérisation de certains constituants. Cette évolution se traduit par un durcissement du liant qui devient alors plus cassant, moins ductile, et moins adhésif au bout de plusieurs années.

La viscosité est la caractéristique essentielle à contrôler pour les cut-backs.

Elle évolue assez rapidement dès l'emploi par suite de l'évaporation du solvant. La proportion de solvant varie suivant la nuance. Pour un cut-back à séchage moyen on aura les proportions moyennes suivantes.

0/1 : 37% de fluxant

150/250 : 15% de fluxant

L'évaporation elle-même est contrôlée par la température et les facteurs climatiques locaux.

Des courbes d'évaporation ont été établies. Elles sont caractérisées à une température donnée par :

leur ordonnée à l'origine qui représente la viscosité du cut-back au moment de la mise en œuvre.

l'ordonnée de leur asymptote horizontale qui dépend du liant résiduel après évaporation.

l'allure de leur croissance qui dépend de la plus ou moins grande volatilité du fluxant.

Les résultats se rapprochent de ce qui se passe dans le cas des enduits gravillonnés ou des imprégnations.

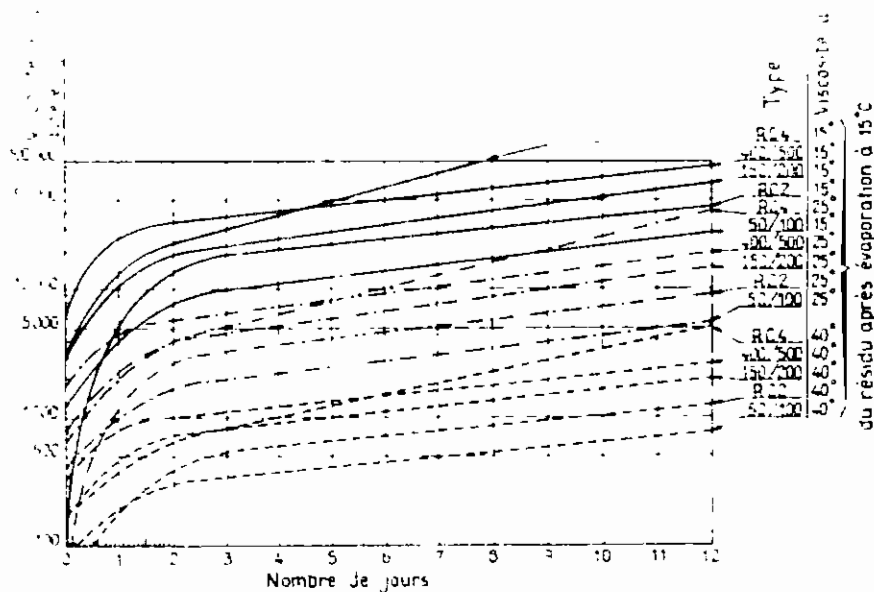


FIG. 45 — Consistance à diverses températures des résidus progressifs d'évaporation des cut-backs à 15°C.

Une élévation de la température du liant favorise l'évaporation mais en même temps fluidifie le liant et peut conduire aux premiers âges de l'enduit à une faible stabilité sous la circulation.

En effet dès la mise en service de la chaussée le liant prend une consistance très visqueuse, voire solide. Il est sollicité à des efforts dont la durée d'application est très variable et d'autre part la température des couches hydrocarbonées va varier selon les saisons et le temps de la journée.

Dans ces conditions les liants ont un comportement non plus visqueux mais viscoélastique. Selon l'origine du bitume c'est le caractère visqueux ou le caractère élastique qui est le plus accentué. Les bitumes contenant très peu d'asphalte ne se comportent encore pour des durées de charges relativement courtes comme des liquides visqueux. Ceux qui ont une texture du type gel ont un comportement quasi élastique. Sous les faibles charges ils ont une résilience élastique totale.

Il est recommandé de choisir pour les enduits les rut-back les plus visqueux possibles (150/250, 400/600). Pour l'impregnation des couches de base compactées, il faudra un liant fluide afin de pénétrer facilement dans la couche traitée et à séchage lent afin que la pénétration ait le temps de se faire avant que la viscosité ait augmenté.

Pour les produits superficiels, il faut un cut-back à séchage rapide afin que les véhicules n'arrachent pas les gravillons et plus ou moins visqueux selon les facilités d'exécution qu'on recherche.

Pour être pompable il faut une viscosité de l'ordre de 1000 à 1500 centistokes

Pour qu'il puisse mouiller un granulat, il faut une viscosité de 40 à 100 centistokes.

Conclusion

Les essais nous ont permis de faire un contrôle qualitatif au laboratoire des différents types de bitumes utilisés au Sénégal. Nos liants se sont comportés comme le prévoit les spécifications américaines ou françaises.

Des tests sont nécessaires en chantier en respectant les exigences de reproductibilité et de reproductibilité établies.

Il faudra quand même voir les limites de la connaissance des propriétés de nos liants, avec comme seuls outils les caractéristiques usuelles d'identification (pénétration, viscosité, température Billo et Anneau etc.).

D'autres propriétés non moins importantes à savoir un bon mouillage et une bonne adhérence dépendent de la composition chimique du liant.

Les essais de distillation et de solubilité n'ont pas pu être réalisés en laboratoire, faute d'appareils au complet.

Recommandations

Il serait très intéressant de voir les formes d'utilisation de mélanges pour améliorer les propriétés actuelles des bitumes. L'idée de mélanger un goudron et un bitume a le souci de réaliser un liant qui combine la faible susceptibilité et le faible vieillissement du bitume avec la bonne adhérence du goudron. Les autres mélanges sont difficiles à réaliser avec nos matériels de laboratoire.

A1: Penetration

PROCEDURE:

8.1 Vérifier l'aiguille et la tige qui la contient afin de s'assurer de l'absence d'eau ou de tout autre corps étranger. Nettoyer l'aiguille avec un solvant et un linge propre. A moins d'avis contraire, placer le poids de 50 g au-dessus de l'aiguille pour avoir un poids total de 100 ± 0.1 g. Si les essais sont effectués avec l'appareil de pénétration dans le bain, placer l'échantillon directement sur la base submergée du pénétromètre. Maintenir l'échantillon complètement couvert d'eau dans le bain. Si les essais sont effectués avec le pénétromètre en dehors du bain, placer l'échantillon dans le vase de transfert, couvrir complètement le contenant d'eau provenant du bain à température constante et déposer le vase de transfert sur la base du pénétromètre. Dans les deux cas, ajuster l'aiguille chargée avec le poids spécifié pour qu'elle vienne juste en contact avec la surface de l'échantillon. Nous obtiendrons ce résultat en faisant le contact de la pointe de l'aiguille avec son image réfléchie

par la surface de l'échantillon, en utilisant une source lumineuse convenablement placée. Noter la lecture de l'indicateur de pénétration ou mettre à zéro. Libérer rapidement l'aiguille pour la période de temps spécifiée et ajuster l'appareil pour mesurer la distance pénétrée en 0.1 mm. Si le contenant bouge lors de l'essai, on ignore le résultat.

8.2 Faire au moins trois pénétrations sur la surface de l'échantillon à pas moins que 10 mm (3/8 po) du côté du contenant et pas moins que 10 mm (3/8 po) entre chacun de ces points. Si le vase de transfert est utilisé, retourner celui-ci ainsi que l'échantillon entre les pénétrations dans le bain à température constante. Utiliser une aiguille propre pour chacune des pénétrations. Pour des pénétrations supérieures à 200, utiliser au moins trois aiguilles, en les laissant dans l'échantillon jusqu'à la fin des pénétrations.

8.3 Les aiguilles, contenants et autres conditions décrites dans la présente norme rencontrent les exigences pour des pénétrations supérieures à 350. Cependant, la méthode utilisée pour des pénétrations supérieures à 500 nécessite des aiguilles et des contenants spéciaux. Les contenants utilisés devront avoir une profondeur supérieure à 60 mm (2.37 po). Le volume de l'échantillon dans le contenant ne doit pas être supérieur à 125 ml afin de permettre l'uniformité de la température dans l'échantillon.

8.3.1 Les aiguilles devront rencontrer les exigences de l'item 5.2 concernant les dimensions et le poids, sauf que le potentiel minimum de pénétration de l'aiguille sera de 50 nm.

8.3.2 Pour l'approximation de la pénétration élevée de certains matériaux, nous pouvons déterminer la pénétration en utilisant l'aiguille standard et un contenant de 6 on mais avec une charge de 50 g. La pénétration corrigée sera obtenue en multipliant le résultat obtenu à l'aide du 50 g par la racine carrée de 2.

$$\text{Pénétration (100 g)} = \text{Pénétration (50 g)} \times 1.414$$

Si cette méthode est utilisée, le rapport doit en faire mention.

A2. PROCEDURE pour les MATERIAUX AYANT des POINTS de RAMOLLISSEMENT INFÉRIEURS à 176F (80C)

6.1 Assemblage de l'appareil - assembler l'appareil avec les anneaux, le thermomètre, et les guides pour centrer la bille et remplir le bûcher avec de l'eau distillée, bouillie récemment, à $41 \pm 2F$ ($5 \pm 1C$) jusqu'à une profondeur qui n'est ni inférieure à 101,6 mm (4.0 po) ni supérieure à 108 mm (4.25 po). Maintenir la température à 41F (5C) durant 15 minutes en plaçant le contenant dans l'eau glacée si nécessaire. Placer une bille préalablement ajustée à la température du bain, en utilisant des pinces dans chacun des guides pour centrer les billes.

6.2 Chauffage - appliquer la chaleur de sorte que la température du liquide augmente de 9F (5C) par minute. Eviter l'effet des courants d'air en utilisant des protecteurs si nécessaire.

6.3 Variation permise dans l'augmentation de la température - le taux d'augmentation de la température sera uniforme et ne sera pas une moyenne pour toute la période d'essai. La variation maximum permise pour chaque période d'une minute après les trois premières minutes sera de $\pm 0.9F$ (0.5C). Rejeter tous les essais dont le taux d'augmentation ne rencontre pas ces limites.

6.4 Résultats - enregistrer la température à laquelle l'échantillon entourant la bille touche la plaque inférieure. Ne pas faire de correction pour la partie inférieure du thermomètre. Si la différence entre les résultats obtenus est supérieure à 2F (1C), répéter l'essai.

7. PROCEDURE pour des MATERIAUX AYANT des POINTS de RAMOLLISSEMENT AU-DESSUS de 176F (80C) :

7.1 Utiliser la même procédure que celle décrite dans la section 6, avec les exceptions suivantes :

7.1.1 Utiliser la glycérine USP au lieu de l'eau.

7.1.2 Utiliser un thermomètre ASTM 16C ou 16F.

7.1.3 Au départ, la température du bain de glycérine sera de 90F (32C).

NOTE 3 : Pour les matériaux dont le point de ramollissement est autour de 176F (80C), mentionner la nature du bain (si c'est avec de l'eau ou de la glycérine) puisqu'un bain de glycérine donne des résultats plus élevés qu'un bain d'eau.

A3:PROCEDURE: Point éclair et Point de feu

5.1 Remplir la tasse d'essai avec l'échantillon à une température convenable (lorsque l'échantillon est raisonnablement liquide, sans dépasser 100 F (56 C) au-dessous du point éclair anticipé). Si on a ajouté trop d'échantillon dans la tasse, enlever l'excès à l'aide d'une pipette ou d'un autre dispositif convenable. Cependant, s'il y a de l'échantillon à l'extérieur de la tasse, il faut vider celle-ci, la nettoyer et la remplir à nouveau. Détruire toutes les bulles d'air sur la surface de l'échantillon.

5.2 Allumer la flamme d'essai et l'ajuster à un diamètre de 3.2 à 4.8 mm (1/8 à 3/16 po)

5.3 Au début, appliquer la chaleur de façon à ce que la température de l'échantillon augmente de 25 à 30 F (14 à 17 C) par minute. Lorsque la température de l'échantillon est approximativement à 100 F (56 C) au-dessous du point éclair anticipé, diminuer la chaleur de façon à ce que la température augmente de 9 à 11 F (5 à 6 C) par minute durant les derniers 50 F (28 C).

5.4 Commencer à au moins 50 F (28 C) au-dessous du point éclair, appliquer la flamme d'essai lorsque la lecture de la température lue sur le thermomètre atteint chaque marque successive de 5 F (2 C). Passer la

flamme d'essai à travers le centre de la tasse, à angle droit avec le diamètre passant par le thermomètre. Avec un mouvement léger et continu, appliquer la flamme soit sur une ligne droite, soit sur la circonférence d'un cercle ayant un rayon d'au moins 6 po (150 mm). Le centre de la flamme d'essai doit se déplacer dans un plan situé à une distance ne dépassant pas 5/64 po (2mm) au-dessus de la partie supérieure de la tasse en passant dans une direction puis dans l'autre la fois suivante. Le temps requis doit être 1 seconde environ pour chaque mouvement au-dessus de la tasse ouverte.

5.5 Enregistrer, comme étant le point éclair, la température à laquelle un éclair apparaît en n'importe quel point de la surface de l'échantillon, mais ne pas confondre le " vrai éclair " avec l'oréole bleuâtre qui entoure parfois la flamme d'essai.

5.6 Pour déterminer le point de feu, continuer à chauffer de façon à ce que la température de l'échantillon augmente de 9 à 11 F (5 à 6 C) par minute. Continuer d'appliquer la flamme d'essai à des intervalles de 5 F (2 C) jusqu'à ce que l'échantillon s'enflamme et brûle pendant au moins 5 secondes. Enregistrer la température à ce point comme étant le point de feu.

A4. PROCEDURE: Densité

7.1 Préparation de l'échantillon. Chauffer l'échantillon avec soin, agiter afin de prévenir le surchauffement local, jusqu'à ce que

l'échantillon soit assez liquide pour être transvidé. En aucun cas, pour les bitumes, la température ne sera supérieure à 200F (111C) du point de ramollissement.

Ne pas chauffer l'échantillon plus de 30 minutes et éviter l'acclusion d'air.

7.2 Verser suffisamment d'échantillon pour combler le pycnomètre propre et sec à environ 3/4 de sa capacité.

Prévenir le contact du matériau aux parois du pycnomètre en dessous du niveau final et l'occlusion de bulles d'air. Laisser reposer le pycnomètre et son contenu à l'air ambiant pour une période minimale de 40 minutes, peser avec le bouchon au ± 0.001 g. Identifier le poids du pycnomètre et de l'échantillon par "C".

7.3 Retirer le béccher du bain. Emplir le pycnomètre contenant le matériau avec de l'eau distillée, déposer le bouchon sur le pycnomètre. Placer le pycnomètre dans le contenant et appuyer fermement sur le bouchon. Replacer le contenant dans le bain à température constante.

7.4 L'immersion minimale de pycnomètre est de 30 minutes. Retirer le pycnomètre de l'eau distillée, assécher et peser en utilisant la même technique qu'à l'item 6.3. Identifier le poids du pycnomètre, de l'échantillon et de l'eau par "D".

A5: Procédure: Ductilité

3.1 Moulage de l'échantillon d'essai - chauffer l'échantillon avec soin afin d'éviter un surchauffage local jusqu'à ce qu'il soit suffisamment liquide pour être versé. Tamiser l'échantillon sur le tamis N° 50 conforme à la norme ASTM E11, et après l'avoir tamisé, verser le matériau passant dans le moule. Assembler le moule sur une plaque de laiton et afin d'empêcher le matériau d'adhérer, huiler légèrement la surface de la plaque et les surfaces intérieures des côtés a et a', figure 1, du moule. La plaque sur laquelle le moule est déposé sera parfaitement plane et nivelée de sorte que la surface inférieure du moule soit parfaitement en contact avec la plaque. En remplissant le moule, veillez à ne pas déplacer les parties constituant le moule afin de ne pas modifier la forme de l'échantillon d'essai. En remplissant, verser le matériau en une coulée mince vers l'avant et vers l'arrière d'une extrémité à l'autre du moule jusqu'à ce que le moule soit rempli plus qu'à la surface. Laisser le moule, contenant le matériau, refroidir à la température de la pièce pour une période de 30 à 40 minutes et placer le dans le bain d'eau maintenue à la température spécifiée de l'essai pour 30 minutes; niveler le dessus de l'échantillon à l'aide d'une spatule légèrement chauffée afin que le moule soit rempli avec précision à son niveau final.

3.2 Maintenir l'échantillon à une température standard - Placer la plaque de laiton et le moule dans le bain et garder à la température spécifiée pour une période de 85 à 95 minutes. Ensuite, enlever l'échantillon du moule, détacher les côtés du moule et effectuer immédiatement l'essai.

3.3 Essai - attacher les anneaux à chaque extrémité des pinces aux goupilles ou aux crochets de l'appareil d'essai et étirer à la vitesse spécifiée jusqu'à la rupture de l'échantillon. Une variation de $\pm 5\%$ de la vitesse spécifiée est permise. Mesurer la distance en centimètres que les pinces ont été tirées pour occasionner la rupture. Lors de l'essai, l'eau dans le réservoir de l'appareil couvrira d'au moins 2.5 cm de part et d'autre de l'échantillon et sera gardée continuellement à la température spécifiée $\pm 0.9F$ ($0.5C$).

A6. PROCEDURE: Viscosité cinématique

6.1 Dépendant du type de viscosimètre utilisé, le mode opératoire est légèrement différent. La procédure générale est décrite ci-après dans 6.1.1 à 6.1.7

6.1.1 Maintenir le bain à la température d'essai 140 ± 0.02 F (60 ± 0.01 C) ou 275 ± 0.05 (135 ± 0.03 C). S'il y a lieu, appliquer les corrections nécessaires pour les lectures des thermomètres.

6.1.2 Utiliser un viscosimètre propre et sec dont le temps de coulée est supérieur à 60 secondes et le préchauffer à la température de l'essai.

6.1.3 Verser le matériau dans le viscosimètre, selon la conception de celui-ci.

6.1.4 Laisser l'échantillon dans le bain jusqu'à ce que la température de celui-ci soit à celle prescrite pour l'essai.

6.1.5 Amorcer l'écoulement du bitume dans le viscosimètre.

6.1.6 Mesure au 0.1 seconde près le temps requis par le bitume pour passer de la première à la deuxième marque du viscosimètre. Si le temps requis est inférieur à 60 secondes, utiliser un viscosimètre possédant un plus petit diamètre et répéter l'essai.

6.1.7 Après l'essai, nettoyer adéquatement le viscosimètre à l'aide d'un solvant approprié et par la suite d'un solvant volatil. Assécher le tube à l'aide d'un jet d'air sec pendant 2 minutes ou jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de trace de solvant. Périodiquement, nettoyer le viscosimètre avec de l'acide chromique afin d'enlever les dépôts organiques, rincer avec de l'eau distillée et de l'acétone, assécher avec un jet d'air sec.

Bibliographie

1. SHELL : Les Bitumes
2. Georges Jeuffroy : Conception et construction des chaussées
Tome II . 2^{ème} édition EYROLLES . 1970
3. E.P.T : Manuel d'expériences sur les bitumes
4. R. SAUTEREY : Les liants hydrocarbonés :
Revue générale des routes et des aérodrômes . octobre 1971