

### II.6.2. Teneur en liant

Le liant bitumineux transmet naturellement son comportement viscoélastique à l'enrobé. Il faut donc définir une teneur en liant optimale afin d'assurer la cohésion du mélange et le bon enrobage de tous les grains du mélange par un film mince de bitume, et ce, tout en évitant des problèmes de fluage et d'orniérage trop prononcés à haute température (dans le cas d'une trop forte teneur en bitume).

Pour déterminer cette teneur en liant optimale, on introduit la notion de surface spécifique des granulats, notée ( $\Sigma$ ) et exprimée en  $m^2/kg$ , c'est-à-dire la surface développée qu'auraient les granulats assimilés à des sphères.

Pour un mélange granulométrique donné, la formule suivante permet d'avoir une approximation de la surface spécifique ( $\Sigma$ ):

$$100 \Sigma = 0.17G + 0.33g + 2.3S + 2.3s + 135f \quad (\text{II.01})$$

Avec

G: pourcentage de gros gravillons ( $\phi > 11$ )

g: pourcentage de petits gravillons ( $\phi > 6/11$ )

S: pourcentage de gros sable ( $\phi > 0.3/6$ )

s: pourcentage de sable fin ( $\phi > 0.08/0.3$ )

f: pourcentage de filler ( $\phi < 0.08$ )

On voit que le pourcentage de fillers est prépondérant en ce qui concerne la surface spécifique et donc la teneur en liant. Dans certains cas, on utilise la formule simplifiée suivante :

$$\Sigma = 2.5 + 1.3 f \quad (\text{II.02})$$

La teneur en liant optimale, fonction de la surface spécifique des granulats, est donnée par la formule expérimentale suivante:

$$P = \alpha k \sqrt[5]{\Sigma} \quad (\text{II.03})$$

Avec

P: teneur en liant(%)

$\alpha$ : facteur dépendant du type de granulats (2.65/masse volumique des granulats)

$\Sigma$ : surface spécifique des granulats ( $m^2/Kg$ )

K: module de richesse (K variant de 2.75 pour les enrobés donnant le maximum de résistance à la déformation, à 3.5 pour les enrobés plus souples).

### II.7. Essais sur les enrobés bitumineux

Parmi les essais de laboratoire utilisés sur les mélanges bitumineux on cite : [14]. [15]. [18]

### 1/ *essai Duriez*

Cet essai permet de connaître la tenue à l'eau d'un enrobé à chaud exprimé par un rapport des résistances à la compression avec immersion dans l'eau et à sec. Le mode de cet essai consiste à confectionner 12 petits moules cylindriques d'enrobés : 2 destinés à mesurer la masse volumique à la pesée hydrostatique, 5 conservés 7 jours à l'eau à 18°C et 5 conservés 7 jours à l'air.

Après ce temps, les éprouvettes sont écrasées dans une presse hydraulique. La résistance à la compression simple = (charge d'écrasement)/(section de l'éprouvette). La résistance de l'éprouvette stockée en immersion est : "r " La résistance de l'éprouvette stockée à l'eau est : " R".

Le rapport r/R est le résultat du test qui donne la tenue à l'eau de l'enrobé et qui sera comparé à la norme en vigueur.

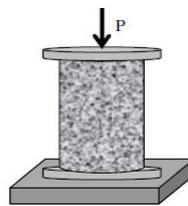


Figure II.12. Principe de l'essai Duriez

### 2/ *Essai Marshall*

Les enrobés bitumineux sont compactés dans des moules à l'aide d'une dame en vue de réaliser des éprouvettes cylindriques. Ces éprouvettes (température 60°C) sont placées entre les deux mâchoires semi - cylindriques d'une presse qui se rapprochent l'une de l'autre à une vitesse constante. Au cours de l'essai, la charge et la déformation sont enregistrées jusqu'à la rupture. Cet essai rentre dans la catégorie des essais empiriques à chargement unique qui, vue la complexité des sollicitations engendrées, ne permet pas la détermination d'une propriété intrinsèque du matériau. Il conduit à la détermination directe de deux grandeurs : le fluage (mm) et la stabilité Marshall (kN), deux grandeurs liées à la caractérisation empirique de l'orniérage.

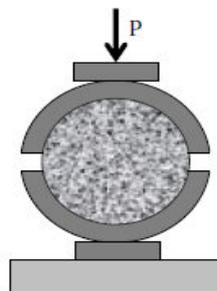


Figure II.13. Principe de l'essai Marshall

### 3/ Presse à Cisaillement Giratoire (PCG)

L'essai de compactage à la PCG est une combinaison d'un cisaillement giratoire et d'une force résultante axiale appliquée par une tête mécanique. L'essai permet de calculer le pourcentage des vides et la compacité à n rotations au moyen de la hauteur mesurée de l'éprouvette testée "hn". Il faut savoir qu'à 100 % de compacité, la hauteur minimale de l'éprouvette est de 150mm:

Pourcentage des vides =  $((h_n - 150)/h_n) \times 100$  ; Compacité C =  $100 - \%$  vides =  $(150 \times 100)/h_n$ .

L'essai PCG traduit la maniabilité de l'enrobé. En effet, plus la pente de la droite est forte, plus le matériau est maniable.

Cette caractéristique découle des normes qui exigent un certain pourcentage de vides à n rotations. La maniabilité est un facteur important puisqu'elle traduit la facilité de mise en œuvre de l'enrobé sur le chantier.

Si les valeurs du pourcentage des vides sont conformes et le coefficient de maniabilité favorable, continuer les essais DURIEZ et la plaque d'orniérage, dans le cas contraire, modifier la formule d'enrobé.

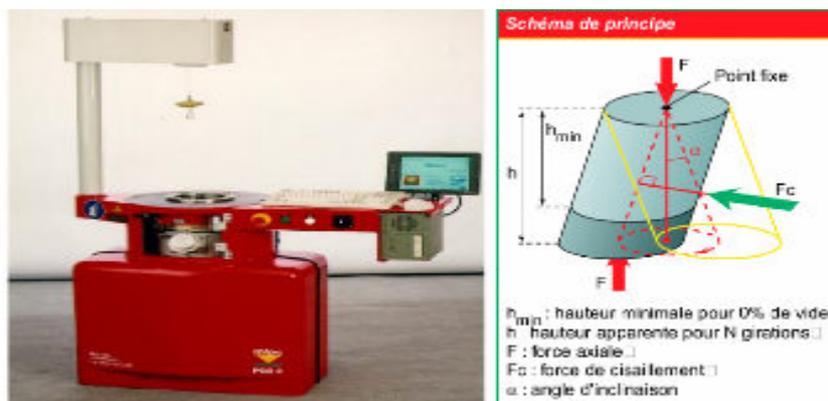


Figure II.14 Presse à cisaillement giratoire (PCG)

### 4/ L'essai de compression diamétrale

Les corps d'épreuve cylindriques sont des éprouvettes confectionnées à la Presse à Cisaillement Giratoire ou des carottes extraites de plaques. Une partie des éprouvettes est conservée sans immersion à température ambiante ; l'autre partie est conservée immergée après un dégazage poussé pendant 70 h à 40 °C. Chaque groupe d'éprouvettes est écrasé en compression diamétrale à une température de 15°C. Le rapport de la résistance après immersion à la résistance à sec donne la tenue à l'eau du mélange.

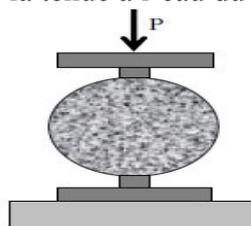


Figure II.15.Principe de l'essai de compression diamétrale

### 5/ L'essai d'orniérage

Le corps d'épreuve est une plaque parallélépipédique de 5 cm ou de 10 cm d'épaisseur, selon que l'épaisseur de mise en œuvre de l'enrobé soit inférieure ou supérieure à 5 cm. Cette plaque est soumise au trafic d'une roue équipée d'un pneumatique (fréquence : 1 Hz, charge : 5 kN, pression : 6 bars), dans des conditions sévères de température (60 °C). La profondeur de la déformation produite dans le passage de la roue, est notée en fonction du nombre de cycles. Les spécifications portent sur un pourcentage d'ornière à un nombre de cycles donné, qui dépend du type de matériau, et de sa classe.

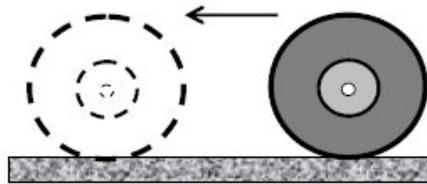


Figure II.16. Principe de l'essai d'orniérage

### 6/ L'essai de traction directe

Il s'agit d'un essai de traction à température constante et à vitesse de déformation constante. Au cours de l'essai, les paramètres mesurés sont la contrainte et la déformation. La contrainte maximale, encore appelée contrainte de rupture, et la déformation correspondante, donnent directement accès à la résistance en traction du matériau testé, pour les conditions d'essais (température, vitesse) considérées.

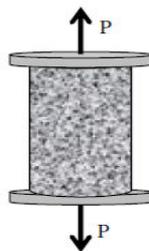


Figure II.17. Principe de l'essai de traction directe

### 7/ Essai de fluage statique uniaxial

L'essai consiste à charger axialement, avec une charge constante des éprouvettes cylindriques d'enrobés afin de déterminer la déformation résultante dans la direction de la charge (figure II.18) La déformation relative «  $\epsilon$  » égale au rapport «  $\Delta H/H$  » peut être représentée en fonction du temps.

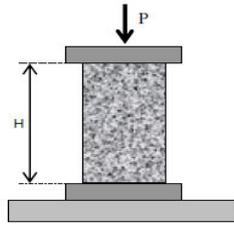


Figure II.18. Principe de l'essai de compression cyclique uniaxial sous confinement

### 8/ Essai de fluage dynamique

Cet essai consiste à déterminer la résistance à la déformation d'une éprouvette cyclique de mélanges bitumineux. L'éprouvette est préparée en laboratoire ou extraite de la chaussée.

Une éprouvette cylindrique, maintenue à une température de conditionnement élevée, est placée entre deux pistons de chargement parallèles et plans. L'éprouvette est soumise à une contrainte de confinement «  $\sigma_c$  » à laquelle une contrainte axiale cyclique «  $\sigma_a(t)$  » vient se superposer.

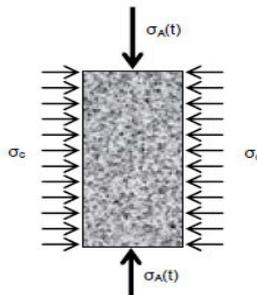


Figure II.19. Représentation des contraintes exercées sur l'éprouvette dans le cas d'un essai de fluage dynamique

### 9/ Essais de module

La rigidité du mélange est déterminée soit par un essai de module complexe (solicitation sinusoïdale sur éprouvette trapézoïdale) soit par un essai de traction directe (sur éprouvette cylindrique ou parallélépipédique). La charge est appliquée dans un domaine de petites déformations, en contrôlant le temps ou la fréquence, la température et la loi de chargement.

Le module (rapport de la contrainte à la déformation) est calculé pour chaque essai élémentaire (température, fréquence).

Grâce à l'équivalence temps-température, on trace la courbe maîtresse du module à une température donnée. Cette représentation permet de connaître le comportement du mélange sur un large spectre de temps de charge ou de fréquences. La spécification porte sur le module à 15 °C et une fréquence de 10 Hz ou un temps de charge de 0,02 s.

### 10/ Essais de fatigue

Cet essai permet d'étudier le comportement des enrobés bitumineux vis-à-vis de la fissuration ; il est pratiqué sur des éprouvettes de forme trapézoïdales. L'éprouvette est encastrée à la base, sollicitée en tête en flexion sinusoïdale par déplacement imposé d'amplitude constante choisie afin de caractériser la rupture à un million de cycles.

L'essai est pratiqué à 10°C et à une fréquence de 25 Hz.

La répétitivité des cycles de flexion alternée entraîne un endommagement de l'éprouvette (des fissures sont localisées). L'essai est conduit jusqu'à réduction de moitié de l'effort mesuré en tête, c'est le critère de la rupture. Les résultats obtenus sont reportés sur un diagramme (déformation - nombre de cycles à rupture).



Figure II.20. Essai de fatigue en flexion 2 points sur éprouvettes trapézoïdales

### II.8. Conclusion

Un enrobé est un mélange de graviers, de sable, de fines et de liant,. C'est un matériau routier, appliqué en une ou plusieurs couches, pour constituer le revêtement des chaussées. Les enrobés pour couche d'assise appartiennent soit à la famille des graves bitume (GB), soit à la famille des enrobés à module élevé (EME), ils permettent une diffusion suffisante des contrainte pour éviter une déformation permanente du sol support.