



**Conception et essai de mélange
de matériaux bitumineux de base**

Manuel de formation du technicien

Octobre 2016



INDUSTRIES McASPHALT LTÉE

8800 Sheppard Avenue East T 416.281.8181 TF 1 800.268.4238
Toronto, ON M1B 5R4 F 416.281.8842 E info@mcasphalt.com

mcasphalt.com
ISO 9001/14001

Table des matières

| | |
|---|----|
| Préface | 1 |
| Principes fondamentaux de la formule de mélange | 2 |
| Propriétés physiques des matériaux | 3 |
| Granulats | 3 |
| Taille maximale | 3 |
| Granulométrie | 3 |
| Mesure | 3 |
| Mélange granulométrique des enrobés chauds types | 4 |
| Conditions granulométriques des granulats | 4 |
| Autres propriétés | 5 |
| Bitume PG | 6 |
| Propriétés physiques de l'asphalte | 6 |
| Systèmes de classification | 7 |
| Système de niveau de résistance optimale (PG) Superpave | 7 |
| Classification selon la pénétration | 7 |
| Classification selon la viscosité | 8 |
| Modificateurs de liant bitumineux | 8 |
| Formule de mélange Marshall | 10 |
| Types de mélanges utilisés en Ontario | 11 |
| Procédure de base | 12 |
| Méthode de formule de mélange Superpave | 13 |
| Estimation de la charge due à la circulation | 13 |
| Choix du liant du bitume PG | 14 |
| Définitions de la taille des granulats | 15 |
| Catégories de circulation | 18 |
| Effort de compactage | 18 |
| Comment choisir | 19 |
| Exemple d'une formule de mélange | 19 |
| Techniques de recyclage d'asphalte | 31 |



INDUSTRIES McASPALT LTÉE

8800 Sheppard Avenue East T 416.281.8181 TF 1.800.268.4238
Toronto, ON M1B 5R4 F 416.281.8842 E info@mcaspalt.com

mcaspalt.com
ISO 9001/14001

Préface

Ce manuel a été élaboré dans le but de fournir une procédure étape par étape permettant de comprendre la composition d'un mélange bitumineux de base et de créer des formules de mélange et procédés de recyclage.

Principes fondamentaux de la formule de mélange

Les enrobés chauds sont constitués de deux ingrédients de base : les granulats et le liant bitumineux. La formule de mélange des enrobés chauds est le procédé consistant à déterminer quels granulats utiliser, quel liant bitumineux utiliser et ce que devrait être la combinaison optimale de ces deux ingrédients. Il existe plusieurs méthodes différentes utilisées pour obtenir ce procédé, les méthodes Marshall et Superpave sont les plus courantes.

En manipulant les variables de granulats, de liant bitumineux et le rapport entre les deux, la formule de mélange cherche à atteindre les qualités suivantes dans le produit enrobé chaud final (Roberts et al., 1996) :

- **Résistance à la déformation** : les enrobés chauds ne devraient pas se distordre (ornière) ou se déformer (butée) sous la charge due à la circulation. La déformation des enrobés chauds est liée à la surface des granulats et aux caractéristiques d'abrasion, à la granulométrie des granulats, au taux de liant bitumineux et à la viscosité du liant bitumineux à températures élevées.
- **Résistance à la fatigue** : les enrobés chauds ne devraient pas se fissurer lorsqu'ils sont soumis à des charges répétées au fil du temps. La fissuration de fatigue des enrobés chauds est liée au taux et à la rigidité du liant bitumineux.
- **Résistance à la fissuration à basse température** : les enrobés chauds ne devraient pas se fissurer lorsqu'ils sont soumis à des températures ambiantes basses. La fissuration à basse température est principalement liée à la rigidité à basse température du liant bitumineux.
- **Durabilité** : les enrobés chauds ne devraient pas vieillir excessivement durant la production et la durée de vie. La durabilité des enrobés chauds est liée à des vides ainsi qu'à l'épaisseur du film de liant bitumineux autour de chaque particule granulaire.
- **Résistance au désenrobage** : les enrobés chauds ne devraient pas considérablement se dégrader à cause d'une pénétration d'humidité dans le mélange. La résistance au désenrobage est liée aux vides ainsi qu'aux propriétés minérales et chimiques des granulats.
- **Adhérence** : les enrobés chauds placés en tant que revêtement de surface devraient offrir un frottement suffisant lorsqu'ils entrent en contact avec les pneus d'un véhicule. Une adhérence faible est généralement liée aux caractéristiques des granulats ou au taux élevé de liant bitumineux.
- **Maniabilité** : les enrobés chauds doivent pouvoir être placés et compactés en effectuant un effort raisonnable. La maniabilité est généralement liée à la texture/forme/taille/granulométrie des granulats, au taux de liant bitumineux et à la viscosité du liant bitumineux à températures de mélange et de placement.

Propriétés physiques des matériaux

Granulats

Les granulats peuvent être classés selon leurs propriétés minérales, chimiques et physiques. L'industrie du revêtement repose généralement sur les propriétés physiques en ce qui concerne la caractérisation du rendement. Les propriétés physiques des granulats sont le résultat direct de ses propriétés minérales et chimiques.

Taille maximale

La taille maximale des granulats peut affecter les couches d'enrobés chauds et de base/fondation de plusieurs façons. Dans les enrobés chauds, l'instabilité peut résulter des tailles maximales trop petites et la mauvaise maniabilité ou la ségrégation peut résulter des tailles maximales trop grandes (Roberts et al., 1996). ASTM C 125 définit la taille maximale des granulats de deux façons :

Taille maximale : Le plus petit tamis à travers lequel 100 pour cent des particules d'échantillon des granulats passent. Superpave définit la taille maximale des granulats comme étant « un tamis plus grand que la taille maximale nominale » (Roberts et al., 1996).

Taille maximale nominale : Le plus grand tamis qui retient une partie des particules des granulats, mais généralement pas plus de 10 pour cent en poids. Superpave définit la taille maximale nominale des granulats comme étant « une taille de tamis plus grande que le premier tamis à retenir plus de 10 pour cent du matériau » (Roberts et al., 1996).

Il est important de préciser si l'on fait référence à la « taille maximale » ou à la « taille maximale nominale ».

Granulométrie

Une distribution granulométrique des particules des granulats, ou granulométrie, est l'une de ses caractéristiques les plus influentes. Dans les enrobés chauds, la granulométrie permet de déterminer presque toutes les propriétés importantes, dont la rigidité, la stabilité, la durabilité, la perméabilité, la maniabilité, la résistance à la fatigue, la résistance de frottement et la résistance au désenrobage (Roberts et al., 1996). De ce fait, la granulométrie est une préoccupation majeure dans la formule de mélange des enrobés chauds et donc, la plupart des agences précisent les granulométries autorisées.

Mesure

La granulométrie est généralement mesurée par une analyse granulométrique. Dans une analyse granulométrique, un échantillon de granulats secs de poids connu est séparé au travers d'une série de

tamis possédant progressivement des ouvertures plus petites. Une fois séparé, le poids des particules retenues sur chaque tamis est mesuré et comparé au poids total de l'échantillon. La distribution granulométrique des particules est ensuite exprimée en pourcentage passant selon le poids sur chaque taille de tamis.

Mélange granulométrique des enrobés chauds types

Dense ou bien calibré : fait référence à une granulométrie qui est proche de la densité maximale. Les formules de mélange des enrobés chauds les plus courantes ont tendance à utiliser une granulométrie dense.

Granulométrie discontinue : fait référence à une granulométrie qui contient seulement un petit pourcentage de particules granulaires dans la gamme de taille moyenne. La courbe est quasiment horizontale dans la gamme de taille moyenne. Ces mélanges peuvent être sujets à une ségrégation lors de la pose.

Granulométrie ouverte : fait référence à une granulométrie qui contient seulement un petit pourcentage de particules granulaires dans la gamme de petite taille. Cela se traduit par plus de vides, car il n'y a pas assez de petites particules pour combler les vides entre les particules plus grosses. La courbe est quasiment horizontale et proche de zéro dans la gamme de petite taille.

Granulométrie uniforme : fait référence à une granulométrie qui contient la plupart des particules dans une gamme de taille très limitée. En substance, toutes les particules sont de la même taille. La courbe est abrupte et occupe seulement la gamme de taille limitée spécifiée.

Conditions granulométriques des granulats

Granulats fins : (parfois simplement appelés « fins ») défini par AASHTO M 147 comme sable naturel ou concassé passant au travers d'un tamis de 4,75 mm et comme particules minérales passant au travers d'un tamis de 75 µm.

Granulat grossier : défini par AASHTO M 147 comme particules ou fragments de pierre, gravier ou laitier durs et durables retenus sur le tamis de 4,75 mm. Généralement, le granulat grossier dispose d'une exigence de ténacité et de résistance à l'abrasion.

Granulométrie fine : une granulométrie qui, lorsqu'elle est placée sur le graphique de granulométrie de puissance 0,45, se situe principalement au-dessus de la ligne de densité de puissance maximale de 0,45. Ce terme s'applique généralement aux granulats à granulométrie dense.

Granulométrie grossière : une granulométrie qui, lorsqu'elle est placée sur le graphique de granulométrie de puissance 0,45, se situe principalement en dessous de la ligne de densité de puissance maximale de 0,45. Ce terme s'applique généralement aux granulats à granulométrie dense.

Charges minérales : défini par l'Asphalt Institute comme étant un produit minéral finement divisé, dont au moins 65 pour cent passera au travers d'un tamis de 75 µm. Le calcaire pulvérisé est la charge minérale fabriquée le plus couramment, bien que d'autres poussières de pierre, silice, hydroxyde de calcium, ciment Portland et certains gisements naturels de matière minérale finement divisée sont également utilisés (Asphalt Institute, 1962).

Autres propriétés

D'autres propriétés physiques de granulats importantes sont :

Ténacité et résistance à l'abrasion : les granulats devraient être durs et solides, assez pour résister au concassage, à la dégradation et à la désintégration dus aux activités telles que la fabrication, l'entreposage, la pose et le compactage.

Durabilité et solidité : les granulats doivent être résistants à la dégradation et à la désintégration dues aux intempéries (humidité/sécheresse) ou alors ils risquent de rompre et de provoquer une détérioration prématurée de la chaussée.

Forme de particules et texture de la surface : la forme des particules et la texture de la surface sont importantes pour un compactage, une résistance à la charge et une maniabilité appropriés. Généralement, les particules angulaires en forme de cubes avec une texture de surface rugueuse sont les meilleures.

Densité spécifique : la densité spécifique des granulats est utile pour effectuer des conversions poids-volume et pour calculer la teneur en vides dans les enrobés chauds compactés (Roberts et al., 1996).

Propreté et matériaux nocifs : les granulats doivent être relativement propres lorsqu'ils sont utilisés dans les enrobés chauds. La végétation, les particules molles, les blocs d'argile, un excès de poussière et de matières végétales peuvent affecter le rendement en entraînant des dégradations rapides, ce qui provoque une perte de soutien structurel et/ou empêche la liaison liant-granat.

Bitume PG

Le bitume PG fait référence à un bitume qui a été préparé pour une utilisation dans les enrobés chauds et d'autres applications de revêtement. Dans les enrobés chauds, il existe un terme générique, « liant bitumineux », pour représenter l'agent de liaison principal dans les enrobés chauds, car le « liant bitumineux » comprend le bitume PG ainsi que tout matériau ajouté pour modifier les propriétés d'origine de celui-ci.

Propriétés physiques de l'asphalte

L'asphalte peut être classé selon sa composition chimique et ses propriétés physiques. L'industrie du pavage repose généralement sur les propriétés physiques en ce qui concerne la caractérisation du rendement, bien que les propriétés physiques de l'asphalte soient le résultat direct de sa composition chimique. Généralement, les propriétés physiques les plus importantes sont :

Durabilité : la durabilité est une mesure de la façon dont les propriétés physiques du liant bitumineux changent avec l'âge (parfois appelé durcissement par vieillissement). En général, lorsqu'un liant bitumineux vieillit, sa viscosité augmente et il devient plus raide et fragile.

Rhéologie : la rhéologie est l'étude de la déformation et de l'écoulement de matières. La déformation et l'écoulement du liant bitumineux dans les enrobés chauds sont importants pour le rendement de la chaussée en enrobés chauds. Les revêtements en enrobés chauds qui se déforment et s'écoulent trop peuvent être sensibles à l'orniérage et au ressuage, tandis que ceux qui sont trop rigides peuvent être sensibles à la fissuration de fatigue.

Sécurité : le bitume PG, comme la plupart des autres matériaux, est volatile (émet des vapeurs) lorsqu'il est chauffé. À des températures extrêmement élevées (bien supérieures à celles observées dans la fabrication et la construction d'enrobés chauds), le bitume PG peut émettre assez de vapeur pour augmenter la concentration volatile immédiatement au-dessus du bitume PG au point où il s'enflammera (éclair) s'il est exposé à une étincelle ou à une flamme nue. Ceci est appelé le point d'éclair. Pour des raisons de sécurité, le point d'éclair du bitume PG est éprouvé et contrôlé.

Pureté : le bitume PG utilisé dans le revêtement en enrobés chauds, devrait être composé de bitume presque pur. Les impuretés ne sont pas des composantes de cimentation actives et peuvent nuire au rendement de l'asphalte.

Systemes de classification

Les liants bitumineux sont généralement classés en un ou plusieurs systèmes de classification abrégés en fonction de leurs caractéristiques physiques. Ces systèmes peuvent être simples ou complexes et représentent une évolution dans la capacité à caractériser le liant bitumineux. En Ontario, le système de niveau de résistance optimale (PG) Superpave est précisé.

Systeme de niveau de résistance optimale (PG) Superpave

Le système de niveau de résistance optimale (PG) Superpave a été développé dans le cadre de l'effort de recherche Superpave pour caractériser avec plus de précision et entièrement les liants bitumineux pour une utilisation dans les revêtements en enrobés chauds. Le système de niveau de résistance optimale (PG) est basé sur l'idée que les propriétés d'un liant bitumineux en enrobés chauds devraient être liées aux conditions dans lesquelles il est utilisé. Pour les liants bitumineux, cela implique des conditions climatiques attendues ainsi que des aspects de vieillissement. Par conséquent, le système de niveau de résistance optimale (PG) utilise une batterie d'essais courants (comme font les systèmes de niveau de résistance optimale de la viscosité et de pénétration plus anciens), mais précise qu'un liant bitumineux particulier doit passer ces essais à des températures spécifiques qui dépendent des conditions climatiques spécifiques de la zone d'utilisation prévue.

Le niveau de résistance optimale Superpave est représenté au moyen de deux nombres, le premier étant la température de revêtement maximale moyenne de sept jours (en Celsius) et le deuxième étant la température de conception minimale susceptible d'être observée (en Celsius). Ainsi, un niveau de résistance optimale de 58 à 28 est destiné à une utilisation où la température de revêtement maximale moyenne de sept jours est de 58 °C et la température de revêtement minimale attendue est de -28 °C. Notez que ces chiffres représentent les températures de revêtement et non pas les températures de l'air. Par exemple, le niveau de résistance optimale (PG) type utilisé dans le centre de l'Ontario est de 58 à 28. De façon réaliste, les températures de revêtement dans le centre de l'Ontario ne descendront jamais jusqu'à -28 °C, mais le liant bitumineux typiquement utilisé respectera ce critère afin qu'il soit classé en tant que tel, les niveaux sont augmentés pour tenir compte de l'effet de l'augmentation de la charge due à la circulation ou sont diminués pour tenir compte des variables telles que l'augmentation du taux de recyclage.

Classification selon la pénétration

Selon la profondeur, une aiguille standard va pénétrer un échantillon de liant bitumineux lorsqu'elle est soumise à une charge de 100 g pendant 5 secondes. L'essai est simple et facile à réaliser, mais il ne mesure pas les paramètres fondamentaux et peut seulement caractériser le liant bitumineux à une température (25 °C). Les indices de pénétration sont répertoriés comme une gamme d'unités de pénétration (une unité de pénétration = 0,1 mm de pénétration par l'aiguille standard). Les liants

bitumineux types précédemment utilisés aux États-Unis sont 65 à 70 pén et 85 à 100 pén. Ce système de classification n'est plus utilisé en Ontario.

Classification selon la viscosité

L'essai de viscosité à 60 °C et 135 °C remplace l'ancien système de classement de bitume par pénétration à 25 °C. Il peut être réalisé sur le liant bitumineux vierge (bitume tel que fourni) ou vieilli (bitume âgé). La viscosité est mesurée en poises (cm-g-s = dyne-seconde / cm², ou poises divisés par 10). Les liants bitumineux typiques utilisés aux États-Unis sont AC-10, AC-20, AC-30, AR-4000 et AR-8000. L'indice de viscosité est un meilleur système de classification, mais il ne montre pas la rhéologie du liant bitumineux à basse température. Ce système de classification n'est également plus utilisé en Ontario.

Modificateurs de liant bitumineux

Certains ciments bitumineux nécessitent des modifications afin de respecter les spécifications. La modification du bitume PG est pratiquée depuis plus de 50 ans, mais a reçu une attention accrue ces dix dernières années. Il existe de nombreux adjuvants de liant offerts sur le marché aujourd'hui. Les avantages du bitume PG modifié ne peuvent être obtenus que par une sélection judicieuse du ou des modificateurs. Tous les modificateurs ne sont pas appropriés pour toutes les utilisations. En général, le bitume PG devrait être modifié pour atteindre les types d'améliorations suivants (Roberts et al., 1996) :

Rigidité inférieure (ou viscosité) à températures élevées associées à la construction. Cela facilite le pompage du liant bitumineux liquide ainsi que le mélange et le compactage des enrobés chauds.

Rigidité accrue à températures de service élevées. Cela réduira l'orniérage et les bourrelets.

Rigidité inférieure et propriétés de relaxation plus rapides à températures de service basses. Cela réduira la fissuration thermique.

Augmentation de l'adhésion entre le liant bitumineux et les granulats en présence d'humidité. Cela réduira la probabilité de désenrobage. Le liant bitumineux utilisé avec le bon pourcentage (en poids du liant bitumineux) d'un modificateur anti-désenrobage si nécessaire entraînera une bonne adhérence granulats-asphalte du liant.

Autres formes d'asphalte utilisées dans le revêtement

Outre le bitume PG, trois autres formes d'asphalte sont utilisées en bonne place dans l'industrie du revêtement :

- **Émulsion de bitume.** L'émulsion de bitume est une suspension de petits globules de bitume PG dans l'eau, qui est assistée par un agent émulsifiant (tel que le savon). Les émulsions de bitumes ont des viscosités plus faibles que l'asphalte propre (brut) et peuvent donc être utilisées dans les applications à basse température. Une fois l'émulsion de bitume appliquée, l'eau s'évapore (se rompt) et il ne reste que le bitume PG. Les émulsions de bitume sont souvent utilisées comme liants d'imprégnation et liants d'accrochage.
- **Bitume fluidifié.** Le bitume fluidifié est une combinaison de bitume PG et de solvant pétrolier. Comme pour les émulsions de bitume, les bitumes fluidifiés sont utilisés, car leur viscosité est plus faible que celle d'un asphalte propre et peuvent donc être utilisés dans les applications à basse température. Une fois le bitume fluidifié appliqué, le solvant s'évapore et il ne reste que le bitume PG. Les bitumes fluidifiés sont beaucoup moins courants aujourd'hui, car le solvant pétrolier est plus cher que l'eau et peut représenter un problème environnemental. Les bitumes fluidifiés sont généralement utilisés comme liants d'imprégnation et liants d'accrochage.
- **Bitume-mousse.** Le bitume-mousse est formé en combinant un liant bitumineux chaud avec de petites quantités d'eau froide. Lorsque l'eau entre en contact avec le liant bitumineux chaud, elle se transforme en vapeur, qui se retrouve piégée dans de minuscules bulles de liant bitumineux (World Highways, 2001). Le résultat donne un bitume-mousse à volume élevé et à fin film. Cet état de mousse à volume élevé ne dure seulement que quelques minutes, après lesquelles le liant bitumineux reprend ses propriétés d'origine. Le bitume-mousse peut être utilisé comme liant dans la stabilisation du revêtement de sol ou de base, et est souvent utilisé en tant qu'agent de stabilisation dans le recyclage à froid en place (CIPR).

Formule de mélange Marshall

Les concepts de base de la méthode de formule de mélange Marshall ont été initialement développés par Bruce Marshall du département routier du Mississippi vers 1939, puis affinés par l'armée américaine.

Généralement, la méthode de formule de mélange Marshall se compose de trois étapes de base :

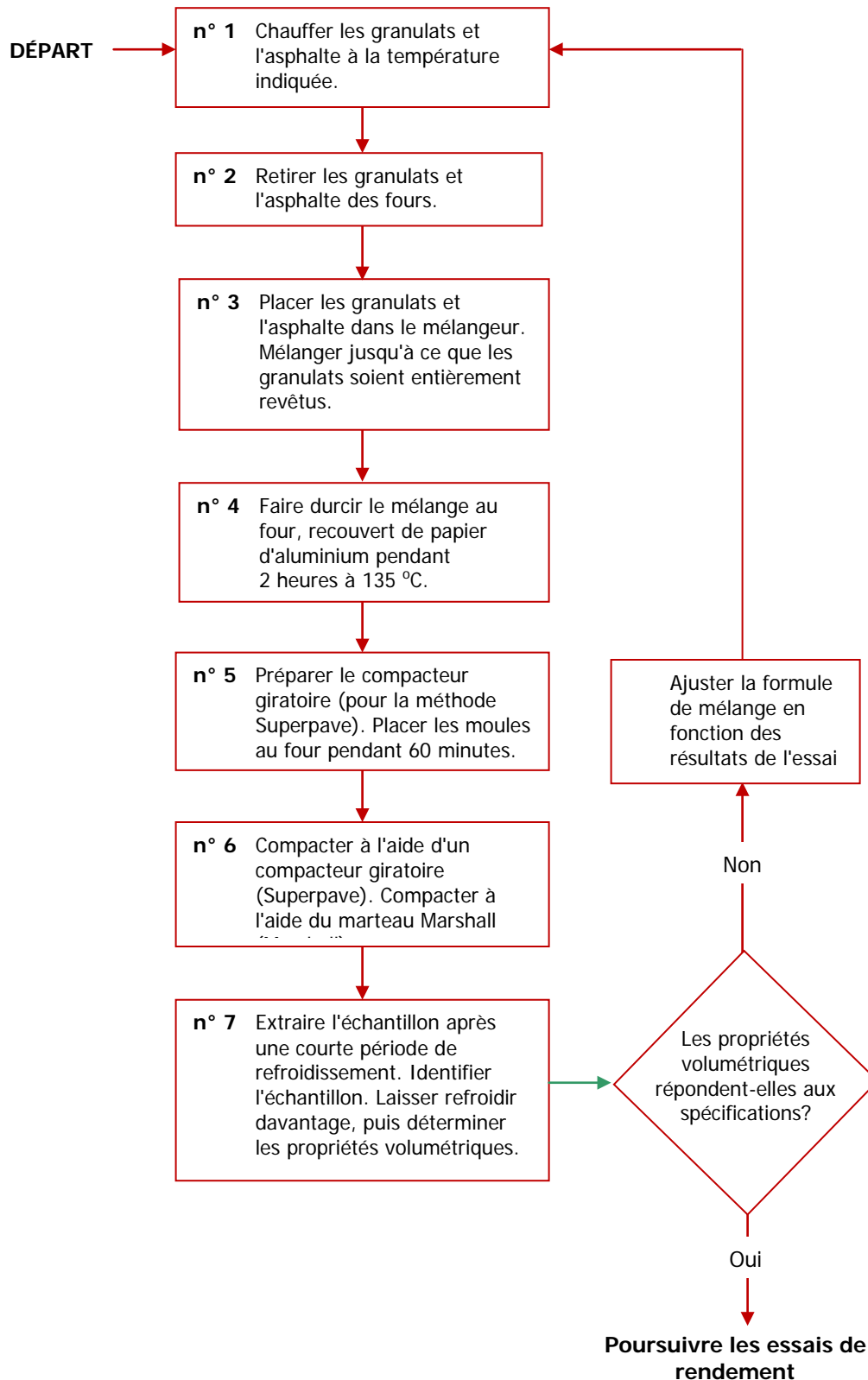
1. **Choix des granulats** : divers organismes/propriétaires précisent différentes méthodes d'acceptation des granulats. Les laboratoires privés peuvent ou non exécuter régulièrement des essais physiques sur une source de granulats particulière. Pour chaque formule de mélange, les exigences de granulométrie et de taille sont vérifiées. Souvent, des granulats provenant de plus d'une source sont nécessaires pour respecter les exigences granulométriques.
2. **Choix du liant bitumineux** : consultez le document contractuel pour déterminer le niveau de liant spécifié.
3. **Détermination du taux de liant bitumineux optimal** : dans la méthode Marshall, cette étape peut être divisée en 5 sous-étapes :
 - I. Préparer une série d'échantillons initiaux, chacun ayant un taux de liant bitumineux différent. Par exemple, deux à trois échantillons, chacun pouvant être constitué de 4,5, 5,0, 5,5, 6,0 et 6,5 pour cent d'asphalte en poids sec pour un total de 10 à 15 échantillons. Il devrait y avoir au moins deux échantillons au-dessus et deux échantillons en dessous du taux d'asphalte optimal estimé.
 - II. Compacter ces mélanges d'essais à l'aide du marteau de battage Marshall. Ce marteau est spécifique à la méthode de formule de mélange Marshall.
 - III. Éprouver la stabilité et l'écoulement des échantillons dans l'appareil d'essai Marshall. Cet appareil d'essai est spécifique à la méthode de formule de mélange Marshall. Les valeurs de stabilité et d'écoulement ayant réussi l'essai dépendent de la classe de mélange en cours d'évaluation.
 - IV. Déterminer la densité et les autres propriétés volumétriques des échantillons. Choisir le taux de liant bitumineux optimal. Le taux de liant bitumineux correspondant à 4 pour cent de vides est sélectionné aussi longtemps que le taux de liant atteint les exigences de stabilité et d'écoulement.
 - V. Une façon plus rapide consiste à exécuter des essais basés sur le mélange granulaire, les propriétés d'essai, le taux de bitume PG différent. Le mélange d'essais qui fournit 4 pour cent de vides et qui respecte les spécifications est sélectionné.

Types de mélanges utilisés en Ontario

Tableau 1 : Résumé des types de mélanges Marshall utilisés en Ontario

| Type d'enrobé à chaud | Abréviation | Résumé de l'utilisation et des propriétés de l'enrobé à chaud |
|---------------------------------------|-------------|---|
| Couche de frottement dense | DFC | Un mélange de revêtement de surface à granulométrie dense avec résistance de frottement élevée pour les routes à haut volume |
| Pose à chaud 1 | HL 1 | Un mélange de revêtement de surface à granulométrie dense avec un granulat grossier de qualité supérieure |
| Pose à chaud 2 | HL 2 | Un mélange de sable principalement utilisé comme enduit de dressement sur les chaussées ou le revêtement de surface existants des zones de circulation à faible vitesse nécessitant un recouvrement fin |
| Pose à chaud 3 | HL 3 | Un mélange pour revêtement de surface à granulométrie dense pour les routes à volume intermédiaire |
| Pose à chaud 3 stabilité élevée | HL 3HS | Un mélange de remplissage et de nivellement à granulométrie dense de stabilité élevée |
| Pose à chaud 3 fine | HL 3F | Un mélange à granulométrie fine utilisé comme revêtement de surface où un travail manuel est nécessaire pour la pose |
| Pose à chaud 4 | HL 4 | Un mélange à granulométrie dense utilisé comme revêtement de surface ou comme couche de liaison sur les routes à faible volume |
| Pose à chaud 4 fine | HL 4F | Un mélange à granulométrie fine utilisé comme revêtement de surface où un travail manuel est nécessaire pour la pose |
| Pose à chaud 8 | HL 8 | Un mélange pour couche de liaison à granulométrie dense |
| Couche de liaison de service moyen | MDBC | Un mélange pour couche de liaison destiné à être utilisé dans les endroits où l'orniérage et la déformation sont possibles |
| Couche de liaison de service intensif | HDBC | Un mélange pour couche de liaison à stabilité élevée conçu pour offrir une résistance supérieure à l'orniérage |

Procédure de base



Méthode de formule de mélange Superpave

Cette section du manuel portera sur les éléments essentiels du procédé de formule de mélange Superpave. Un exemple inclus met l'accent sur l'élaboration des poids et pourcentages des lots d'essai, qui devraient être résumés sur une feuille de travail de formule de mélange que le personnel du laboratoire de contrôle de la qualité (QC) utilisera pour fabriquer l'échantillon d'enrobés chauds (HMA).

Estimation de la charge due à la circulation

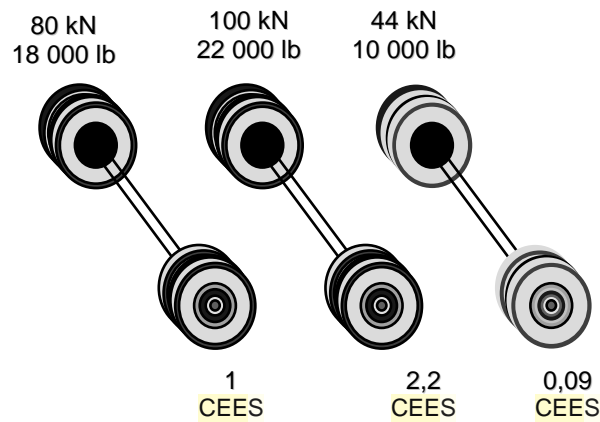


Figure 1 : Comparaison CEES (charge équivalente par essieu simple)

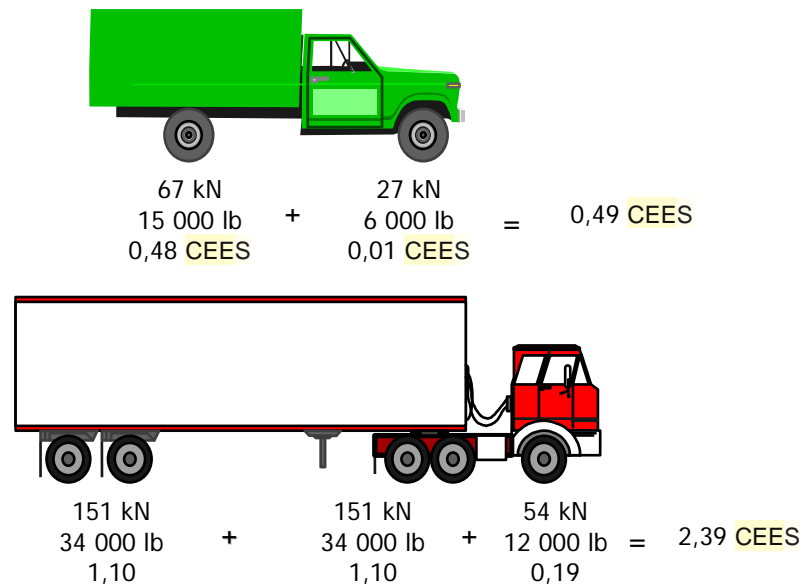


Figure 2 : Exemple de calcul de CEES

Choix du liant du bitume PG

Le système de classification du bitume PG est déterminé par l'environnement et le niveau de circulation. **Figure 3** ci-dessous affiche les recommandations de classification du bitume PG pour diverses régions (environnements).

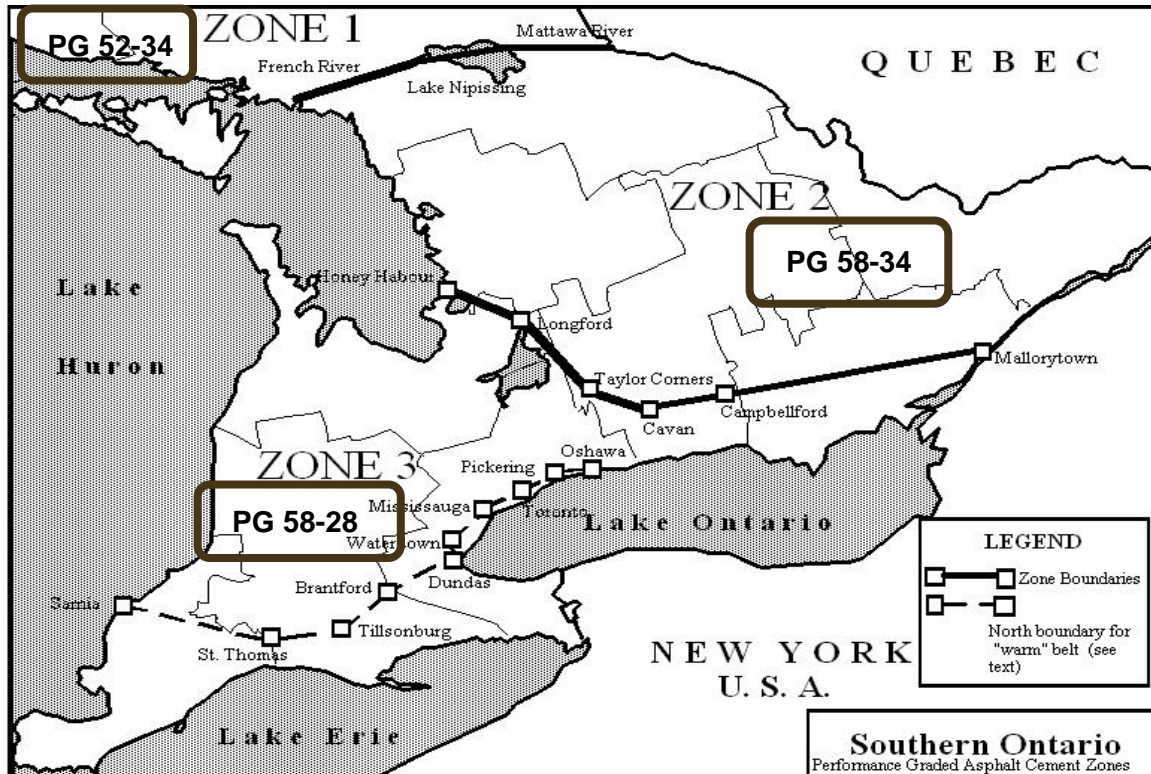


Figure 3 : Classification du bitume PG pour diverses régions

Un autre facteur qui influe sur le choix du liant est l'effet de la vitesse de charge.

Exemple :

Pour une autoroute à péage avec une vitesse limitée à **90 km/h**

Recommandé : **PGAC 64-22**

Pour un poste de péage avec **circulation lente**

Recommandé : **PGAC 70-22**

Pour les postes de pesage qui impliquent beaucoup d'**arrêts**

Recommandé : **PGAC 76-22**

Définitions de la taille des granulats

Tableau 2 : Désignations du tamis de contrôle principal

| Le point de contrôle du tamis de contrôle principal (PCS) pour la taille maximale nominale des granulats du mélange (% passant) | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|
| Taille maximale nominale des granulats (mm) | 37,5 | 25,0 | 19,0 | 12,5 | 9,5 |
| Tamis de contrôle principal (mm) | 9,5 | 4,75 | 4,75 | 2,36 | 2,36 |
| Point de contrôle du PCS (% passant) | 47 | 40 | 47 | 37 | 47 |

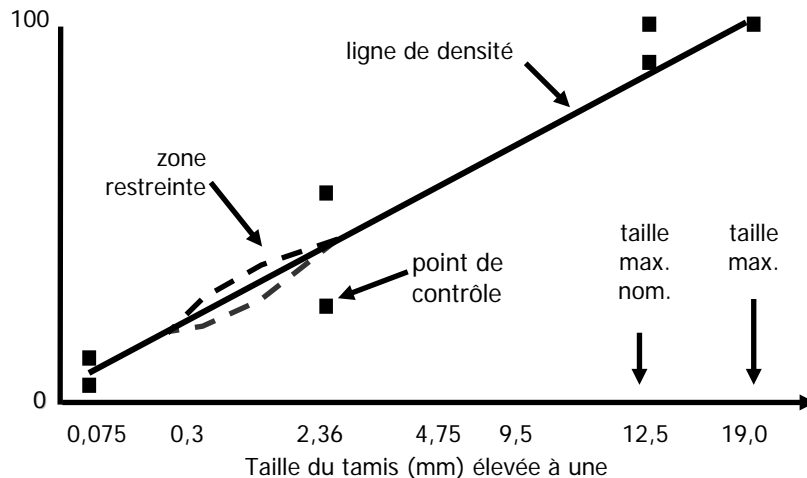


Figure 4 : Graphique de granulométrie du mélange de granulats avec limites de granulométrie Superpave

Propriétés consensuelles des granulats

Plat, allongé ou plat et allongé (F&E)

Définition :

-Les particules plates ou allongées des granulats sont les particules des granulats ayant un rapport de largeur ou de longueur sur la largeur supérieur à une valeur spécifiée.

-Les particules plates et allongées des granulats sont ces particules ayant un rapport de longueur sur épaisseur supérieur à une valeur spécifiée.

* Longueur : dimension maximale de la particule

* Largeur : dimension maximale dans le plan perpendiculaire à la longueur

* Épaisseur : dimension maximale perpendiculaire à la longueur et à la largeur

Résumé de la méthode d'essai :

Chaque particule de granulats de tailles de tamis spécifiées est mesurée afin de déterminer le rapport entre la largeur et l'épaisseur, la longueur et la largeur, ou la longueur et l'épaisseur.

Importance et utilisation

Les particules plates ou allongées des granulats, pour certaines utilisations de construction, peuvent interférer avec la consolidation et donner lieu à des matériaux durs et difficiles à poser.

Cet essai fournit un moyen de vérifier la conformité aux spécifications, limitant ainsi ces particules, ou de déterminer les caractéristiques de forme relative des granulats grossiers.

Procédure :

Utiliser des matériaux retenus sur le tamis de 4,75 mm (n° 4), réduire chaque classe granulométrique de 100 particules pour chaque classe granulométrique requise.

Procédure d'essai

Régler la plus grande ouverture à égalité avec la longueur de la particule. La particule est plate et allongée si lorsqu'elle est orientée pour mesurer son épaisseur, peut passer complètement à travers la plus petite ouverture du compas d'épaisseur. Sur le compas d'épaisseur, régler la dimension minimale du compas d'épaisseur telle que la particule, lorsqu'elle est orientée pour mesurer son épaisseur, passe facilement entre la tige et le bras oscillant. La particule est plate et allongée si la particule, lorsqu'elle est orientée pour mesurer sa longueur, ne parvient pas à passer à travers la grande ouverture souhaitée du compas d'épaisseur.

Une fois les particules classées en groupes, déterminer la proportion de l'échantillon dans chaque groupe, en nombre ou en masse, au besoin.

Calcul :

Calculer le pourcentage de particules plates et allongées à 1 % près pour chaque taille de tamis supérieure à 9,5 mm ou 4,75 mm.

Essai d'équivalent de sable (ES)

Objectif :

Cet essai est destiné à servir d'essai sur le chantier afin de montrer la proportion relative de poussière fine ou de matériau argileux dans le sol ou les granulats calibrés.

Préparation de l'échantillon :

- (a) L'essai d'équivalent de sable doit être effectué sur les matériaux granulaires passant au travers d'un tamis de 4,75 mm et tous les granulats fins doivent être nettoyés des particules retenues sur le tamis de 4,75 mm et inclus avec les matériaux passant au travers d'un tamis de 4,75 mm.
- (a) Séparer l'échantillon pour remplir la boîte de mesure de 85 ml (3 oz) afin qu'il soit légèrement arrondi au-dessus du bord, tout en tapotant et en remplissant le bord inférieur pour provoquer la consolidation du matériau et pouvoir placer une quantité maximale dans la boîte. Araser le dessus de la boîte avec une spatule.
- (b) Ajouter une solution d'environ 101,6 +/-2,5 (4,0 +/-0,1 po) de chlorure de calcium dans le vérin. Laisser reposer l'échantillon et la solution pendant environ 10 min +/- 1 min. À la fin du temps, obturer le vérin, puis libérer les matériaux à partir du bas en retournant partiellement le vérin et en l'agitant simultanément. Après avoir libéré les matériaux, agiter le vérin et le contenu manuellement, en tenant la main en position horizontale, l'agiter vigoureusement dans un mouvement linéaire horizontal d'un bout à l'autre. Agiter le vérin pendant 90 cycles en 30 secondes environ à l'aide d'une manivelle de 229 +/- 25 (9 +/-1 po). Un cycle est défini comme étant un mouvement complet de va-et-vient.
- (c) Après avoir agité, poser le vérin sur la table de travail en position verticale et retirer l'obturateur. Irriguer en insérant le tube d'irrigation et en manipulant l'échantillon vers le bas et en rinçant les matériaux du corps du vérin, libérer la solution jusqu'à 381 mm, augmenter l'irrigation et compléter la solution jusqu'à 381 mm sur le vérin.

- (d) Laisser reposer le vérin et le contenu pendant 20 mm +/-15 secondes. Démarrer une minuterie immédiatement après le retrait du tube d'irrigation.
- (e) À la fin d'une période de sédimentation de 20 min, lire et consigner le niveau de la partie supérieure de la suspension d'argile. Ceci est appelé « lecture d'argile ». Après la lecture d'argile, prendre la « lecture de sable » par l'ensemble en pieds pondérés ayant l'indicateur de sable sur la tige de l'assemblage, le placer doucement sur le sable et le faire entrer en contact avec le corps du vérin. Soustraire 254 mm (10 po) de l'indicateur de niveau de l'extrême bord supérieur de l'indicateur et consigner cette valeur comme « lecture de sable »
- (f) Si la lecture de sable ou la lecture d'argile se situe entre une granulométrie de 2,5 mm (0,1 po), consigner le niveau de lecture de granulométrie le plus élevé.

Calcul :

Calculer l'équivalent de sable (ES) à 0,1 près en utilisant la formule :

$$ES = \text{Lecture de sable} \times 100 / \text{lecture d'argile}.$$

Angularité des granulats fins (FAA)

Objectif :

Cette méthode décrit la teneur en vides non compactés en vrac d'un échantillon de granulats fins. Lorsque la teneur en vides est mesurée sur un granulat fin brut d'usinage, elle peut être un indicateur de l'effet des granulats fins sur la maniabilité d'un mélange qu'on peut utiliser.

Trois procédures sont incluses pour mesurer les teneurs en vides. Deux utilisent une classification standard ou une classification brute d'usinage, tandis que la troisième utilise plusieurs classes granulométriques individuelles pour mesurer la teneur en vides. La méthode C mesure la teneur en vides non compactés de la partie moins 4,75 mm du matériau brut d'usinage. Cette teneur en vides dépend de la granulométrie ainsi que de la forme et de la texture de la particule.

Procédure :

Une unité de mesure cylindrique calibrée nominale de 100 ml est remplie avec des granulats fins de classification prescrite permettant à l'échantillon de couler à travers un entonnoir à partir d'une hauteur fixe dans l'unité de mesure. Le granulat fin est arasé et sa masse est déterminée par pesée. La teneur en vides non compactés est calculée comme la différence entre le volume de l'unité de mesure cylindrique et le volume absolu de granulats fins recueillis dans l'unité de mesure. La teneur en vides non compactés est calculée en utilisant la densité spécifique globale à sec des granulats fins. Deux essais sont effectués sur chaque échantillon et la moyenne des résultats est calculée.

L'échantillon d'essai dans la classification brute d'usinage peut être utile dans la sélection de la proportion de composants utilisés dans une variété de mélanges. En général, une teneur en vides élevée suggère que les matériaux pourraient être améliorés en fournissant plus de particules fines dans les granulats fins ou plus de matériaux de ciment peuvent être nécessaires pour remplir les vides entre les particules.

Calcul :

Calculer les vides non compactés pour chaque détermination comme suit :

$$U = \frac{V - (F/G)}{V} \times 100 \text{ où } V = \text{volume de l'unité de mesure cylindrique, } F = \text{masse nette de granulats fins dans l'unité de mesure, } G = \text{densité spécifique globale à sec des granulats fins, } U = \text{vides non compactés, pourcentage.}$$

Catégories de circulation

Tableau 3 : Catégories de circulation avec conception CEES

| Catégorie | Conception CEES (millions) |
|-----------|----------------------------|
| A | < 0,3 |
| B | 0,3 à 3 |
| C | 3 à 10 |
| D | 10 à 30 |
| E | > 30 |

Effort de compactage

Tableau 4 : Catégories de circulation et paramètres de compactage

| Catégorie de circulation | Paramètres de compactage | | |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------|
| | N _{initial} | N _{conception} | N _{max} |
| A | 6 | 50 | 75 |
| B, C | 7 | 75 | 100 |
| D | 8 | 100 | 160 |
| E | 9 | 125 | 205 |

Remarque :

N_{initial} – Densité pour la stabilité sous les rouleaux

N_{conception} – Densité pour rendement à court terme

N_{max} – Densité pour rendement à long terme

Comment choisir

Tableau 5 : Conception CEES avec paramètres relatifs de compactage giratoire

| Conception CEES (million) | Paramètres de compactage giratoire | | | Description de la chaussée typique |
|---------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------|--|
| | N _{initial} | N _{conception} | N _{max} | |
| < 0,3 | 6 | 50 | 75 | <ul style="list-style-type: none">• Circulation légère• Routes locales• Chaussées à vocation touristique• Où la circulation est à un niveau très minime |
| 0,3 à 3 | 7 | 75 | 100 | <ul style="list-style-type: none">• Rues de ville à circulation moyenne• Majorité des chaussées du pays |
| 3 à 30 | 8 | 100 | 125 | <ul style="list-style-type: none">• Rues de ville à circulation moyenne à intensive• Certaines autoroutes rurales |
| > 30 | 9 | 125 | 205 | <ul style="list-style-type: none">• Système d'autoroute américain• Postes de pesage de camions• Voies pour véhicules lents |

Exemple d'une formule de mélange

Matériaux :

Les matériaux suivants seront utilisés dans le lot d'essai et pour la fabrication d'échantillon d'enrobés chauds. Les désignations des granulats sont basées sur les spécifications par le ministère des Transports en Ontario (MTO) :

- Liant de bitume PG à niveau de résistance optimale : **PGAC 58-28**
- Granulats grossiers : **CA n° 1**
- Granulats fins : **FA n° 1**
- Granulats fins : **FA n° 2**
- Poussière d'usine – charges minérales

Critères de conception :

Les spécifications suivantes aperçues dans le **Tableau 6** sont présentées pour mettre en évidence les valeurs cibles de conception primaire nécessaires pour l'approbation du mélange sous les critères du MTO (ministère des Transports en Ontario), seulement pour la désignation du mélange à **point de ramollissement (SP) de 12,5 mm**. Pour les autres mélanges, se référer aux sources appropriées des valeurs cibles.

Tableau 6 : Spécifications de la formule de mélange

| Spécifications du mélange | MTP SP 12,5 mm |
|---|----------------|
| Catégorie de mélange | A |
| Charges équivalentes par essieu simple (CEES) | < 0,3 million |
| Nombre de girations ($N_{\text{conception}}$) | 50 |
| Vides dans le granulat minéral (VMA) | 14,0 % |
| Pourcentage (%) de vides (V_a) | 4,0 % |
| Vides remplis de granulats (VFA) | 70 à 80 % |
| Proportion de poussière (DP) | 0,6 à 1,2 |

Tableau 7 : Exigences de granulométrie pour mélange à point de ramollissement (SP) de 12,5 mm

| Exigences de granulométrie : Composition du mélange | | |
|---|--------------------|---------|
| Pourcentage passant | Points de contrôle | |
| | Minimum | Maximum |
| Taille du tamis | | |
| 12,5 mm | 90 | 100 |
| 9,5 mm | | 90 |
| 4,75 mm | | |
| 2,36 mm | 28 | 58 |
| 75 μm | 2 | 10 |

Remarque : Superpave utilise le graphique de puissance 0,45 pour prévoir la granulométrie du mélange. L'exemple suivant illustre la façon dont cela est accompli pour le mélange à point de ramollissement (SP) de 12,5 mm. La granulométrie du mélange final doit se situer entre les points de contrôle. Pour augmenter ou réduire les vides dans le granulat minéral (VMA), modifier la granulométrie de telle sorte que la ligne de mélange se déplace au-dessus ou en dessous de la ligne de densité maximale, comme indiqué (voir **Figure 4**).

Procédures

Étape 1

Choisir les pourcentages de granulats et de bitume PG pour le lot d'essai. Des lignes directrices sont fournies ci-dessous pour une utilisation dans le mélange à point de ramollissement (SP) de 12,5 mm.

Tableau 8 : Lignes directrices de la composition du matériau pour un mélange à SP de 12,5 mm

| Matériau | Fourchette de pourcentage (%) |
|----------------|-------------------------------|
| CA n° 1 | 55 à 60 |
| FA n° 1 | 18 à 23 |
| FA n° 2 | 20 à 25 |
| Poussière (CM) | 1 à 2 |
| AC 58 à 28 | 4,5 à 6,0 |

Étape 2

Calculer les pourcentages totaux de chaque lot granulométrique. L'exemple qui suit est pour le tamis de 2,36 mm.

| Taille du tamis | CA n° 1 | FA n° 1 | FA n° 2 | Poussière | AC 58-28 |
|-------------------------------|---------|---------|---------|-----------|----------|
| Lot d'essai % | 57,5 | 19,0 | 22,0 | 1,5 | 5,0 |
| % passant au tamis de 2,36 mm | 4 | 92 | 77 | 100 | |

Le pourcentage total du lot (pour les matériaux granulaires) est calculé en additionnant les pourcentages d'essai de chaque granulat à sa valeur passante en pourcentage de granulométrie.

Exemple :

$$\begin{aligned} \text{Pourcentage du lot} &= (0,575 \times 4) + (0,19 \times 92) + (0,22 \times 77) + (0,015 \times 100) \\ &= 38,2 \text{ \% (tamis de 2,36 mm)} \end{aligned}$$

Remarque :

D'après cet exemple, chaque taille de tamis qui est incluse dans le lot d'essai doit être calculée de la même manière afin de pouvoir obtenir un pourcentage de lot passant (pour les granulats). Il faut noter que le liant de bitume PG est simplement ajouté au mélange sur la base de son poids en pour cent, en raison du fait qu'il est un composant liquide du lot.

Étape 3

Placer les pourcentages totaux du lot pour chaque taille de tamis calculée à l'étape 2 sur le graphique de puissance 0,45.

Étape 4

Vérifier que la granulométrie du lot reste entre les points de contrôle. Si ce n'est pas le cas, choisir des pourcentages différents de matériau, recalculer les pourcentages du lot et placer le nouveau lot.

Remarque :

Le lot d'essai doit se situer dans les paramètres du graphique de puissance 0,45 afin de poursuivre.

Étape 5 :

Après avoir réussi à obtenir les pourcentages de granulométrie du lot d'essai, réaliser un nouveau lot pour le mélange d'asphalte.

Étape 6

Déterminer si le lot d'essai respecte les spécifications du MTO. Calculateur de vides (Va), vides dans les granulats minéraux (VMA), vides remplis d'asphalte (VFA) et poussières de la proportion de liant (DP). Si ces critères sont respectés, une formule de mélange Superpave appropriée sera créée.

Volumétrie de la formule de mélange

Afin de déterminer si le lot d'essai respecte les critères de conception, le mélange doit être éprouvé pour vérifier que les valeurs cibles ont été respectées pour la granulométrie particulière choisie. Les procédures suivantes mettent en évidence le procédé final de la formule de mélange et les résultats détermineront si le mélange est adéquat en fonction des critères.

- Densité théorique maximale des enrobés chauds, G_{mm}
Se référer à ASTM D 2041-95
- Densité spécifique globale des enrobés chauds, G_{mb}
Se référer à ASTM D 2726-96a
- Densité spécifique globale combinée du mélange de granulats, G_{sb}
Lorsque le mélange total d'essais de granulats est composé de granulats ayant des densités spécifiques différentes, ce qui est généralement le cas, la densité absolue globale pour le mélange doit être calculée en utilisant :

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Où G_{sb} = densité absolue globale du mélange total de granulats

P_1, P_2, P_n = pourcentages individuels par masse de granulats

G_1, G_2, G_n = densités absolues individuelles des granulats

- Le pourcentage de granulats par le volume, P_s
Le pourcentage total par la masse du lot que les granulats constituent

Calcul

Intégrer les valeurs ci-dessus dans les équations suivantes pour déterminer les VAM, Va et VFA

| Propriété | Valeur cible |
|--|--------------|
| $VMA = 100 - \frac{(G_{mb} \times P_s)}{G_{sb}}$ | 15 % |
| $Va = 100 \times \frac{(G_{mm} - G_{mb})}{G_{mm}}$ | 4,0 % |
| $VFA = 100 \times \frac{(VMA - Va)}{VMA}$ | 65 % à 78 % |

Conclusion

Créer une formule de mélange d'enrobés chauds répondant aux critères Superpave est une tâche fastidieuse et détaillée, mais qui doit être effectuée par l'instructeur si le laboratoire d'asphalte fonctionne efficacement. Une formule de mélange, c'est bien plus que seulement mélanger des granulats avec du bitume chaud pour former un échantillon d'enrobés chauds. Une attention particulière aux détails de granulométrie des granulats et l'atteinte des valeurs cibles assureront que le mélange bitumineux créé en lots dans le laboratoire et les résultats de l'essai découverts par les étudiants sont valides. En créant une bonne formule de mélange, les étudiants acquerront des connaissances plus avancées sur le procédé de formule de mélange et la nécessité d'avoir des chaussées bien conçues.

Contrôle du procédé de production du mélange

Une fois que nous avons terminé la formule de mélange, nous la remettons à l'usine pour la production. Il peut parfois y avoir une différence entre ce que nous demandons à l'usine de créer et ce qui est vraiment produit. Il faut se rappeler que la formule de mélange est créée dans un laboratoire dans des conditions idéales.

- Il existe un certain nombre de variables qui surviennent sur le chantier, y compris un nombre de variables d'usine et une fluctuation des réserves de granulats qui affectent les propriétés de mélange.
- C'est pourquoi nous effectuons un contrôle de procédé du mélange produit à l'usine, pendant que l'usine produit, nous continuons de faire des essais pour atteindre ces propriétés requises, et une fois qu'elles dévient, nous ajustons le procédé de l'usine ou notre formule de mélange destinée au chantier afin de se conformer aux spécifications.

Obtenir des échantillons du chantier

Tandis que le procédé de revêtement démarre, des échantillons du chantier sont recueillis et apportés dans notre laboratoire aux fins de contrôle de la qualité, afin d'éprouver leurs propriétés.

- MTV (véhicule de transfert des matériaux) disponible : utiliser une trémie à échantillon montée sur camion pour obtenir un échantillon d'essai de quantité considérable, remélanger et diviser grâce au Gilson Quarter Master. Transférer dans des boîtes pour échantillon individuelles pour effectuer un CQ (contrôle de la qualité), une AQ (assurance de la qualité) et des essais étalons en laboratoire. Assurer que toutes les boîtes d'échantillons sont identifiées de manière adéquate et lisible.
- Livraison directe d'un camion de transport à la trémie de la machine de revêtement : prendre quelques échantillons de plaque, remélanger et diviser grâce à un diviseur de grande capacité, puis transférer dans des boîtes pour échantillon pour effectuer un CQ, une AQ et un essai étalon.

Essai en laboratoire

Les mélanges de béton bitumineux conçus avec la méthode Marshall ou Superpave, jouent un rôle important dans la construction des revêtements routiers. Dans chaque cas, l'objectif est d'offrir un revêtement de chaussée lisse qui est durable et stable. Le succès de tout cela dépend des granulats, du bitume PG et de tous autres produits de qualité utilisés.

Les granulats pour enrobés chauds doivent comprendre des particules fines et grossières afin d'aider à remplir les vides entre les plus grosses particules. La forme des particules des granulats est également importante, le côté irrégulier et concassé des particules les aide à s'emboîter pour une

meilleure stabilité. Si les particules des granulats sont lisses et arrondies ou si elles sont de la même taille, elles ne s'emboîteront et ne se supporteront pas les unes les autres.

Parfois, un adjuvant minéral tel que l'hydroxyde de calcium, etc. est ajouté à l'enrobé chaud pour améliorer la résistance à l'arrachement.

Dans les mélanges de revêtement bitumineux, l'asphalte est ajouté aux granulats et est soigneusement mélangé pour lier les particules des granulats ensemble. Il convient de se rappeler qu'il faut juste la bonne quantité de bitume PG. S'il n'y a pas assez de bitume PG (AC), ce dernier ne peut pas maintenir les particules des granulats ensemble, et s'il y a trop de bitume PG (AC), il a tendance à lubrifier les particules de sorte qu'elles glissent les unes sur les autres.

Se rappeler que la conception et les essais de l'enrobé chaud Superpave sont effectués conformément aux normes OPSS 1151 et AASHTO T 312.

Préparation de l'échantillon d'essai

Pour préserver la cohérence entre les résultats des essais des laboratoires (CQ), d'AQ et les essais étalons, tous les échantillons de chantier éprouvés pour approbation doivent être refroidis, divisés et réchauffés avant les essais. Suivre la procédure LS pour les essais Marshall en ce qui concerne ce procédé.

- Si l'échantillon de chantier arrive chaud au laboratoire, un tel échantillon peut être divisé à la taille requise pour être éprouvé immédiatement et pour que les parties de l'essai puissent, par la suite, refroidir à température ambiante avant d'être réchauffées et éprouvées.
- Les échantillons de chantier doivent être chauffés à une température comprise entre 85 °C et 100 °C pour permettre la maniabilité des échantillons pour une division initiale en fractions d'essai requises.
- Connaître la classification du bitume PG (AC) dans l'échantillon étant réchauffé, un niveau de résistance optimale (PG) plus élevé, disons PG 70 à 28, peut nécessiter une température à l'extrémité supérieure de l'intervalle recommandé, tandis que le bitume PG (AC) plus souple, disons PG 58 à 28, peut nécessiter une température proche de l'extrémité inférieure de l'intervalle.
- Le four à micro-ondes est acceptable pour le réchauffage initial des échantillons. S'assurer que la boîte d'échantillons étant réchauffée est constamment repositionnée afin d'éviter la surchauffe d'un échantillon en particulier ou pour empêcher la boîte de prendre feu.
- Les fours à convection ou à air forcé utilisés pour le réchauffage initial des échantillons doivent être réglés à 110 +/- 5 °C. Le four doit être capable de chauffer l'échantillon à une plage de températures exploitable aussi rapidement que possible. S'assurer que les échantillons réchauffés ne restent pas dans le four pendant plus d'une heure. Cela permettra d'assurer que le bitume PG (AC) dans l'échantillon n'est pas oxydé avant de commencer l'essai.

- Diviser les échantillons avec un diviseur de boîte à riffles, cette méthode, d'après notre expérience, réduit la ségrégation de l'échantillon, assure qu'une partie représentative de l'échantillon d'essai est obtenue pour chaque fraction d'essai.
- Les fractions d'échantillon pour le bitume PG ou la granulométrie, la densité relative maximale (MRD) et la densité relative apparente (BRD) doivent être préparées en divisant progressivement l'échantillon jusqu'à obtenir la masse requise de fraction d'essai pour chaque essai requis.
- Ensuite, procéder à l'essai pour obtenir le bitume PG ou la granulométrie, la densité relative maximale (MRD) et le taux d'humidité à l'aide des procédures LS pertinentes et consigner tous les paramètres d'essai sur la feuille de travail approuvée du laboratoire.
- Lorsque nous recevons l'échantillon au laboratoire, nous le divisons jusqu'à obtenir une taille exploitable selon l'essai. Par exemple, un essai pour obtenir le pourcentage de bitume PG et la granulométrie nécessite généralement un poids d'échantillon d'environ 2 000 grammes pour les mélanges pour couche de liaison.
- Il existe deux méthodes pour déterminer le pourcentage de bitume PG dans le mélange.
 - ✓ La première méthode utilise un solvant appelé trichloroéthylène pour dissoudre le bitume PG à partir du reste de l'échantillon. Nous laissons l'échantillon tremper dans le produit chimique pendant quelques cycles, puis nous le faisons tourner.
 - ✓ La deuxième méthode est le four d'allumage, au lieu de dissoudre le bitume PG, cette méthode le brûle. Le four d'allumage fonctionne à environ 500 °C et représente une méthode plus rapide pour déterminer le pourcentage de bitume PG.
- Avec ces deux méthodes, nous pesons l'échantillon avant et après que l'asphalte est éliminé. Nous pouvons ensuite calculer le pourcentage de bitume PG et le comparer à la formule de mélange.
- Une fois le bitume PG retiré de l'échantillon, nous nous retrouvons avec la matrice granulaire composée de cailloux et de sable. L'échantillon est lavé, séché et jeté dans un ensemble de tamis qui séparent les granulats par leur taille et nous calculons ensuite la granulométrie de l'échantillon. Nous comparons cette granulométrie avec la granulométrie de la formule de mélange, qui est désignée sous le nom de formule de mélange pour chantier (FMC).
- Les échantillons obtenus sur le chantier sont également éprouvés pour leurs propriétés Marshall, similaires aux essais effectués au cours de la phase de conception du mélange. Si le pourcentage de vides dans la brique est hors limite, nous effectuons généralement des ajustements sur les granulats vierges allant à l'usine afin que les vides deviennent acceptables.

Échantillon d'essai Superpave

Les échantillons à densité relative apparente (BRD) doivent être formés par un compacteur giratoire, totalement différent de la méthode Marshall, afin d'obtenir la densité relative apparente (BRD). Suivre ces lignes directrices pour demeurer à l'avant-garde des laboratoires offrant ce service.

- Se rappeler que l'objectif de hauteur de l'échantillon à N_{des} doit être de 115 +/- 3 mm. Les échantillons à densité relative apparente divisés pour le compactage giratoire devraient être suffisants pour obtenir une brique aussi proche de 115 mm que possible.
- Utiliser le poids de la formule de mélange pour le mélange, comme point de départ pour obtenir cette hauteur. Si le poids donné dans la formule de mélange ne fournit pas la hauteur appropriée, ajuster la masse du mélange pour produire un échantillon répondant aux exigences de hauteur.
- Généralement, pour les mélanges à densité normale, un écart d'environ 40 grammes du poids recommandé pour la formule de mélange produira un changement de 1 mm dans la hauteur de l'échantillon. Noter que certains mélanges Superpave à granulométrie fine ou grossière pourraient ne pas suivre cette règle générale.
- Pour les échantillons Superpave de formule de mélange, les cuire dans le four pendant deux heures avant le compactage. Si les échantillons d'enrobé chaud provenant du chantier Superpave sont produits dans une usine d'essai, ne pas cuire.
- Étaler les échantillons giratoires de formule de mélange en une épaisseur uniforme de 25 à 50 mm dans un moule à fond plat, recouvrir l'échantillon avec une feuille d'étain afin d'empêcher une oxydation supplémentaire lors du chauffage à température de compactage spécifiée pour le mélange.
- Régler la température du four afin qu'elle ne dépasse pas plus de 5 °C la température de compactage établie pour le mélange. Surveiller la température en continu à une fréquence qui permettra le compactage de l'échantillon immédiatement après avoir atteint la température de compactage désignée.
- Les échantillons devraient être mélangés pour éviter une surchauffe localisée et promouvoir un chauffage uniforme des échantillons au moins toutes les 30 minutes, faire attention aux « points chauds » dans le four utilisé pour chauffer les échantillons à température de compactage et faire tourner les échantillons au besoin, afin d'assurer un chauffage uniforme de tous les échantillons
- Les moules et plateaux giratoires doivent être préchauffés dans un four à température de compactage du mélange pendant au moins 30 minutes avant utilisation. Laver les moules après chaque utilisation avec un produit nettoyant qui ne laissera pas de résidus. Utiliser un produit de type « Varsol », n'utiliser aucun type de lubrifiants sur la surface intérieure du moule.

Procédé de compactage giratoire

- Transférer l'échantillon chauffé du four dans une cuve préchauffée à température de compactage, mélanger l'échantillon pour assurer un mélange approprié. La cuve utilisée devrait être de taille suffisante pour permettre le mélange de l'échantillon sans perte de matériaux. Être vigilant afin de ne pas surchauffer l'échantillon d'essai.
- Charger le moule giratoire chauffé avec l'échantillon en un seul mouvement, aussi rapidement que possible, faire tourner la cuve autour de la circonférence du moule pour répartir le mélange de manière uniforme dans le moule. Les moules devraient être chargés aussi rapidement que possible afin d'éviter un refroidissement excessif du mélange.
- Vérifier la température du mélange se trouvant désormais dans le moule en utilisant un thermomètre numérique étalonné pour une précision de +/- 1 °C. Une fois que l'échantillon atteint la température de compactage requise pour la classification du bitume PG (AC) du mélange, le placer dans le compacteur giratoire et le compacter au nombre de girations requis.
- Après un compactage à l'effort requis, laisser l'échantillon dans le moule refroidir pendant environ 10 minutes ou plus, selon le type de mélange, avant de l'extraire du moule.
- Après extraction, refroidir l'échantillon compacté à température ambiante et éprouver pour déterminer la densité relative apparente (BRD) conformément à LS 262/ASTM D2726.
- Si les densités relatives apparentes d'une paire d'échantillons giratoires varient de plus de 0,020, les résultats de l'essai doivent être considérés comme suspects. Dans ce cas, fabriquer un troisième échantillon et utiliser le résultat pour remplacer un échantillon individuel qui montre le plus grand écart des deux autres échantillons.
- Les échantillons à densité relative maximale (MRD) doivent être éprouvés en double. Un écart de densité relative maximale de plus de 0,010 devrait être considéré comme suspect et un troisième échantillon devrait être préparé et éprouvé. Le troisième échantillon doit remplacer un échantillon en particulier qui montre le plus grand écart par rapport aux deux autres échantillons.
- Utiliser les résultats de l'essai pour déterminer le % de bitume PG (AC), la densité relative maximale (MRD) et la densité relative apparente (BRD) pour calculer les propriétés volumétriques du mélange, les VMA, VFA, le % de vides et la proportion de poussière. Effectuer également une analyse de taille de la particule pour déterminer le % passant tous les tamis de contrôle/rendement. Enfin, utiliser les hauteurs de compactage du compacteur giratoire pour calculer le % $G_{mm} @ N_{ini}$ et le % $G_{mm} @ N_{des}$.

Dépannage

Comment s'y prendre en cas d'accident

1. Vérifier le problème.
 - a. Interroger les personnes impliquées dans le projet en question
 - b. Visiter le site pour inspecter le problème
 - c. Observer les techniques d'opération et de construction
 - d. Prendre des photos du problème
2. Recueillir tous les renseignements pertinents
 - a. Tous les rapports d'essai : contrôle du procédé, formules de mélange, AQ/CQ, et
 - b. Les relevés météorologiques les jours de revêtement
 - c. Rapports journaliers de l'usine d'asphalte
 - d. Bordereaux de livraison du chantier
 - e. Rapport d'essai pour les granulats, le liant bitumineux et les autres matériaux utilisés pour la production
 - f. Rapports d'inspection de chantier
3. Recueillir tous les matériaux d'échantillons disponibles utilisés et éprouvés au besoin.
 - a. Granulométries
 - b. Densité absolue, absorption, etc.
 - c. Propriétés du PGAC
4. Analyser les données
 - a. Existe-t-il des tendances observables dans les résultats de l'essai?
 - b. Les enrobés chauds ont-ils été fabriqués conformément à la conception?
 - c. Existe-t-il des indications sur les rapports d'essai qui indiquent qu'une spécification particulière n'a pas été respectée?
 - d. Des photos ou des observations sur le chantier révèlent-elles des pratiques de construction inadéquates?
 - e. Les bordereaux de livraison indiquent-ils une livraison réelle d'enrobés chauds sur le chantier?
 - f. Les résultats de l'essai sur la matière première correspondent-ils aux normes appropriées?
 - g. Les relevés météorologiques mettent-ils en évidence des problèmes potentiels pouvant avoir été rencontrés lors de la pose?
 - h. Les interrogations indiquent-elles des incidents inhabituels sur le projet?
5. Déterminer la ou les causes probables et remplir un rapport d'incident de qualité avec les constatations

6. Signaler les constatations au personnel de CQ/AQ et en discuter
7. Répondre au client
8. Organiser tout essai supplémentaire à effectuer (à effectuer seulement lorsque cela s'avère nécessaire et que cela a été accepté au moyen de discussions internes)

Remarque :

Selon le problème faisant l'objet d'une enquête, le temps écoulé depuis le rapport d'incident à la réponse au client peut varier de quelques heures à quelques jours, ou dans des cas extrêmes, des mois. Dans tous les cas, l'intention devrait être de répondre au client aussi rapidement que possible.

Techniques de recyclage d'asphalte

Recyclage en place

Les trois différentes méthodes utilisées pour le recyclage d'asphalte en place comprennent : le recyclage à chaud en place, le recyclage à froid en place et la stabilisation en profondeur. Des méthodes supplémentaires de recyclage d'asphalte comprennent : le recyclage à chaud et le recyclage en installation d'enrobage à froid. Au moment de choisir la bonne méthode pour un projet, le type de détérioration que la chaussée possède actuellement, devrait être la principale considération. La différence entre le recyclage à froid et la stabilisation en profondeur réside dans le fait que le recyclage à froid broie et crible 50 à 100 mm du dessus de la couche d'asphalte existante et la pose comme une couche pour un nouveau revêtement de base, tandis que la stabilisation en profondeur broie et crible toute la couche d'asphalte et certaines parties de la structure de la chaussée sous-jacente afin de produire un nouveau revêtement de base. Il est préférable d'utiliser le recyclage à chaud en place lorsque le bitume subit un arrachement, un ressuage, un glissement, des usures ondulatoires, un orniérage peu profond ou une fissuration longitudinale (frayée ou joint). Une évaluation de l'état de la chaussée existante, le mode de défaillance, les causes de détériorations et l'essai du matériau de revêtement, de la couche, de la sous-couche et du sol de fondation, devrait être réalisée avant de choisir une méthode de réhabilitation.

Le recyclage à froid et la stabilisation en profondeur conviennent tous les deux pour la fissuration associée ou non à la charge, mais puisque la stabilisation en profondeur aborde les problèmes structurels et de la base, elle devrait être utilisée lorsque la route dispose d'une couche ou d'un sol de fondation faible, car le sol de fondation peut également être traité. Cependant, le sol de fondation n'est pas toujours traité. La stabilisation en profondeur est également préférable au recyclage à froid pour traiter les dépressions ou les bosses sur la route, en particulier si les dépressions sont causées par un état de sol de fondation souple et humide, ou si les bosses sont causées par un soulèvement par le gel ou le gonflement d'un sol de fondation vaste.

Certains signes qu'une route pourrait bénéficier d'une stabilisation en profondeur comprennent : une fissuration transversale et longitudinale fréquente, une fissuration par réflexion, un rapiécage intensif de nids-de-poule, un orniérage sévère, des soulèvements par le gel, des pressions au sol sur la surface, une forme parabolique et une résistance insuffisante de la fondation pour supporter les charges actuelles. La stabilisation en profondeur élimine toutes les zones détériorées dans le revêtement souple.

D'autres stratégies de réhabilitation de chaussée comprennent un revêtement structurel épais et le retrait et le remplacement de la surface de base et d'asphalte existante. Bien que les deux fournissent

une nouvelle structure de revêtement, elles peuvent être très onéreuses et une quantité importante de granulats vierges est nécessaire. En raison du caractère unique de chaque technique, très peu de routes remplissent les conditions pour bénéficier de plus d'une technique de recyclage.

Recyclage à froid en place

Le procédé de recyclage à froid consiste à broyer la couche d'enrobés chauds existante à une profondeur déterminée (généralement 50 à 150 mm) et à concasser et à tamiser les GBR (granulats bitumineux recyclés) afin de répondre aux spécifications du contrat. Les adjuvants sont mélangés et le mélange final est réparti et compacté sur la même chaussée. Des enrobés chauds ou un traitement de surface sont ensuite posés par-dessus.

Les unités de traitement de recyclage à froid se déclinent en trois classes. Le train à unités multiples couple jusqu'à une profondeur précise. Le train à deux unités dispose d'une tête de coupe à largeur variable. Le train à unité simple est un système tout-en-un. Le recyclage à froid devrait être utilisé lorsque les détériorations ne se trouvent pas tout au long de la couche d'enrobés chauds, mais sont suffisamment profondes qu'elles ne puissent pas être corrigées par le recyclage à chaud en place ou par un système broyer et remplir. Si la chaussée possède des détériorations de fondation, des problèmes structurels ou de drainage, le recyclage à froid ne devrait pas être utilisé.

Sélectionner la partie de revêtement appropriée est un aspect important à prendre en considération pour obtenir des mélanges de recyclage à froid réussis. Le volume de circulation attendu devrait également être pris en considération. Le recyclage à froid est généralement utilisé pour les routes à faible circulation. Lorsque le recyclage à froid est utilisé sur des autoroutes à circulation élevée, elles sont généralement fermées à la circulation jusqu'à ce qu'elles soient revêtues. La fissuration de fatigue, la fissuration thermique transversale, la fissuration par réflexion et l'arrachement sont les types de détérioration pouvant être facilement corrigés par recyclage à froid.

Le recyclage à froid fournit une base qui dispose d'une bonne résistance à l'orniérage et qui est rentable. La résistance à l'orniérage et une flexibilité importante en fait une méthode populaire dans les régions chaudes. Lorsque les GBR (granulats bitumineux recyclés) ont une teneur en bitume élevée et/ou en asphalte souple, l'orniérage devient plus important. Bien que le recyclage à froid soit plus souple que le recyclage à chaud en place, le taux de vides plus élevé la rend plus sensible au désenrobage. De ce fait, la chaussée doit être scellée avec une couche d'usure adéquate. Le recyclage à froid convient également dans le cas des routes rurales, car peu ou pas de camions remplis de matériaux doivent être déplacés. Le recyclage à froid est rapide et occupe seulement une voie de circulation, donc la plupart des routes peuvent rester ouvertes pendant tout le procédé. Le recyclage à froid coûte entre 15 et 50 % de moins que les méthodes classiques et produit des routes qui durent 15 ans ou plus.

Stabilisation en profondeur

La stabilisation en profondeur (FDR) est une technique de recyclage pour revêtement de chaussée dans laquelle toute la couche d'enrobés chauds et une quantité prédéterminée de la couche sous-jacente, sous-couche ou des matériaux de la fondation sont recyclées pour produire un nouveau revêtement de base, qui peut être revêtu d'une nouvelle couche d'enrobés chauds. D'autres traitements de surface tels que, des traitements de surface simple ou double, des scellements de coulis bitumineux ou un micro-surfage peuvent être utilisés dans des conditions de faible circulation. Le procédé commence par le concassage, la pulvérisation et le mélange uniforme des enrobés chauds existants avec une portion prédéterminée des matériaux de chaussées sous-jacents et tout autre matériau nécessaire, tel que des granulats vierges. La profondeur de pulvérisation est généralement de 150 à 250 mm avec une profondeur maximale de 400 mm. Plus d'un passage de l'équipement peut être nécessaire afin d'obtenir la granulométrie appropriée. Le matériau pulvérisé est ensuite combiné aux stabilisateurs mécaniques, chimique ou bitumineux pour former une base stabilisée de haute qualité. Avec une base renforcée, la profondeur de la couche d'asphalte peut être réduite.

Le procédé de stabilisation en profondeur (FDR) peut être effectué en utilisant deux approches. Dans la première approche, le revêtement et la base existants peuvent être récupérés et transportés vers une usine pour le concassage, le tamisage et le mélange. Ceci est une forme de recyclage en installation d'enrobage qui n'est pas courante pour la plupart des applications de stabilisation en profondeur. Dans la deuxième approche, le matériau est concassé, tamisé et mélangé sur place par une machine de recyclage. Cette pratique est bien plus courante.

La figure 1 montre un schéma du procédé de recyclage en place. La stabilisation peut être effectuée en un seul passage ou en plusieurs passages. Le procédé en un seul passage est généralement utilisé lorsque des adjuvants ne sont pas utilisés et si la granulométrie requise du matériau est déjà obtenue. Le procédé en plusieurs passages est utilisé si la route est évasée ou s'il y a un changement de pente. Il devrait également être utilisé lorsque la profondeur est supérieure à 150 mm ou que des adjuvants sont utilisés.



Figure 1. Graphique du procédé de recyclage en place. (Graphique gracieusement fourni par ARRA)



Figure 2. Exemple de chaussée ayant des problèmes de fondation. (Photo gracieusement fournie par Portland Cement Association (PCA)).

Les avantages d'un recyclage en place comprennent : la réduction du transport de matériaux, aucune configuration d'usine, la réduction des coûts, et il peut être utilisé avec un sol de fondation faible où des matériaux de fondation résiduels offrent un support pour les opérations de construction. Les avantages d'un recyclage en usine comprennent : un meilleur mélange des granulats et des adjuvants et plus de contrôle sur le procédé et le produit.

Le procédé de stabilisation en profondeur peut être généralisé en un procédé en six étapes :

1. Effectuer une évaluation du site qui comprend notamment la détermination des types, des niveaux et des sources de dégradation de la chaussée.
2. Prélever un échantillon de la chaussée existante pour déterminer les matériaux disponibles à recycler. Déterminer le degré et le type de stabilisation requis.
3. Décider si un recyclage en place est approprié. Les matériaux pulvérisés du site devraient être mélangés afin d'obtenir une consistance similaire à celle attendue sur le chantier. Des essais en laboratoire tels que la densité sèche maximale, l'indice de plasticité,

l'équivalent de sable, la granulométrie par lavage et le taux d'humidité optimal devraient être effectués sur le mélange afin de déterminer si un recyclage en place sera approprié.

4. Réaliser un recyclage en place et vérifier que le produit initial est conforme aux spécifications et est adéquat.
5. Calibrer et compacter un nouveau matériau de fondation pour la stabilisation en profondeur (FDR).
6. Construire le nouveau revêtement sur la base recyclée. Cette surface peut être en enrobés chauds, en béton ou un traitement de surface.

L'avantage principal de la stabilisation en profondeur est la réduction des coûts, car l'utilisation de matériaux sur place permet de réduire la quantité de matériaux qui doivent être transportés vers ou en dehors du site. De plus, avec la hausse des coûts des granulats, l'utilisation d'un matériau vierge est réduite. La stabilisation en profondeur est également une excellente méthode pour le contrôle d'érosion et de la poussière sur les chaussées granulaires existantes, réduisant ainsi les plaintes du public et les effets environnementaux sur l'eau. En raison d'un changement minimal en matière d'élévation, les problèmes de bordure de trottoir, de caniveau et de hauteur libre sont éliminés. Le cycle de construction est rapide et en général, aucune déviation n'est nécessaire.

Lors de la réhabilitation d'un revêtement, la route est souvent gonflée en raison d'une augmentation de l'épaisseur du revêtement et nécessite le prolongement des accotements. Cela nécessite également plus d'emprise, ce qui peut être coûteux. L'utilisation seule de la stabilisation en profondeur ne gonfle pas la route de cette manière, car l'épaisseur de l'asphalte recyclé et de la base est retirée et ensuite incluse dans la nouvelle base. Pour les sections ayant un surfacage d'enrobés chauds plus épais, un élargissement du remblai peut être nécessaire à moins qu'une partie du revêtement existant soit retirée pour maintenir l'élévation originale après le surfacage.

Le procédé (stabilisation en profondeur) a fait ses preuves sur une large gamme de structures de revêtements souples afin de produire des résultats de qualité à des coûts nettement inférieurs et de permettre des périodes de construction considérablement plus courtes que les pratiques de reconstruction classiques.

Contrairement au recyclage à froid, la stabilisation en profondeur reconstruit la couche de base avec différents types de méthodes de recyclage. Par conséquent, la stabilisation en profondeur convient le mieux pour traiter les problèmes liés à la base. Lors de la construction, le matériau pulvérisé peut facilement être utilisé pour modifier l'élévation de la chaussée afin d'obtenir la coupe transversale et la pente désirées. La stabilisation en profondeur est également la meilleure alternative de réhabilitation pour l'orniérage profond et la fissuration associée ou non à la charge. La stabilisation en profondeur n'entraîne pas une fissuration par réflexion typique associée aux revêtements d'asphalte tout en améliorant l'état de base de la chaussée. La procédure de stabilisation en profondeur permet la restauration et le remplacement de la chaussée et de l'accotement, le resurfacement structurel et

l'élargissement des accotements. Les routes fortement détériorées nécessitant des améliorations structurelles en raison des défaillances de la chaussée, des défauts de conception, des matériaux de sous-couche inadéquats ou de l'orniérage et la fissuration de la surface sont mieux réhabilitées en utilisant la stabilisation en profondeur.

Il n'existe actuellement pas de spécifications de conception ou mélange standard pour la stabilisation en profondeur. Bien que plusieurs agences aient utilisé un certain nombre de formules de mélange différentes, seulement quelques-unes de ces méthodes de formule de mélange ont été mentionnées dans la littérature. L'eau est habituellement ajoutée pour que le mélange atteigne le taux d'humidité souhaité et le mélange est généralement compacté à une densité d'au moins 96 % de la densité Proctor standard (ASTM International (ASTM) D 558) ou 97 % de la densité Proctor modifiée (ASTM D 1557). Les essais d'indice de plasticité, d'analyse granulométrique, de densité sèche, de taux d'humidité optimal et de densité spécifique devraient être réalisés sur tous les types de bases de stabilisation en profondeur.

Une fois la stabilisation en profondeur sélectionnée comme méthode de recyclage, il est nécessaire de déterminer si le matériau de fondation présumé pouvant être produit possédera une résistance suffisante ou s'il aura besoin d'être stabilisé. Lorsque le matériau est stabilisé, un agent de liaison est mélangé avec les GBR (granulats bitumineux recyclés) et les granulats de base afin de créer un matériau cohésif. Les types de stabilisation de matériau comprennent une stabilisation chimique et bitumeuse. La stabilisation chimique modifie les propriétés chimiques de la base pour augmenter la résistance. Les stabilisateurs chimiques comprennent le ciment Portland, le chlorure de calcium, l'hydroxyde de calcium et les cendres volantes de charbon. Le chlorure de calcium absorbe l'humidité, ce qui permet le compactage et aide à maintenir la cohésion.

Le chlorure de calcium est le stabilisateur le moins coûteux et convient mieux dans les sols non plastiques bien calibrés. D'autres stabilisateurs chimiques comme le ciment Portland, l'hydroxyde de calcium et les cendres volantes de charbon transmettent une résistance cohésive à la base à travers la nature hydraulique du stabilisateur et sa capacité à développer une résistance à la compression notable. Ces stabilisateurs sont également sensibles à la fissuration, si la résistance développée est trop importante.

La stabilisation bitumeuse ajoute de l'asphalte à la base nouvellement formée. Les stabilisateurs bitumineux comprennent le bitume-mousse et des émulsions de bitume à rupture lente ou moyenne. Une base stabilisée grâce à une émulsion est souple, résiste à la fatigue et non sujette à la fissuration. Cela est cependant plus coûteux que les stabilisateurs chimiques ou le bitume-mousse.

Les GBR (granulats bitumineux recyclés) peuvent également être mélangés avec d'autres matériaux afin de fournir une stabilisation mécanique sans agent de liaison, tout en augmentant quand même sa résistance. L'augmentation de la résistance peut provenir de l'ajout de granulats vierges, de verre

concassé et de fibres géosynthétiques. Ces matériaux assurent un coût initial le plus bas, mais ne sont peut-être pas les plus rentables, car l'augmentation de la résistance peut ne pas être suffisante ou durable.

Formule de mélange du recyclage en place

Cette pratique standard pour l'évaluation de la formule de mélange utilise les propriétés du matériau en GBR (granulats bitumineux recyclés), du matériau du revêtement de base et de l'agent stabilisant, afin de produire une formule de mélange de chantier pour la couche recyclée des revêtements de chaussée. La formule de mélange est basée sur la densité optimale, la résistance et la résistance au désenrobage des matériaux recyclés.

Pour obtenir la formule de mélange et les spécifications, se reporter au ministère des Transports en Ontario (MTO) :

- ✓ OPSS 330 - Spécification de construction pour une stabilisation en profondeur en place d'une chaussée de bitume avec granulats sous-jacents
- ✓ OPSS 331 - Spécification de construction pour une stabilisation en profondeur avec stabilisation d'asphalte étendue
- ✓ OPSS 333 - Spécification de construction pour recyclage à froid en place
- ✓ OPSS 335 - Spécification de construction pour recyclage à froid en place avec asphalte étendu