ÉDITION 2009

GUIDE TECHNIQUE

SUR LA MISE EN PLACE DES ENROBÉS BITUMINEUX

Québec

Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives nationales du Québec et Bibliothèque et Archives Canada

Vedette principale au titre :

Guide technique sur la mise en place des enrobés bitumineux [ressource électronique]

Éd. 2009

ISBN 978-2-550-55621-3

1. Revêtements bitumineux - Guides, manuels, etc. 2. Enrobés à chaud - Guides, manuels, etc. 3. Enrobés à froid - Guides, manuels, etc. I. Québec (Province). Laboratoire des chaussées. II. Québec (Province). Ministère des transports.

TE270.G84 2009 625.8’5 C2009-940834-1

Le contenu de la présente publication a été élaboré et réalisé par le Service des chaussées, le Service des matériaux d'infrastructures et le Service de la qualité et des normes du ministère des Transports du Québec.

Ont collaboré au contenu de la présente publication les directions territoriales du ministère des Transports du Québec et l'industrie des enrobés au Québec.

ISBN : 978-2-550-52355-0

Introduction

Le présent guide, produit par la Direction du laboratoire des chaussées du ministère des Transports du Québec, vise à décrire les bonnes pratiques lors de la mise en œuvre des enrobés. Le document se veut avant tout un outil et un aide-mémoire permettant aux surveillants de prêter une attention particulière à divers aspects ayant un impact sur la qualité et la durabilité des enrobés.

Plus particulièrement, ce guide traite de façon non exhaustive des règles de l'art à suivre de la centrale d'enrobage après fabrication de l'enrobé jusqu'à la fin du compactage au chantier.

Le but n'est pas de promouvoir de nouvelles techniques ou du nouvel équipement, mais plutôt de vulgariser un ensemble de données qui sont généralement peu controversées. Il appartiendra toujours au surveillant ou au contremaître d'évaluer la pertinence ou l'obligation de modifier la pratique courante pour régler un problème particulier. Une bonne connaissance des principes de base régissant la pose d'un enrobé est toutefois un outil essentiel pour porter un jugement sur une situation particulière.

Une liste sommaire des qualités et des défauts d'un enrobé ainsi que de leurs principales causes et conséquences a été ajoutée. Elle permet de faire le lien entre les propriétés d'un mélange et sa mise en place.

Nous espérons que ce document suscitera suffisamment d'intérêt pour amener les responsables de la mise en place et du contrôle de la qualité à être plus attentifs et plus critiques face à nos façons de faire.

Il y a très peu de choses inconnues ou à inventer dans le domaine de la pose des enrobés. Il suffit de savoir observer et de mettre en commun l'expérience et les connaissances de tous les intervenants.

Le texte qui suit se veut un pas en ce sens.

Table des matières

1 La préparation de la surface avant l'asphaltage 1
1.1 Généralités 1
1.2 La préparation de la surface granulaire 1
1.3 La préparation de la surface revêtue d'enrobé 2
1.3.1 Le produit de scellement 2
1.3.2 La réparation des fissures transversales avant recouvrement 2
1.3.3 Les nids-de-poule 3
1.3.4 Le reprofilage préalable 4
1.3.4.1 La correction à l'enrobé à chaud 4
1.3.4.2 Les opérations de planage 5
1.3.5 Le recouvrement sur les revêtements de béton de ciment 6

2 Le transport de l'enrobé 7
2.1 Le chargement et le nombre de camions 7
2.2 La benne des camions 7
2.3 La protection durant le transport 8

3 Le liant d'accrochage 10
3.1 Généralités 10
3.2 Les caractéristiques des émulsions bitumineuses 11
3.3 Le choix du liant d'accrochage 12
3.4 L'affinité émulsion-granulats 13
3.5 L'épandage des émulsions 14

4 La mise en place de l'enrobé 17
4.1 Généralités 17
4.2 Le finisseur 17
4.2.1 Le fonctionnement du tracteur 18
4.2.2 Le fonctionnement de la table lisseuse 18
4.2.3 Le déchargement des camions 21
4.2.4 La vitesse d'avancement du finisseur 21
4.2.5 L'entretien des finisseurs et des outils 23
4.3 L'utilisation des véhicules de transfert de matériaux (VTM) 23

5 Le compactage 26
5.1 Généralités 26
5.2 Les rouleaux 27
5.2.1 Les rouleaux statiques 27
5.2.2 Les rouleaux à vibrations verticales et les rouleaux à oscillations ou vibrations horizontales 27
5.3 Le compactage 28
5.3.1 Le compactage initial 29
5.3.2 Le compactage intermédiaire 29
5.3.3 Le compactage final 29
5.4 La méthode de compactage 29
5.5 Le temps de compactage 31
5.6 La fin du compactage et l'entretien des rouleaux 34

6. La confection des joints 35
6.1 Généralités 35
6.2 Les joints transversaux 35
6.2.1 Les joints de début ou de fin de travaux 35
6.2.2 Les joints de fin de journée ou d'arrêt du finisseur 36
6.3. Les joints longitudinaux 38
6.3.1 Les joints chauds 38
6.3.2 Les joints froids 39
6.4 L'utilisation d'un élément chauffant 40

7 Le contrôle de la qualité de la mise en place des enrobés 41
7.1 Généralités 41
7.2 La mesure de la température 41
7.2.1 Le thermomètre à tige métallique 41
7.2.2 Le thermomètre infrarouge 41
7.2.3 La mesure de l'uniformité de température 41
7.3. La mesure de la compacité 43
7.3.1 Le carottage 43
7.3.2 Le nucléodensimètre (jauges portatives) 44
7.4 La mesure de l'uni 45
7.4.1 La règle de trois mètres 45
7.4.2 Le profilomètre inertiel 46
7.5 La mesure de la liaison des couches 46

8 Les travaux par temps froid 47
8.1 Généralités 47
8.2 La mise en place des enrobés par temps froid 47
8.2.1 La fabrication de l'enrobé 47
8.2.2 Le transport de l'enrobé 48
8.2.3 Le liant d'accrochage 48
8.2.4 Le compactage 49
8.2.5 Le choix de l'enrobé 50
8.2.6 Les joints de construction 50
8.3 La mise en place de l'enrobé sur surface gelée 50

9 Les défauts du revêtement liés à la mise en place 51
9.1 Généralités 51
9.2 Les ondulations de surface 53
9.3 Le déchirement du revêtement en surface 53
9.4 La texture non uniforme 53
9.5 La marque laissée par la poutre lisseuse 53
9.6 La surface ombrée 53
9.7 La précompaction faible 54
9.8 Les joints déficients 54
9.9 La microfissuration transversale 54
9.10 Le déplacement de l'enrobé 54
9.11 Le ressuage 54
9.12 Les marques laissées au passage des rouleaux 54
9.13 La compacité déficiente 54

10 Références 55

1. La préparation de la surface avant l'asphaltage

1.1 Généralités

La performance des revêtements bitumineux est fonction de l'état de la surface où sont mises en place les différentes couches d'enrobés. L'état de la surface d'une fondation granulaire peut avoir un impact important sur la performance d'un enrobé, particulièrement si la surface est mouillée et si elle présente des déformations. Cette surface doit être stable, sèche, plane et uniforme.

Les revêtements bitumineux existants doivent être préparés adéquatement avant d'être recouverts. Les nids-de-poule et les fissures doivent être réparés, et la surface nettoyée. Un liant d'accrochage sera ensuite utilisé pour assurer une bonne liaison entre la surface existante et le nouveau revêtement, que ce soit un enrobé de correction ou une nouvelle couche de roulement.

Les opérations de préparation de surface peuvent aussi comprendre la remise à niveau des regards et des bouches à clé, avant ou après la mise en place des enrobés.

1.2 La préparation de la surface granulaire

Lorsqu'un revêtement bitumineux est mis en place directement sur une surface granulaire, cette dernière doit posséder les caractéristiques requises de compacité, de teneur en eau, de capacité structurale et d'uni. Si des déformations sont remarquées au moment du passage des véhicules de chantier, tels les camions servant au transport de l'enrobé, la fondation doit être corrigée pour satisfaire aux exigences demandées. L'usage généralisé d'un liant d'imprégnation n'est pas une pratique courante, mais lorsque la pente est supérieure à 5 % ou que l'épaisseur totale de l'enrobé est inférieure à 100 mm, il devient nécessaire. Le liant d'imprégnation peut être également utilisé pour imperméabiliser temporairement une fondation granulaire devant être recouverte si des délais prolongés sont prévus pour la mise en place du revêtement. Une telle opération sert à protéger la fondation de la pluie. La circulation devra alors être interdire. Une teneur en eau élevée dans la fondation en diminuera la portance, ce qui aura des effets néfastes sur le comportement du revêtement.

Pour faciliter la pénétration du liant d'imprégnation, il faut scarifier la surface granulaire sur d'une profondeur minimale de 25 mm. La température d'application du liant d'imprégnation sur une surface granulaire doit respecter les recommandations du fabricant. Après une attente d'au moins 30 minutes après l'application du liant, la surface granulaire est densifiée à un minimum de 98,0 % de la masse volumique sèche maximale prévue pour la compacité en chantier des matériaux de fondation de chaussée. Le liant

Figure 1-1
Remontée du produit de scellement

Figure 1-2
Produit de scellement collant aux pneus de camions

Figure 1-3
Enlèvement du produit de scellement

doit être entièrement curé avant de procéder à la mise en place de l'enrobé. La surface enduite d'un liant d'accrochage doit être recouverte dans la même journée si la chaussée est ouverte à la circulation.

1.3 La préparation de la surface revêtue d'enrobé

1.3.1 Le produit de scellement

Lorsqu'un produit de scellement est en place sur la chaussée à recouvrir, dans certains cas, notamment s'il y a eu fraisage, l'enrobé chaud mis en place peut ramollir le produit de scellement, ce qui favorise sa remontée à travers le nouvel enrobé (figure 1-1).

Le produit de scellement peut également coller aux pneus des camions placés devant le finisseur. Dans ce cas, le produit de scellement décolle partiellement, causant une déformation et un point faible dans le nouveau revêtement (figure 1-2). Il est alors recommandé d'enlever le produit de scellement avant la pose de l'enrobé (figure 1-3). Lorsque la largeur des fissures le permet, elles doivent être comblées avec de l'enrobé à chaud qui sera compacté par la suite. Les enrobés EC-10 et ESG-5 sont recommandés pour cet usage.

Les produits de scellement mis en place selon la technique de scellement des fissures sans fraisage ne sont pas sujets à l'arrachement comme c'était le cas dans le passé. Lors d'un resurfaçage ou d'un rapiéçage mécanisé, on n'observe pas d'arrachement par les pneus de véhicules au moment de l'épandage du liant d'accrochage ni de remontée du produit dans la couche d'enrobé. Le guide de scellement de fissure peut être obtenu sur le site des Publications du Québec[1].

1.3.2 La réparation des fissures transversales avant recouvrement

Dans le contexte climatique québécois, les écarts de température auxquels sont soumis les revêtements favorisent la remontée rapide des fissures transversales à la surface du nouveau revêtement. En hiver, la tension à la base de ce dernier, engendrée par l'ouverture de la fissure, accélère sa remontée. La circulation et les infiltrations d'eau intensifient par la suite la détérioration du revêtement.

Plusieurs interventions peuvent être réalisées pour limiter la remontée des fissures. L'épaisseur du recouvrement peut être augmentée. Cette approche est toutefois coûteuse; elle est surtout utilisée pour augmenter la capacité de support. La réparation profonde ou superficielle du revêtement dans les zones fissurées avant la pose d'un recouvrement bitumineux traditionnel permet de retarder la remontée des fissures.

1. http://www.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/produits/ouvrage_routier/guides/guide9.fr.html

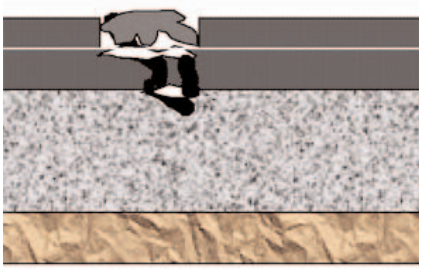


Figure 1-5

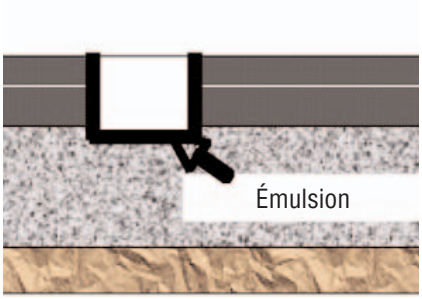


Figure 1-6

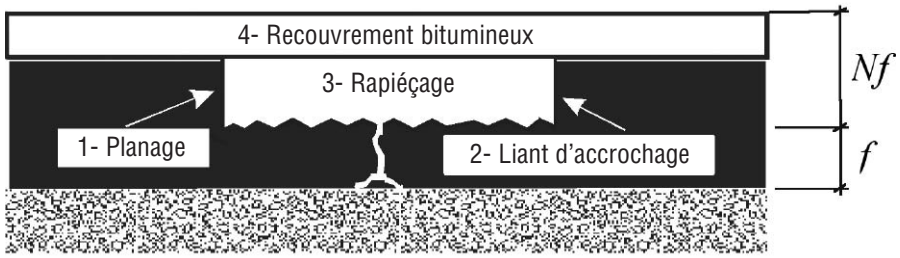


Figure 1-4
Réparation superficielle

La réparation profonde consiste à scier ou à planer le revêtement existant sur toute son épaisseur de part et d'autre de la fissure sur une largeur minimale de 1 m, à homogénéiser et à densifier les fondations au besoin, à nettoyer l'excavation, à épandre un liant d'accrochage sur le fond et les faces verticales et à poser un enrobé ESG-14 ou EC-10. Si plusieurs couches d'enrobés sont nécessaire, épandre un liant d'accrochage entre chaque couche. La réparation superficielle (figure 1-4) ne concerne que la partie supérieure du revêtement (de 50 à 75 mm), enlevée par planage. La réparation superficielle des fissures transversales est d'autant plus efficace que le rapport Nf/f est élevé. La réparation superficielle est aussi efficace que la réparation profonde et elle est mieux adaptée au contexte québécois.

1.3.3 Les nids-de-poule

Les nids-de-poule doivent être réparés correctement. Resurfacer une chaussée dont les nids-de-poule ne sont pas réparés ou qui ont subi une réparation temporaire entraînera à coup sûr leurs réapparitions très rapidement, car ces emplacements demeurent des points faibles de la chaussée. Pour une durabilité accrue du nouveau revêtement, une réparation permanente est obligatoire. La réparation d'un nid-de-poule avec un enrobé à chaud doit se faire dans des conditions météorologiques favorables (au-dessus de 10°C). La méthode suivante est recommandée.

- Délimiter l'aire à réparer par des droites à angle droit. Le marquage doit être à 150 mm au moins du bord de la dégradation.
- Scier le revêtement et enlever les débris et les matériaux dégradés jusqu'aux matériaux sains (figure 1-5). L'usage d'une scie ou d'un petit équipement de planage est préférable au marteau piqueur, qui peut cependant être utilisé du centre vers les bords de la dégradation. Le nid-de-poule est nettoyé à l'air comprimé pour enlever tous les résidus, la poussière et l'humidité.
- Remettre du matériau granulaire et le compacter si une partie de la fondation a été enlevée. Appliquer une émulsion

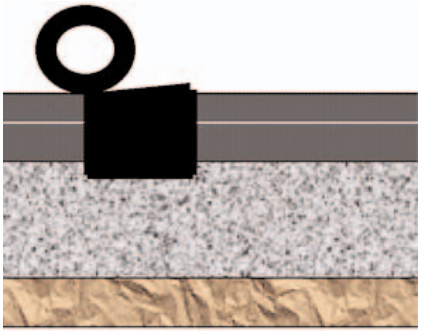


Figure 1-7

Figure 1-8
Pose d'une couche de correction

de bitume sur le fond et les bords du trou, au moyen d'un pulvérisateur, en évitant les accumulations d'émulsion dans les dépressions (figure 1-6). Placer l'enrobé à chaud avec un déversoir et une pelle en couches d'une épaisseur maximale de 100 mm.Les enrobés ESG-10 ou EC-10 sont généralement utilisés. Densifier chaque couche à l'aide d'une plaque vibrante ou d'un rouleau vibrant de dimension adaptée à la réparation. La dernière couche doit dépasser le revêtement d'environ 25 mm, avant compactage, pour que sa surface soit au même niveau ou légèrement plus élevée au centre de la réparation d'une épaisseur maximale de 5 mm (figure 1-7).

- Nettoyer la surface de la chaussée.

1.3.4 Le profilage préalable

1.3.4.1 La correction à l'enrobé à chaud

La correction à l'enrobé à chaud se fait sur toute la largeur à recouvrir. Sur une autoroute ou lorsque des exigences contractuelles d'unis sont présentes, la correction se fait en utilisant un finisseur (figure 1-8). La correction à la niveleuse peut être effectuée sur les autres catégories de route s'il n'y a pas de valeur d'uni à respecter. Cependant, les corrections effectuées à la niveleuse ne peuvent pas donner des surfaces aussi uniformes qu'avec un finisseur. L'enrobé du type EC-10 est destiné à cet usage. En pratique, on justifie la pose d'une couche de correction lorsque la déformation (distorsion) du profil est généralement supérieure à 8 mm sous une règle de 3 m. Lorsqu'il y a présence d'ornières structurales, l'épaisseur de la couche de correction après compactage devrait être supérieure à la profondeur des ornières d'au moins 5 mm. Par exemple, pour des ornières variant de 16 à 25 mm, la couche de correction devrait être de 30 mm une fois compactée. La couche de roulement doit être uniforme pour éviter l'accumulation d'eau sur la chaussée. Lors de la mise en place de l'enrobé de correction, la table du finisseur place une épaisseur plus élevée d'enrobé dans les dépressions que sur les points plus élevés. La règle du pouce stipule qu'un enrobé de correction se compacte de 6 mm pour une épaisseur initiale de 25 mm avant compactage. L'épaisseur de la couche de correction étant variable selon l'état de la chaussée, il s'ensuit une surface d'enrobé dont l'uni ne pourra pas être adéquat, surtout si des rouleaux pneumatiques sont utilisés. En présence d'ornières, la couche de correction doit être densifiée à l'aide d'un compacteur à pneus.

Figure 1-9
Opération de planage

Ce type de compacteur permet de densifier l'enrobé au creux des dépressions.

Un enrobé de correction ne permet pas toujours l'obtention d'une surface plane avec un uni adéquat. Également, la compacité requise peut être difficile à obtenir dans les zones de faibles épaisseurs ou très déformées. Pour ces raisons, on a recours le plus souvent au planage.

1.3.4.2 Les opérations de planage

Les opérations de planage permettent d'enlever les points élevés sur la chaussée au lieu de combler les dépressions par l'utilisation d'une couche de correction. En présence d'ornières de fluage, les opérations de planage sont obligatoires avant le resurfaçage. Le planage est effectué sur toute la largeur de la surface à recouvrir et doit être d'une profondeur suffisante pour faire disparaître toute trace d'ornière de fluage ou de dépression sur la chaussée. Les planeurs peuvent être utilisés sur des largeurs variant de 150 mm à 4 m. Ils sont munis de capteurs permettant de contrôler la pente et le devers, et il est possible, en une seule passe, d'obtenir une surface dont le nivellement satisfait aux exigences requises d'uni (figure 1-9). L'enrobé recyclé obtenu par planage est chargé directement dans des camions afin d'être mis en réserve pour une utilisation future. La surface obtenue est généralement sale et poussiéreuse. Le liant d'accrochage qui sera utilisé nécessite une surface propre et sèche. L'usage d'un balai mécanique est obligatoire pour nettoyer la surface. L'utilisation d'eau et d'air comprimé est recommandée pour enlever la poussière très fine qui adhère au revêtement. Si la circulation est autorisée, elle facilitera le nettoyage de la surface planée. La texture rugueuse peut favoriser l'adhésion avec la nouvelle couche d'enrobé. La texture striée entraîne une augmentation du taux de pose du liant d'accrochage. La partie 2 contient plus d'information à ce sujet.

Après le planage, s'il y a des endroits où la fondation granulaire est mise à nu, un rapiéçage doit être réalisé. La réparation doit être effectuée avant le rétablissement de la circulation sur la surface planée. La méthode suivante peut être utilisée.

- Scier le revêtement à enlever. Le trait de scie doit se situer à un minimum de 300 mm du périmètre de la zone abîmée afin d'obtenir un rebord solide et régulier.
- Enlever l'enrobé considéré comme matériau de rebut.
- Préparer et compacter la surface de la fondation granulaire. Prévoir le niveau de la surface granulaire afin de permettre la mise en place de l'enrobé à une épaisseur uniforme de 50 mm.
- Appliquer un liant d'accrochage sur la base et le pourtour de la surface à réparer.
- Mettre en place l'enrobé et le compacter. Une fois compacté, l'enrobé doit être au même niveau que la surface du revêtement plané. Le même type d'enrobé que celui prévu sur la couche de surface peut être utilisé.
- Mettre au rebut les matériaux excédentaires.

Lorsque la circulation est autorisée sur des surfaces planées, pour assurer une meilleure sécurité des usagers, la formule d'enrobé doit être approuvée et validée avant de commencer les travaux de planage afin de s'assurer que la mise en place de l'enrobé ne soit pas retardée.

À l'étape du planage, il faut prendre garde aux boucles de détection, aux bouches à clé et aux autres éléments présents sur la surface de la chaussée.

1.3.5 Le recouvrement sur les revêtements de béton de ciment

Les revêtements de béton destinés à être recouverts d'enrobés doivent être préparés adéquatement. Toute partie détériorée doit être réparée avec un enrobé ou du béton de ciment. Les parties instables et abîmées doivent être enlevées. Les joints doivent être en bon état. Pour assurer une bonne adhésion au béton de ciment, il est impératif que la surface soit saine et exempte de particules qui se désagrègent. Un nettoyage au balai mécanique est essentiel avant la pose du liant d'accrochage.

Le Guide d'entretien et de réhabilitation des chaussées en béton de ciment publié par le ministère des Transports du Québec indique les opérations nécessaires à la réparation des dalles de béton. Le guide est disponible aux Publications du Québec[2].

2. http://www.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/produits/ouvrage_routier/guides/guide7.fr.html.

Figure 2-1
Lubrification de la benne

2 Le transport de l'enrobé

2.1 Le chargement et le nombre de camions

Le chargement des camions, le transport de l'enrobé et le déchargement des camions sont des aspects souvent négligés lors de la mise en place de l'enrobé. Pourtant, si ces étapes comportent de mauvaises pratiques, la performance du revêtement peut être diminuée de façon importante et peut rendre inefficaces les efforts faits lors des étapes subséquentes des travaux.

L'enrobé est transporté par camion de la centrale d'enrobage jusqu'au finisseur. Le transport doit être effectué en minimisant les délais ainsi qu'en évitant la ségrégation des granulats et la diminution de la température de façon à ne pas modifier les caractéristiques de l'enrobé. Les délais sont fonction du temps de chargement, du temps de pesage, du temps d'obtention du bon de livraison, du temps pour recouvrir l'enrobé dans la benne, de la distance entre la centrale d'enrobage et le chantier, de la vitesse moyenne de transport et, enfin, de la période d'attente avant le déchargement en chantier. Le nombre de camions nécessaire au fonctionnement efficace du chantier doit être déterminé en fonction de ces délais et il doit être suffisant pour assurer une alimentation continue du finisseur, sans être trop élevée afin d'éviter les délais d'attente avant le déchargement.

2.2 La benne des camions

La benne des camions servant au transport de l'enrobé doit être étanche et munie d'un fond métallique préalablement nettoyé de tout corps étranger et de tout reste d'enrobé refroidi. Les bennes isolées ou chauffées permettent d'augmenter la distance de transport, la température du chargement étant conservée plus longtemps. La forme de la benne du camion doit permettre le déchargement sans contact avec la benne du finisseur. Elle doit être lubrifiée pour éviter que l'enrobé adhère aux parois (figure 2-1). Il existe plusieurs produits industriels efficaces. Il est à noter que les lubrifiants à base d'hydrocarbure sont prohibés pour des raisons environnementales et de contamination de l'enrobé. Le déport arrière de la benne des

Figure 2-2
Ségrégation de la texture

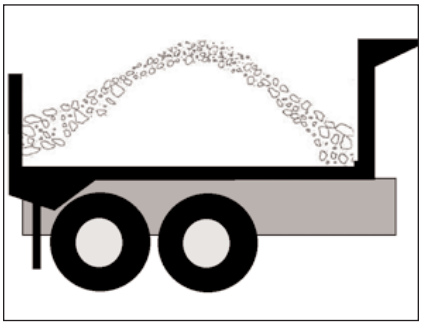


Figure 2-3
Chargement non conforme

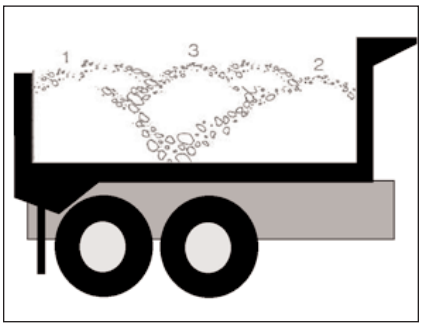


Figure 2-4
Chargement conforme

camions de transport, y compris la barre anti-encastrement, ne doit pas être trop important afin que l'arrière ne vienne pas s'appuyer sur la trémie du finisseur.

Une surface de revêtement présentant de la ségrégation de chaque côté de la bande d'enrobé mise en place par un finisseur a généralement pour cause des chargements de camion effectués inadéquatement (figure 2-2). Un chargement du camion en une seule opération, qui est à proscrire, entraîne les plus gros granulats vers le bas tout autour du cône de chargement (figure 2-3). L'enrobé doit être chargé en plusieurs tas répartis dans la benne du camion pour réduire la ségrégation granulaire de l'enrobé. Lorsque le camion est rempli de la façon indiquée à la figure 2-4, l'enrobé est plus homogène, notamment au moment du déchargement dans la benne du finisseur ou d'un véhicule de transfert. On peut noter que les tas 1 et 2 sont placés aux extrémités de la benne du camion. Afin d'éviter la chute accidentelle des enrobés sur la chaussée au moment de l'ouverture de la porte, il ne faut pas charger les bennes des camion vers l'arrière.

Chaque camion doit être pesé lorsqu'il part de la centrale. Le bon de livraison doit indiquer le type d'enrobé, le tonnage d'enrobé, le numéro du camion et l'heure de la pesée. Au chantier, l'heure d'arrivée est notée sur le bon de livraison, ce qui permet de déterminer la durée du transport. La mesure de la température avant le déchargement est importante afin d'éviter la mise en place d'un enrobé non conforme aux exigences. Une fumée bleue qui s'échappe au-dessus du chargement indique que l'enrobé a été trop chauffé. Il est recommandé de mesurer la température de l'enrobé directement dans la benne du camion. Si l'enrobé a été trop chauffé, le bitume sera oxydé; le chargement devrait alors être refusé. La température de l'enrobé doit être inférieure à la température maximale de malaxage de l'enrobé indiquée sur l'attestation de conformité du bitume.

2.3 La protection durant le transport

Une bâche imperméable est indispensable pour limiter le refroidissement de l'enrobé en surface dans une benne de camion, et pour éviter des comportements différentiels au moment de la mise en place et du compactage. Une température uniforme de l'enrobé à la mise en place est nécessaire pour obtenir une compacité uniforme du revêtement.

En matière de protection de l'enrobé durant le transport, la benne doit être munie d'une bâche de dimension suffisante pour couvrir tout l'enrobé et le protéger contre le refroidissement et les intempéries. La bâche est mise en place dès la fin du chargement et doit y demeurer jusqu'à ce que la benne soit complètement vidée dans la trémie du finisseur. La bâche doit être composée d'un matériau imperméable ayant des dimensions au moins équivalentes à celles de la benne et maintenue plus bas que le niveau supérieur des parois de la benne ou à égalité. Idéalement, cette bâche de protection doit recouvrir la benne hermétiquement pendant toute la durée du transport. Elle maintient la

Figure 2.6
Bâche conforme

Figure 2-7
Bâche non conforme

Figure 2-8
Bâche avec système à coulisse

Figure 2-11
Ségrégation d'un revêtement

température de l'enrobé et permet ainsi d'éviter la formation d'une « croûte » plus froide en surface. Les figures 2-6 et 2-7 montrent respectivement une bâche conforme et une bâche non conforme.

La mise en place d'une bâche à l'aide d'un système à coulisse peut permettre une meilleure rétention de la température qu'un système à bascule (figure 2-8). L'utilisation d'une benne chauffante permet de mieux conserver la température de la masse de l'enrobé entre l'usine et le finisseur, mais elle n'empêche pas le refroidissement en surface ni la formation de la croûte.

L'utilisation de toiles imperméables n'étant pas attachées sur les côtés favorise la formation d'une croûte d'enrobé sur le chargement (principalement sur les côtés). Toutefois, si on compare un chargement non couvert avec un chargement couvert, on constate que la toile a tout de même une certaine efficacité. La figure 2-9 montre une image prise avec une caméra infrarouge qui dénote un écoulement d'enrobé à mi-déchargement d'une benne munie d'une bâche imperméable plus étroite que la largeur de la benne. Le chargement présente un écart de température moindre que celui montré à la figure 2-10 où la benne était non recouverte d'une bâche. La croûte d'enrobé en surface est plus froide, les écarts de température sont plus élevés, l'enrobé étant hétérogène. Des traces sur le revêtement créées lors de l'épandage apparaissent rapidement.

La figure 2-11 montre une surface de revêtement hétérogène. La cause principale est liée aux variations de température des enrobés lors de l'épandage. L'utilisation d'une caméra infrarouge pour le contrôle de la mise en place des enrobés est traitée à la partie 8. Cet équipement sera de plus en plus utilisé au cours des prochaines années.

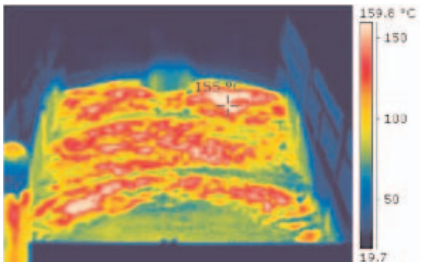


Figure 2-9
Température

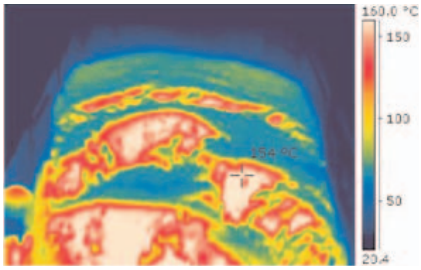


Figure 2-10
Température

Figure 3-1
Glissement de la couche d'enrobé

3 Le liant d'accrochage

3.1 Généralités

Le liant d'accrochage permet de fixer les différentes couches d'enrobé composant le revêtement bitumineux afin de supporter efficacement les charges soumises à la chaussée par les véhicules et limiter à des valeurs acceptables les charges transmises à la fondation. Une mauvaise liaison entre les couches entraîne une dégradation prématurée de la chaussée puisque les contraintes causées par la circulation sont davantage concentrées dans la ou les couches à proximité de la surface plutôt que réparties progressivement dans la ou les couches sous-jacentes. Le phénomène de glissement, de pelade ou de décollement par plaque des enrobés (figure 3-1) et certains types de fissurations comme le carrelage peuvent être causés par un collage insuffisant entre deux couches d'enrobé.

Pour éviter ce genre de dégradation, le *Cahier des charges et devis généraux* (CCDG) spécifie de procéder à l'application d'un liant d'accrochage entre les couches d'enrobé. L'usage d'un liant d'accrochage est requis tant dans les travaux de construction neuve/reconstruction que dans les travaux de resurfaçage. Les surfaces à recouvrir sur lesquelles le liant d'accrochage est appliqué sont variées : couche de base, couche intermédiaire, couche de correction, chaussée en enrobé usagé ou plané et chaussée en béton de ciment.

Le bitume est le matériau le plus efficace et le plus économique pour coller deux couches de revêtement. Cependant, la viscosité élevée du bitume rend difficile son épandage uniforme aux taux requis pour cet usage. Afin d'en diminuer la viscosité, il faut le disperser dans une solution aqueuse (émulsion bitumineuse) ou le fluidifier à l'aide d'un solvant volatil hydrocarboné d'origine pétrolière. Pour des raisons environnementales, de sécurité et de performance, l'usage de bitume fluidifié est proscrit dans la majorité des travaux d'asphaltage du Ministère. Cette partie traite donc principalement des émulsions bitumineuses.

3.2 Les caractéristiques des émulsions bitumineuses

Une émulsion bitumineuse est un mélange de deux constituants non miscibles : le bitume et l'eau. La proportion de bitume dans une émulsion varie généralement entre 55 % et 65 %. Ces deux constituants peuvent former un mélange stable et homogène grâce à l'ajout d'agents tensioactifs. Au cours de la fabrication d'une émulsion, le bitume est dispersé en fines gouttelettes dans l'eau par une action mécanique. L'ajout d'un agent tensioactif forme un film protecteur autour des gouttelettes, les empêchant de s'agglomérer et permettant ainsi de maintenir le mélange stable et de l'entreposer pendant un certain temps. La quantité et le type d'agent tensioactif ajoutés au mélange déterminent la stabilité de l'émulsion à l'entreposage et influencent le temps de rupture au moment de la mise en place. L'agent tensioactif peut être chargé soit positivement, soit négativement. C'est cette charge qui détermine si l'émulsion est du type cationique (charge positive) ou anionique (charge négative).

La rupture de l'émulsion correspond à l'ensemble des phénomènes qui conduisent de la situation où les fines gouttelettes de bitume sont isolées de celle où elles sont, pour la très grande majorité d'entre elles, engagées dans un processus irréversible qui conduit à la formation d'une phase bitumineuse continue, macroscopique. La rupture s'observe en chantier lorsque l'émulsion passe de la couleur brune à la couleur noire. Dans des conditions favorables aux travaux d'asphaltage, la rupture de l'émulsion se produit en quelques minutes seulement.

Avant de circuler et de procéder à la mise en place d'enrobé conventionnel sur le liant d'accrochage, le mûrissement de l'émulsion doit être suffisamment avancé afin d'atteindre les propriétés mécaniques optimales du film de bitume. Le mûrissement débute une fois la rupture intervenue ou suffisamment engagée. Il est considéré comme terminé lorsque l'eau et les produits volatils sont évacués du matériau bitumineux par ruissellement ou par évaporation. La cohésion du film de bitume et son adhésion à la surface à recouvrir sont ainsi améliorées. Le temps requis pour le mûrissement varie d'une quinzaine de minutes à quelques heures selon les conditions climatiques.

Les émulsions bitumineuses doivent être entreposées et utilisées aux températures recommandées par le fabricant. Certaines précautions doivent être prises pour éviter une rupture prématurée. Ainsi, les émulsions ne doivent pas être exposées à des températures inférieures au point de congélation ou l'avoisinant, ou être chauffées à des températures excédant 85°C. Le chauffage de l'émulsion doit se faire graduellement et il faut éviter de soumettre l'émulsion à des cycles répétés de chauffage-refroidissement. Une agitation vigoureuse est un autre facteur pouvant occasionner la coagulation des gouttelettes de bitume.

Dans les cas où il y a séparation ou décantation de la phase dispersée bitume, l'émulsion peut être homogénéisée à nouveau par un léger brassage. Si l'émulsion est stockée dans une cuve d'entreposage, elle peut être agitée légèrement de façon mécanique ou par recirculation par pompage. Si l'émulsion est livrée en baril, elle peut être homogénéisée par brassage à l'aide d'une tige rigide ou en roulant le baril au sol. Il est important de vérifier l'homogénéité de l'émulsion dans un baril avant d'en faire l'usage, car une séparation irréversible des phases aqueuse et bitumineuse peut provoquer le bris des pompes et des retards dans l'exécution des travaux.

Un mélange d'émulsions anioniques et cationiques entraîne la rupture instantanée de l'émulsion. Pour cette raison, les citernes et cuves d'entreposage ayant contenu une émulsion anionique doivent être parfaitement nettoyées avant d'être utilisées pour une

Figure 3-2
Arrachement du liant d'accrochage par les pneus

Figure 3-3
Liant d'accrochage n'adhérant pas aux pneus

émulsion cationique, et vice versa. Une émulsion anionique ou cationique à rupture rapide (RS ou CRS) ne peut pas être diluée, contrairement à une émulsion à rupture moyenne (MS ou CMS) ou lente (SS ou CSS). Les termes RS, MS et SS font référence à des émulsions anioniques *Rapid Setting*, *Medium Setting* et *Slow Setting*. La lettre C précédant ces termes signifie qu'il s'agit d'émulsions cationiques. La dilution d'une émulsion diminue sa viscosité, ce qui facilite son application. Elle modifie cependant le pourcentage de liant résiduel et prolonge le temps de mûrissement. Avant de procéder à une dilution sur une quantité importante d'émulsion, il est recommandé de faire un test sur un échantillon. Au moment d'une dilution, l'eau doit toujours être ajoutée à l'émulsion, et non l'inverse. Un calcul du taux d'épandage est nécessaire afin d'assurer le respect du taux résiduel du liant d'accrochage. Concrètement, les émulsions pour liant d'accrochage n'ont pas à être diluées. Cette pratique est plutôt utilisée pour les liants d'imprégnation.

3.3 Le choix du liant d'accrochage

Le liant d'accrochage recommandé pour la majorité des travaux est une émulsion cationique conforme au tableau 4105-1 de la norme 4105. L'émulsion est généralement chauffée dans la citerne épandeuse à une température avoisinant les 60 °C afin de faciliter un épandage uniforme, de diminuer le temps de rupture et de favoriser une montée rapide en cohésion du liant résiduel. Cette émulsion a la propriété de rupturer et de mûrir rapidement et d'avoir un liant résiduel plus dur, ce qui limite l'arrachement du liant résiduel par les pneus des véhicules (figures 3-2 et 3-3) et le cisaillement entre les couches.

Le mûrissement de l'émulsion doit être suffisamment avancé avant d'autoriser la circulation sur le liant résiduel. Dans des conditions idéales (temps chaud, sec, ensoleillé et venteux), le temps nécessaire pour que le liant résiduel adhère adéquatement à la surface à recouvrir et développe une cohésion suffisante pour limiter l'arrachement par les pneus des véhicules, est de l'ordre de 15 minutes.

Dans les cas où les conditions sont défavorables à la rupture de l'émulsion (température inférieure à 10°C, humidité élevée, peu d'ensoleillement ou travaux de nuit), des agents rupteurs peuvent être appliqués en même temps que l'émulsion. Bien que les agents rupteurs accélèrent la rupture de l'émulsion, celle-ci n'est pas instantanée. De plus, ces agents agissent généralement très peu sur le temps de mûrissement. L'application d'un rupteur requiert un réservoir indépendant et une seconde rampe sur la citerne épandeuse d'émulsion.

La température ambiante doit être supérieure à 10°C et à la hausse lors de la mise en place d'un enrobé dont l'épaisseur après compactage est inférieure à 50 mm. Pour les autres épaisseurs, la température ambiante et celle de la surface à recouvrir doivent être

supérieures à 2°C et à la hausse. Dans les cas exceptionnels où des travaux d'asphaltage doivent être exécutés lorsque la température est inférieure à 2°C, des bitumes fluidifiés peuvent être utilisés comme liant d'accrochage en remplacement des émulsions bitumineuses.

L'utilisation de bitumes fluidifiés (cut-back) est cependant à éviter. Elle est même interdite entre le 1er mai et le 1er octobre. Les bitumes fluidifiés peuvent être utilisés en dehors de cette période comme liant d'accrochage uniquement sur une chaussée de plus de un an, lorsqu'il y a un risque de gel au moment de l'application. Certains solvants présents dans les bitumes fluidifiés endommagent l'enrobé sous-jacent en dissolvant le bitume de l'enrobé. Plus la température est basse, plus l'évaporation du solvant est lente et, par conséquent, plus l'enrobé sous-jacent risque d'être endommagé. Si la nouvelle couche d'enrobé est mise en place sur un bitume fluidifié qui n'est pas complètement curé, le bitume risque de remonter vers la surface en raison de l'action des solvants non évaporés. Un enrobé contaminé par les solvants du bitume fluidifié est également plus vulnérable au fluage. L'usage de bitumes fluidifiés accroît donc de façon importante le risque de dégradation prématurée de la chaussée. De plus, ces solvants sont volatils et inflammables, ce qui représente un risque pour l'environnement et la sécurité des travailleurs.

Les émulsions peuvent contenir des polymères afin d'améliorer les propriétés rhéologiques du bitume résiduel. Dans ce cas, leur appellation est suivie de la lettre « P » (par exemple, CRS-1P). Les émulsions bitumineuses polymères devraient être utilisées comme liant d'accrochage uniquement sous un enrobé de surface mince ou très mince sur une route fortement sollicitée. Dans les autres cas, l'utilisation d'une émulsion polymère n'est pas requise.

Les émulsions d'accrochage du type CSS-1 ou SS-1 sont recommandées pour des livraisons en baril à des fins de rapiéçage de la chaussée. Le temps de rupture est plus long, mais la très grande stabilité à l'entreposage de ces émulsions représente l'avantage prédominant pour ce type de travaux.

Toutes les émulsions bitumineuses utilisées comme liant d'accrochage doivent être conformes aux exigences spécifiées dans la norme MTQ 4105 « Émulsions de bitume ». Les bitumes fluidifiés sont traités dans la norme MTQ 4104.

3.4 L'affinité émulsion-granulats

Dans le cas d'utilisation de liant d'accrochage sur des revêtements présentant des granulats exposés (par exemple, un enrobé usé ou plané), l'affinité bitume-granulat est à considérer. Les granulats présentent eux aussi des charges de surface. Il est généralement reconnu que l'adhésion des émulsions cationiques aux granulats électropositifs (calcaires, basaltes) est aussi bonne que l'adhésion aux granulats électronégatifs (granite, quartzite, silex, grès). L'adhésion d'une émulsion cationique et d'un granulat du même signe est possible grâce à la réaction de neutralisation se produisant entre l'acide de

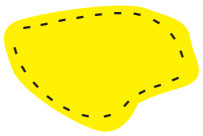
Granulat	Émulsion cationique	Émulsion anionique
granulat électropositif (calcaire, basalte)	réaction de neutralisation ↓ RUPTURE formation de carbonate d'amine insoluble ↓ ADHÉSIVITÉ	attraction ↓ RUPTURE formation de savon de calcium insoluble ↓ ADHÉSIVITÉ
granulat électronégatif (granite, quartzite, silex, grès) 	attraction ↓ RUPTURE formation de silicate d'amine insoluble ↓ ADHÉSIVITÉ	pas de réaction de neutralisation pas d'adhésion

Figure 3-4
Adhésivité des émulsions (figure provenant de la Section des fabricants d'émulsions routières de bitume [SFERB])

l'émulsion et les matériaux électropositifs, menant à la formation de sels insolubles (figure 3-4). Les émulsions anioniques présentent pour leur part une bonne adhésivité aux matériaux électropositifs seulement. La combinaison granulats électronégatifs et émulsion anionique doit être évitée. Lorsque ce type de granulat est exposé en cours de travaux, par une opération de planage par exemple, l'utilisation d'une émulsion cationique comme liant d'accrochage est à privilégier. Dans le cas où un liant d'accrochage est appliqué sur une couche d'enrobé neuf, les granulats sont recouverts d'un film de bitume, et l'émulsion utilisée peut être soit anionique, soit cationique. Dans ce cas, le choix de l'émulsion est basé sur les propriétés recherchées, sur le prix et sur la disponibilité du produit.

3.5 L'épandage des émulsions

Le collage entre deux couches d'enrobé est un phénomène complexe au cours duquel interviennent plusieurs paramètres physiques, opérationnels et climatiques.

Afin d'améliorer les chances de développer un lien fort entre les couches d'enrobé, il importe de rappeler que la surface à recouvrir doit être propre et non détrempée. Dans le cas du bitume fluidifié, il est primordial que la surface soit sèche. Cette dernière condition est souvent difficile à respecter par temps froid. Le balayage de la surface (planée ou non planée) est souvent requis pour obtenir une surface propre. Ce dernier doit permettre l'enlèvement des résidus et de la poussière pouvant nuire à l'adhésion du liant avec la surface à recouvrir.

Figure 3-5
Liant d'accrochage mal distribué

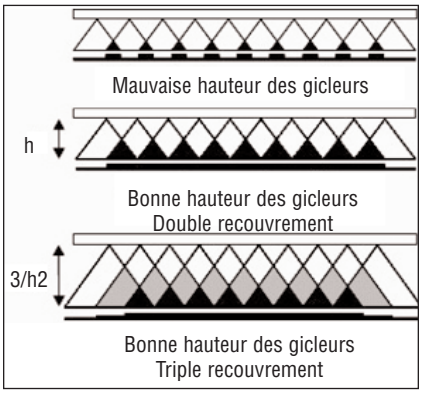


Figure 3-6
Position des gicleurs

Figure 3-7
Épandage non uniforme du liant d'accrochage

Pour obtenir une couche d'accrochage de qualité, l'émulsion doit être appliquée uniformément au moyen d'une rampe distributrice sous pression. Tous les gicleurs doivent bien fonctionner pour répartir uniformément le liant. Les gicleurs doivent être de même marque, de même grosseur et ajustés au même angle par rapport à la rampe. Des gicleurs bouchés partiellement ou totalement (figure 3-5) doivent être nettoyés ou réparés avant de commencer ou de poursuivre les travaux. La hauteur des gicleurs doit permettre un chevauchement des jets sur la surface de manière à obtenir un double ou un triple recouvrement, assurant ainsi une répartition uniforme du liant d'accrochage (figure 3-6). Il faut s'assurer du parallélisme de la rampe par rapport à la surface à recouvrir.

L'application de la couche d'accrochage, les conditions météorologiques et l'état de la surface conditionnent la réussite de l'accrochage. L'épandage de l'émulsion doit se faire à la température recommandée par le fabricant et au taux de pose spécifié au CCDG. Si l'épandage de l'émulsion est fait adéquatement, ces taux sont normalement suffisants pour recouvrir uniformément et complètement la surface. Afin d'obtenir le taux résiduel, il faut d'abord déterminer le volume total du produit à appliquer en prenant en considération le résultat d'essai du pourcentage de résidu par distillation inscrit sur l'attestation de conformité du fournisseur. Par exemple, si le résultat indique 65 % de résidus par distillation, le taux d'application sera alors de (0,25 L/m^2 x 100) / 65,0 = 0,385 L/m^2.

Un taux de pose insuffisant ou l'utilisation de gicleurs inopérants se traduit par une répartition non uniforme du liant diminuant ainsi l'efficacité du collage entre les couches. La figure 3-7 présente une surface inacceptable, la surface étant non uniforme (stries ou traces de peigne et marques de passages de véhicules).

Le mûrissement du liant d'accrochage doit être suffisamment avancé avant de permettre la circulation des camions transportant l'enrobé ou de tout autre véhicule sur la chaussée. La circulation de véhicules sur une émulsion dont le mûrissement n'est pas suffisamment avancé peut provoquer l'arrachement du liant résiduel et compromettre le collage des couches. Il est fortement recommandé de détourner la circulation hors de la zone des travaux afin d'éviter l'arrachement et la contamination du liant d'accrochage. Si c'est impossible, l'émulsion bitumineuse devrait être appliquée sur une voie et la circulation devrait être transférée sur l'autre voie pendant la rupture de l'émulsion et le mûrissement du liant. Lorsque le mûrissement du liant est terminé sur la première voie, la circulation peut être transférée sur celle-ci et l'émulsion peut être appliquée sur la deuxième voie. Les véhicules qui circulent sur le liant d'accrochage doivent le faire à vitesse réduite pour des raisons de sécurité.

Les endroits à badigeonner avec un liant d'accrochage, en plus de la surface à recouvrir, sont les trottoirs, les bordures de béton, les joints froids (longitudinaux et transversaux). Le badigeonnage des parois verticales des trottoirs et bordures est réalisé à l'aide d'une lance terminée par un gicleur; dans ce cas, le gicleur utilisé a un débit

concentré. Par contre, pour combler le manque de liant sur une surface, un gicleur pulvérisateur doit être utilisé. Deux gicleurs différents, contrôlés par une valve d'accès, peuvent être installés sur le tuyau.

L'utilisation d'un véhicule de transfert des matériaux (VTM), dont le convoyeur pivote, peut éviter la circulation des camions livrant l'enrobé sur le liant d'accrochage. La figure 3-8 présente une façon d'utiliser un VTM pour cet usage.

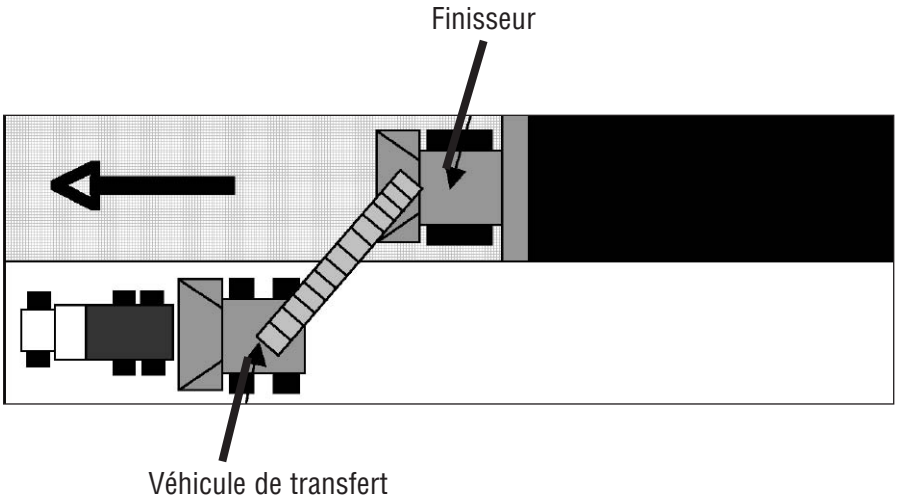


Figure 3-8
Utilisation d'un véhicule de transfert

4 La mise en place de l'enrobé

4.1 Généralités

La mise en place d'un revêtement bitumineux s'effectue à l'aide d'un finisseur. La connaissance des principes de conception et de fonctionnement de ce type d'équipement est indispensable pour en comprendre les possibilités et les limites.

4.2 Le finisseur

La partie centrale de l'équipement constitue la partie « tracteur » du véhicule; elle comporte une source d'énergie mécanique, hydraulique et électrique (figure 4-1). Le système de traction monté sur roues ou chenilles permet le déplacement de l'équipement et le guidage de la direction. La trémie permettant le déchargement des camions est située à l'avant tandis qu'un système de convoyeur permet le transfert de l'enrobé à l'arrière vers la vis de répartition et la table du finisseur, laquelle répartit le matériau.

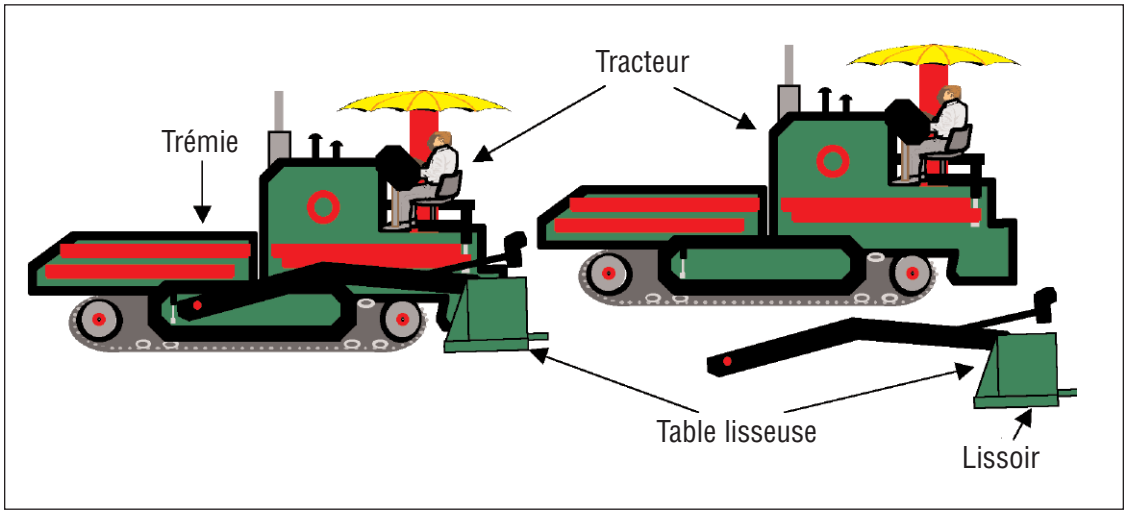


Figure 4-1
Finisseur

La partie arrière, soit la table lisseuse, est flottante, c'est-à-dire qu'elle repose sur le matériau mis en place et qu'elle est reliée au tracteur par l'intermédiaire de deux points d'attache (figure 4-1). La table lisseuse se compose d'un lissoir, de commandes d'épaisseur, d'un dispositif de réglage des pentes transversales et d'unités de chauffage. De plus, elle est équipée d'une plaque de damage vibrante. Plutôt que d'être dotés d'une

Figure 4-2
Trémie du finisseur

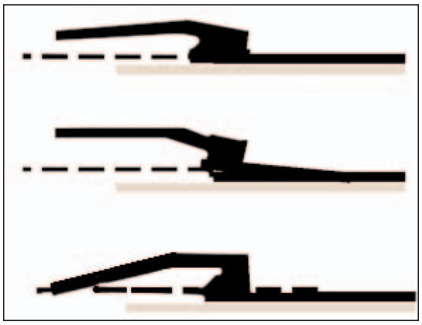


Figure 4-3
Angle d'incidence de la table

plaque de damage vibrante, certains modèles de finisseurs sont équipés de ce qu'on appelle communément « une barre dameuse », qui coulisse de haut en bas et se situe au bord de la face avant du lissoir.

Le lissoir sert à lisser le mélange et doit être fixé d'une façon très précise en conformité avec les normes du fabricant. Cette plaque est chauffée par un système de brûleur, et la largeur du lissoir est ajustable.

4.2.1 Le fonctionnement du tracteur

Le tracteur, ou engin tracteur, est monté sur pneus ou sur chenilles selon les préférences des fabricants et celles de l'entrepreneur. La vitesse d'avancement de tous les types de finisseurs peut être ajustée de façon à assurer un déplacement constant, adapté à la production de la centrale produisant l'enrobé. Le finisseur doit avancer à vitesse constante et ne s'arrêter qu'en cas de nécessité absolue. Les arrêts et départs fréquents modifient localement les propriétés de l'enrobé et contribuent à produire une surface de roulement inégale.

Plusieurs types de trémies comportent des ailes latérales qui se replient pour faciliter le nettoyage et empêcher l'accumulation ou la ségrégation de l'enrobé ou l'accumulation de mélange refroidi et durci (figure 4-2). Les ailes de trémies doivent être repliées fréquemment pour éviter l'accumulation de mottes d'enrobé refroidi sur les bords de la trémie. Les convoyeurs à lames font passer l'enrobé à travers l'engin tracteur à partir de la trémie de réception. Des limitateurs de débit règlent la quantité de mélange transportée jusqu'à la table lisseuse. Certains modèles de finisseurs sont munis de vis sans fin à la place de convoyeurs. Ce type de vis permet de mélanger l'enrobé avant de le placer à la vis de répartition à l'arrière, ce qui peut, dans certains cas, améliorer l'uniformité de la température de l'enrobé.

4.2.2 Le fonctionnement de la table lisseuse

Des vis sans fin servent à répartir le matériau uniformément de façon à maintenir constante la quantité d'enrobé qui se trouve devant la table lisseuse.

Tous les finisseurs fonctionnent selon le même principe quant au nivellement et au réglage de l'épaisseur. Quand la poutre lisseuse pénètre dans le mélange, elle s'ajuste automatiquement au niveau auquel s'équilibrent les forces qui agissent sur elle. L'angle d'incidence de la table et la vitesse du finisseur ont une influence directe sur l'uniformité de l'épaisseur du revêtement. Si l'angle d'incidence s'ouvre ou si la vitesse diminue, l'épaisseur tend à augmenter. Si l'angle d'incidence ferme ou si la vitesse augmente, l'épaisseur tend à diminuer (figure 4-3). Tout ajustement des réglages requiert

une distance équivalant à au moins six fois la longueur du bras de levier de la table pour que les forces se rééquilibrent et que l'ajustement soit terminé.

Le lissoir en contact avec l'enrobé doit toujours être lisse, bien ajusté et en bon état pour assurer une mise en place adéquate. Pour le bon fonctionnement de la table lisseuse, il faut s'assurer que la pente transversale est correcte. La table lisseuse doit également être dotée d'un système à air chaud forcé. En chauffant le lissoir, on empêche l'enrobé d'y adhérer. Il est courant de mettre en marche ces éléments chauffants au début des opérations de mise en place et parfois avant pour compenser les pertes de chaleur par temps froid et venteux. L'utilisation de ces systèmes pour augmenter la température de l'enrobé livré au chantier à une température trop basse est une approche à proscrire. Il faut éviter toute surchauffe (air chaud) qui augmente les risques de déformation du lissoir ou cause une usure prématurée.

Tout en arasant l'enrobé à la hauteur voulue et en maintenant la bonne épaisseur d'enrobé, la table lisseuse consolide le mélange et en amorce la densification à l'aide de la plaque de damage vibrante. Le degré de compactage obtenu varie selon les caractéristiques du mélange. En général, la table lisseuse amène l'enrobé à une compacité d'environ de 80 %. La compacité peut être plus élevée lorsque la table lisseuse est équipée d'une barre dameuse au lieu d'une plaque de damage vibrante. Cette barre densifie l'enrobé pour que la plaque de nivellement glisse doucement sur le mélange. La barre dameuse doit descendre à 0,4 mm sous la poutre au bas de chaque course. Ce précompactage est insuffisant pour permettre la circulation des véhicules, et ce, même pour une utilisation temporaire. L'utilisation de la barre dameuse sur les finisseurs est observée principalement en Europe.

La table lisseuse doit avoir un réglage adéquat de la couronne pour obtenir une texture uniforme. La face avant de la table lisseuse, comme la face arrière, doit avoir une couronne ajustable. La face avant doit toujours avoir une couronne légèrement supérieure à celle de la face arrière. Toutefois, si la couronne de la face avant est trop prononcée, le revêtement bitumineux présente une texture grossière et ouverte sur les bords de la travée. Si la couronne est trop faible, le phénomène se produit au centre.

La plupart des finisseurs sont munis d'une table lisseuse dont la largeur est ajustable, permettant la mise en place du mélange sur une largeur supérieure à 7,0 m. La rallonge peut consister en un système hydraulique ou en un dispositif boulonné aux extrémités de la table standard. Dans chaque cas, une attention particulière doit être prêtée à la quantité de mélange se rendant jusqu'aux extrémités de la table. En effet, lorsque les vis de distribution n'assurent pas une alimentation en enrobé suffisante aux extrémités, le mélange refroidit à ces endroits et deux bandes parallèles de mélange déchiré peuvent apparaître derrière le finisseur.

Figure 4-4
Alimentation de la vis de répartition

L'enrobé à chaud doit être maintenu à un niveau constant au centre de la vis de répartition ou à mi-hauteur (figure 4-4). La quantité d'enrobé acheminée aux vis de répartition a également un effet sur l'uniformité du mélange mis en place; elle peut causer des ondulations et des variations de la texture en surface. Un manque d'enrobé devant la table lisseuse favorise un enfoncement de la table dans le mélange, puisque ce dernier est moins dense. S'il y a trop d'enrobé devant la table lisseuse, celle-ci tend à remonter, puisque le mélange est plus dense.

Ce point a donc un effet sur l'épaisseur de revêtement mis en place. Le matériau doit être réparti aussi uniformément que possible dans les vis de répartition. La distribution latérale de l'enrobé devant la table lisseuse doit toujours être uniforme. Un manque d'enrobé peut provoquer de l'arrachement sur les côtés du revêtement et des déchirements au centre entre les deux vis de répartition. Un surplus d'enrobé peut faire apparaître des rides à la surface du revêtement. Bien réglés, la plupart des finisseurs maintiennent automatiquement une charge régulière d'enrobé devant la table lisseuse.

L'utilisation d'un finisseur à contrôle électronique de la pente (longitudinale) est généralement exigée sur les chantiers d'envergure. Cet équipement permet l'ajustement de l'angle d'attaque de la table lisseuse selon les distorsions de la surface à recouvrir. L'inclinaison est fixée grâce à un détecteur qui reçoit les signaux d'un repère dressé sur le bord de la chaussée. Ainsi, en présence d'une dépression du profil, le finisseur détecte, par une mesure de l'inclinaison, que la partie tracteur « descend » et transmet une commande au système hydraulique contrôlant l'angle d'incidence de la table lisseuse de façon à augmenter l'épaisseur du revêtement afin de maintenir un profil uniforme. Lors de travaux de resurfaçage sur un support déformé tel un revêtement plané, la référence de nivellement est généralement la bande d'enrobé neuf adjacente ou le caniveau. Le signal peut également provenir d'une poutre latérale glissant sur la surface à recouvrir. Ce dernier système peut permettre de corriger les défauts mineurs du profil et contribuer à obtenir un bon uni de surface. La pente transversale du revêtement, appelée dévers, est réglée par le mouvement du vérin du point de remorquage situé sur le côté du finisseur opposé à celui du détecteur d'inclinaison. Un pendule monté sur une poutre décèle la différence de hauteur entre les extrémités de cette poutre. Ce contrôleur de dévers transmet un signal au vérin du point de remorquage de sorte que la table lisseuse est maintenue à la pente transversale désirée. Un côté de la table lisseuse est contrôlé par le détecteur d'inclinaison et l'autre, par le pendule de dévers.

4.2.3 Le déchargement des camions

Les camions doivent être bien centrés sur le finisseur et ne pas s'y appuyer lors du recul. L'approche des camions contre le finisseur doit se faire sans heurt. Ils doivent s'arrêter à quelques centimètres du finisseur de façon que ce dernier s'approche et vienne le pousser. Une légère pression est appliquée sur les freins du camion. Cette méthode vise à éviter les chocs entre les deux véhicules, lesquels se répercutent à la table lisseuse et par

Figure 4-5
Vidange de benne hors chantier.

Figure 4-6
Dépôts d'enrobé devant le finisseur

Figure 4-7
Enlèvement des amas d'enrobé

conséquent sur l'uni du revêtement. La benne du camion est basculée lentement pour que le chargement tombe avec douceur dans la benne du finisseur. L'alimentation de la trémie doit être adéquate et constante. Il faut que la porte arrière des camions s'ouvre largement, de sorte que la trémie du finisseur soit bien remplie avant le changement de camion. Aussitôt que les camions sont complètement déchargés, ils doivent quitter le finisseur avec la benne en position basse. Les bennes des camions doivent être nettoyées à l'extérieur du chantier (figure 4-5) afin d'éviter des dépôts d'enrobé sur le revêtement (figure 4-6). La vidange des bennes doit être complète. S'assurer d'enlever la totalité des restes d'enrobé. La chute accidentelle d'enrobé devant le finisseur est à éviter. Tout dépôt d'enrobé sur la surface devant être recouverte doit être enlevé (figure 4-7) et déplacé hors du chantier, et non pas transféré dans le finisseur. Normalement, la température de l'enrobé est mesurée dans la trémie du finisseur. Si l'enrobé doit être échantillonné au chantier, il est recommandé de le prélever à quatre endroits distincts dans la trémie du finisseur comme décrit dans la norme LC 26-005 du ministère des Transports du Québec.

4.2.4 La vitesse d'avancement du finisseur

Un point important à considérer lors de la mise en place est l'uniformité de la vitesse d'avancement du finisseur permettant de limiter les arrêts et départs de l'appareil. Lors d'un arrêt, même de courte durée, la poutre lisseuse laisse son empreinte à la surface de l'enrobé. Lors du redémarrage du finisseur, la poutre lisseuse tend à se soulever sur le mélange refroidi qui se retrouvait dans la table en contact avec la vis de répartition du finisseur. Ce phénomène, plus marqué après un arrêt prolongé et par temps froid, se traduit localement par une légère surépaisseur de la couche mise en place. Ce phénomène contribue à former une irrégularité de courte longueur d'onde dans le profil. Également, l'enrobé localement plus froid n'aura pas les mêmes propriétés que l'enrobé adjacent et, par conséquent, il aura un comportement différentiel sous diverses contraintes (thermiques et mécaniques) lors de sa mise en service.

Le ralentissement du finisseur se traduit par une augmentation de la fréquence de vibrations, plus rapprochées, de la plaque de damage, augmentant ainsi la densité du revêtement créant un effet similaire à un excès d'enrobé devant la poutre lisseuse. Si le finisseur accélère, les vibrations s'espacent, la densité du mélange diminue, ce qui permet un enfoncement de la poutre. La vitesse d'avancement du finisseur doit donc être constante et le nombre d'arrêts du finisseur, réduit au minimum.

La vitesse d'avancement est fonction du taux de production de la centrale, de l'épaisseur du revêtement mis en place et du nombre de finisseurs utilisés. Pour les enrobés traditionnels, l'épaisseur minimale de l'enrobé devrait être de trois à quatre fois le diamètre nominal maximal de la granularité de l'enrobé. L'épaisseur minimale est fonction de la maniabilité de l'enrobé. Le diamètre nominal maximal correspond à la désignation de l'enrobé. Par exemple, un enrobé du type ESG-10

possède une granulométrie de dimension nominale maximale de 10 mm. Il devrait donc être mis en place à approximativement 40 mm d'épaisseur minimale si les granulats utilisés sont très angulaires et si le bitume a été modifié avec des polymères. Une épaisseur de 30 mm peut être envisagée si les granulats sont moins angulaires et si le bitume est non modifié. Le taux de pose sera calculé à partir des caractéristiques de l'enrobé. L'estimation de la vitesse du finisseur adaptée au taux de production de la centrale est décrite par l'équation 1.

Équation 1 : Vitesse du finisseur

$$\text{Vitesse du finisseur (m/min)} = \frac{\text{Production de la centrale (t/h)} \times 1\,000}{60 \times \text{taux de pose (kg/m}^2\text{)} \times \text{largeur de pose (m)}}$$

La formule précédente peut être utilisée pour tracer des tableaux et graphiques pour différentes largeurs de pose. La figure 4-8 est un exemple de graphique pour une largeur de mise en place de 3,7 m.

Exemple : La vitesse d'un finisseur mettant en place un enrobé au taux de 120 kg/m^2 sur 3,7 m de largeur alimenté par une centrale dont la production est de 240 t/h devrait être de 9,0 m/min. Si deux finisseurs sont utilisés, la vitesse devra être divisée par deux.

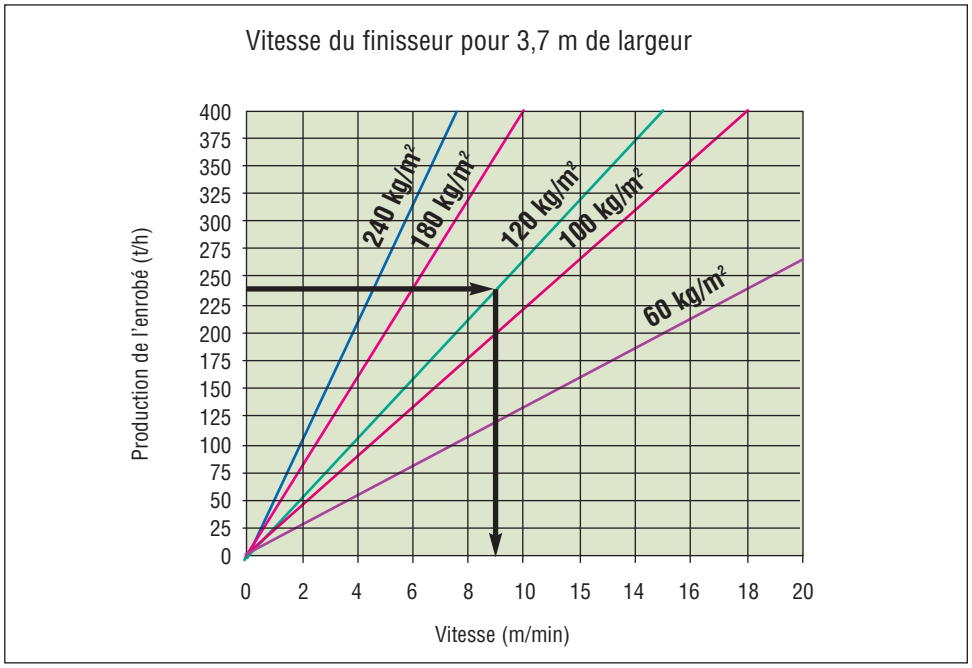


Figure 4-8
Vitesse du finisseur

La vitesse ainsi estimée doit être adaptée aux conditions particulières du chantier, notamment à la capacité de l'atelier de compactage du revêtement. Normalement, la vitesse d'un finisseur se situe entre 2 et 10 m/min selon l'épaisseur et la largeur à mettre en place. De plus, il faut tenir compte des caractéristiques du finisseur et du type d'enrobé utilisé. Les fabricants indiquent habituellement des vitesses minimales et maximales afin d'assurer une mise en place adéquate.

Figure 4-9
Andin d'enrobé bitumineux

On comprend que toute variation du fonctionnement du finisseur et des caractéristiques de l'enrobé (refroidissement) a un impact sur l'uniformité de l'enrobé mis en place. Ainsi tous les efforts visant à réduire ces variations ne peuvent qu'être bénéfiques à la qualité des travaux.

En cas d'arrêt de longue durée (incident mécanique, panne de la centrale d'enrobage, arrêt journalier), le finisseur doit être avancé pour permettre le compactage de l'enrobé répandu, et on utilisera des cales d'épaisseur au moment de la remise en route après avoir pris les précautions prévues relativement à l'exécution du joint transversal (voir la partie 6). Lorsqu'on doit vider le finisseur, les derniers mètres d'enrobés mis en place doivent être enlevés, la faible quantité de mélange bitumineux mis en place ne permettant pas l'obtention des caractéristiques d'un revêtement conformes aux exigences demandées.
En cas d'arrêt de courte durée (pose de bandes de pavage additionnelles ou de surlargeurs, réalisation d'intersection, etc.), il est recommandé de laisser temporairement un andin d'enrobé afin d'éviter un refroidissement trop rapide et favoriser une meilleure reprise de la reprise au redémarrage de la mise en place (voir la figure 4–9).

4.2.5 L'entretien des finisseurs et des outils

Figure 4-10
Déversement de solvant sur le revêtement

L'entretien des finisseurs est un élément clé pour assurer la qualité des travaux. Sur une base quotidienne, en fin de journée, il est indispensable de nettoyer à fond le finisseur (figure 4-7). Tous les fabricants fournissent un manuel d'entretien précisant les points à vérifier et les intervalles d'entretien (graissage). Lors de ces opérations d'entretien, on prête une attention particulière aux réglages de l'équipement en précisant les réparations qui s'imposent. Le nettoyage et l'entretien des finisseurs se font à un endroit où le revêtement ne risque pas d'être contaminé par des hydrocarbures.

Les râteaux, pelles et autres outils doivent être nettoyés à l'écart des travaux d'enrobé, les solvants utilisés étant néfastes pour les revêtements bitumineux. La figure 4-10 présente de la contamination d'un revêtement par un solvant utilisé pour le nettoyage des outils manuels. Ce déversement de solvant sera la cause d'une dégradation localisé du nouveau revêtement (ressuage, déformation, arrachement, désenrobage et nids de poule).

4.3 L'utilisation des véhicules de transfert de matériaux (VTM)

La pratique courante consiste à transporter l'enrobé par camion de la centrale d'enrobage au chantier et à le déverser dans un finisseur pour l'épandage sur la chaussée. Selon la durée du transport, la température extérieure, l'efficacité des systèmes de recouvrement et la durée des périodes d'attente avant le déchargement, l'enrobé se refroidit en

surface, ce qui provoque la formation d'une croûte. Ce phénomène se traduit par une distribution non uniforme de la température dans l'enrobé qui est acheminé par les convoyeurs du finisseur. Il est reconnu que le déplacement de l'enrobé dans le finisseur ne permet pas, à lui seul, d'homogénéiser la température du mélange et que les hétérogénéités de température dans le mélange provoquent la présence de zones plus froides sur le revêtement d'enrobé lors de la mise en place. La variabilité de température au moment de l'épandage conduit à des variations de la compacité du revêtement. Après compactage, les zones plus froides sont généralement moins denses, plus poreuses et par conséquent peuvent se dégrader de façon prématurée.

Cette pratique implique également plusieurs arrêts et départs de l'équipement, ce qui produit un épandage de matériaux non uniforme.

Afin de pallier ce problème, l'utilisation des véhicules de transfert de matériaux (VTM) est recommandée. Ce type d'équipement, aussi appelé « trémie tampon », est adapté pour recevoir le chargement des camions, et permet d'emmagasiner et de mélanger une quantité importante d'enrobé favorisant ainsi le maintien et l'uniformisation de la température du mélange (figures 4-11, 4-12 et 4-13).

Figure 4-11
VTM du type Blaw-Knox® MC-330

Figure 4-12
VTM du type Shuttle Buggy® SB-2500 de Roadtec

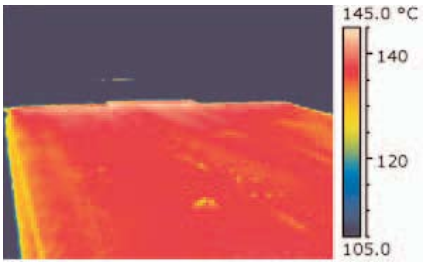


Figure 4-14
Uniformité de température avec utilisation d'un VTM (ΔT° < 10 °C)

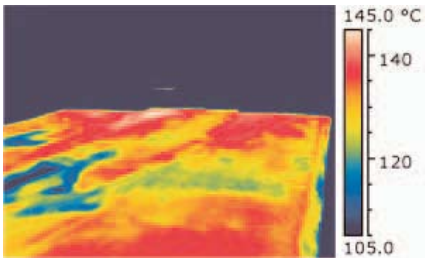


Figure 4-15
Non-uniformité de température sans utilisation d'un VTM (ΔT° > 40°C)

Figure 4-16
Utilisation d'un VTM avec un finisseur de grande largeur

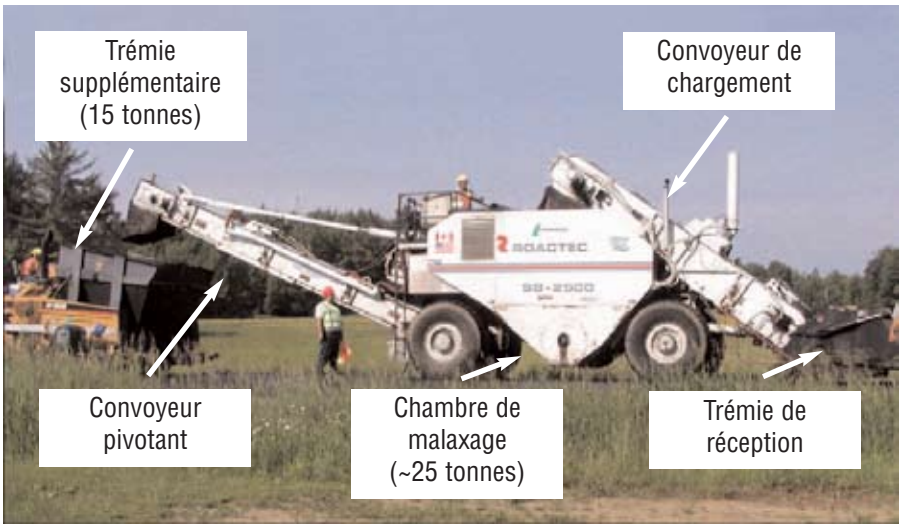


Figure 4-13
VTM du type Shuttle Buggy® SB-2500 de Roadtec

La plupart des VTM possèdent leur propre procédé de malaxage pour homogénéiser la température et éliminer la ségrégation du mélange qui se produit lors du transport par camion et du déchargement dans la trémie du finisseur. Cette opération contribue à rendre la température de la couche d'enrobé uniforme à l'arrière de la table du finisseur. Les écarts de température peuvent être tout au plus de 10°C (figure 4-14) alors qu'ils atteignent bien souvent plus de 40°C avec la méthode traditionnelle (figure 4-15).

Les VTM comportent un convoyeur permettant d'alimenter les finisseurs en déversant le mélange à la verticale tout en évitant le contact avec ceux-ci. L'utilisation d'un convoyeur pivotant (figure 4-13) permet l'alimentation à partir d'une voie adjacente, ce qui présente l'avantage d'éviter la circulation des camions directement sur le liant d'accrochage en avant du finisseur (voir la figure 3-8 de la partie 3). L'usage d'une trémie supplémentaire (de 10 à 15 tonnes de capacité selon les modèles), placée au-dessus de la trémie du finisseur, jumelée avec la grande capacité d'emmagasinement des VTM (~25 tonnes selon les modèles) permet de poser l'enrobé en continu sans arrêt du finisseur. Puisqu'il est indépendant du finisseur, le VTM agit comme régulateur; il réduit le temps d'attente des camions tout en alimentant uniformément un ou deux finisseurs. En régularisant l'alimentation, il est possible de diminuer la durée du cycle de transport des camions et, dans certaines conditions, de réduire la quantité de camions.

De plus, l'utilisation d'un VTM avec un finisseur de grande largeur (9 m) s'avère une pratique qui assure une qualité de mise en place en permettant l'épandage d'une grande quantité d'enrobé simultanément sur deux voies tout en éliminant un joint longitudinal (figure 4-16).

Finalement, des études[3] démontrent que l'utilisation d'un VTM se traduit par un meilleur uni de la chaussée ainsi que par une densité et une texture plus homogènes.

3. J. K. HARRIS, F. PARKER et M. STROUP-GARDINER, Transportation Research Record 1900, Effect of Material Transfer Devices on Flexible Pavement Smoothness, TRB, p. 50-55, 2004.

5. Le compactage

5.1 Généralités

Les buts visés par le compactage d'un enrobé sont :

- de densifier le matériau au pourcentage de vides optimal afin d'obtenir l'ensemble des propriétés mécaniques désirées du mélange bitumineux et d'assurer la durabilité du revêtement;
- de sceller la surface en la rendant uniforme afin d'assurer un bon uni avec des caractéristiques d'adhérence compatible avec la sécurité des usagers de la route.

Lorsqu'un enrobé mis en place à chaud est compacté correctement, le bitume et la fraction fine du mélange forment une matrice dans laquelle les gros granulats sont maintenus.

Pour un enrobé traditionnel, le compactage adéquat se traduit par :

- un resserrement de la matrice granulaire de façon qu'il y ait contact entre les granulats;
- un pourcentage de vides d'environ 5 %, rendant le mélange à la fois stable et plus imperméable à l'air et à l'eau.

Pour assurer un compactage adéquat, il faut prêter une attention particulière au confinement du mélange et à la température de ce dernier. Sur le chantier, le confinement de la partie supérieure de l'enrobé est tributaire de la rigidité de la couche sous-jacente. La densification du mélange s'effectue par le passage des rouleaux, le confinement des côtés est assuré par la portion d'enrobé longeant la section à compacter. Ce mélange environnant doit résister aux pressions sans se déplacer. La résistance au déplacement est directement liée à deux facteurs : la friction entre les granulats et la température du liant. Lorsqu'un mélange contient des granulats à surfaces lisses et arrondies, donc présentant moins de friction intergranulaire, le mélange a tendance à se déplacer sous le poids du rouleau plutôt qu'à se comprimer. Lorsque le mélange est trop chaud, le liant, trop lubrifiant, ne lie pas suffisamment les granulats; le mélange a aussi tendance à se déplacer sous le poids du rouleau. Lorsqu'il est trop froid, le liant, trop visqueux, ne permet pas de rapprocher les granulats entre eux; le mélange devient presque impossible à densifier adéquatement. Sauf dans des cas particuliers, le compactage ne peut être mené à bien lorsque la température du mélange est inférieure à 85°C. La température la plus propice à un compactage efficace se situe entre 85°C et 150°C à la surface de l'enrobé. Le thermomètre infrarouge est nécessaire, car il indique précisément la température de surface. La température de 85°C étant une température minimale, il convient de commencer la compaction du revêtement à une température plus élevée

Figure 5-1
Rouleaux tandems statiques

Figure 5-2
Rouleau pneumatique

Figure 5-3
Rouleau muni de jupes

Figure 5-4
Rouleau à vibrations verticales

pour laisser suffisamment de temps aux rouleaux de terminer le travail. Ces températures peuvent varier légèrement selon la classe de bitume utilisée (voir la section 4.3). Il est préférable d'utiliser les enrobés dont la température se situe le plus près possible de l'optimum, puisque le bitume devient plus fluide. Il possède alors les propriétés de lubrification qui permettent le compactage du mélange.

En résumé, le compactage vise à bien densifier le mélange, à réduire la proportion de vides et à obtenir une surface de roulement uniforme. Compacter le mélange adéquatement, à une température appropriée permet d'atteindre ces objectifs.

5.2 Les rouleaux

Il existe fondamentalement deux types de rouleaux : les rouleaux statiques et les rouleaux dynamiques ou vibrants.

5.2.1 Les rouleaux statiques

Parmi les rouleaux statiques, on trouve les tandems (figure 5-1) et les tridems, tous deux à cylindres d'acier, et les rouleaux pneumatiques (figure 5-2). C'est par la pression exercée par le rouleau sur la couche d'enrobé qu'on obtient le compactage.

Les rouleaux en acier lisses sont surtout destinés à aplanir plutôt qu'à compacter. Ils régularisent le profil en travers et peuvent compacter des couches minces d'enrobé. Ils servent également à « pincer » les joints. Les facteurs influençant leur efficacité sont le diamètre des cylindres, la charge par unité de largeur et la vitesse.

Les rouleaux pneumatiques compactent par pression et pétrissage. Plusieurs facteurs influencent leur efficacité : le nombre de pneus, la pression à l'intérieur des pneus, le diamètre des roues, la charge par unité de largeur ainsi que la vitesse. La charge par roue est généralement de 1,5 t à 2,5 t. La pression de gonflage des pneus se situe entre 300 et 900 kPa. Les pneus doivent être bien nettoyés afin d'éviter l'adhésion au revêtement chaud. S'ils sont froids, leur réchauffement est requis. Il est souhaitable, voire nécessaire, d'utiliser des jupes pour conserver les pneus suffisamment chauds (figure 5-3). Constituées généralement de tapis de caoutchouc ou parfois de toiles, les jupes couvrent l'ensemble des pneumatiques du rouleau et permettent de mieux en conserver la chaleur.

5.2.2 Les rouleaux à vibrations verticales et les rouleaux à oscillations ou vibrations horizontales

Les rouleaux à vibrations verticales (figure 5-4) à un ou deux cylindres d'acier sont munis de masses rotatives à l'intérieur des cylindres. Ces masses en mouvement transmettent des vibrations aux cylindres, produisant ainsi une force dynamique qui, s'ajoutant à la masse de l'appareil, augmente la capacité de compactage. Les vibrations dirigées verticalement permettent

Figure 5-5
Rouleau à oscillations

Figure 5-6
Rouleau mixte

de réduire le frottement entre les granulats en stimulant l'action de la partie mastic, soit le granulat fin et le bitume, entre les gros granulats facilitant ainsi le compactage. Leur efficacité est fonction du poids suspendu par l'unité de largeur, de la fréquence de vibration et de la vitesse.

Un autre type de rouleau est celui à oscillations ou vibrations horizontales (figure 5-5). Lors du compactage, les cylindres se trouvent en contact constant avec le sol. À l'inverse des cylindres à vibrations, ils sont équipés de deux axes balourds à rotation synchrone. Ce dispositif permet le déplacement du cylindre en un mouvement inversant avant-arrière par une rotation simultanée. Le compactage par oscillation est obtenu par le propre poids du rouleau et par les forces tangentielles de cisaillement et non par des vibrations dirigées verticalement et des secousses dans le sol comme pour le système à vibration.

Conformément aux différents principes de compactage, les rouleaux à oscillations transmettent seulement environ 15 % des vibrations produites normalement par les rouleaux à vibrations. C'est pourquoi on peut utiliser des rouleaux et des compacteurs à oscillations très près de bâtiments sensibles aux vibrations et sur des canalisations. Ces machines compactent aussi tous les autres types de support dits normaux.

On trouve actuellement un troisième type de rouleau vibrant, soit le rouleau pneumatique vibrant. Ce type de rouleau améliore l'efficacité des rouleaux pneumatiques. Cependant, il s'agit d'un tout nouveau type de rouleau compacteur dont l'utilisation demeure marginale pour le moment.

5.2.3 Les rouleaux mixtes

Le rouleau mixte (figure 5-6) équivaut à un couple formé d'un monocylindre et d'un rouleau à pneus. Ils allient les avantages de la vibration à ceux des compacteurs à pneus. Les rouleaux mixtes sont normalement utilisés sur des revêtements d'épaisseurs de 60 mm et moins.

5.3 Le compactage

Les enrobés bitumineux doivent être compactés immédiatement après leur mise en place afin de s'assurer que le bitume ait la viscosité idéale pour faciliter le travail. Les rouleaux compacteurs doivent commencer le compactage le plus tôt possible après la mise en place par le finisseur. Ils doivent être manœuvrés avec attention pour assurer une surface lisse et un bon uni.

Les enrobés ne se comportent pas tous de la même manière durant le compactage. Le comportement au compactage est influencé par la granularité, la forme des granulats, la classe de bitume, la teneur en bitume de l'enrobé, la température ambiante, celle de l'enrobé et celle de la surface à recouvrir, la teneur en eau des granulats, l'épaisseur

de mise en place, le confinement du mélange et les conditions de la fondation granulaire. La performance de l'équipement de compactage doit être pris aussi en considération. Il faut effectuer fréquemment des planches d'essais pour déterminer un bon patron de compactage. L'utilisation d'un rouleau compacteur approprié optimisera le nombre de passes requises et favorisera une compacité uniforme conduisant à un revêtement plus performant.

Le compactage se fait généralement en trois étapes : le compactage initial, le compactage intermédiaire et le compactage final. Le compactage initial suit directement le finisseur, le compactage intermédiaire vient ensuite. Le compactage final sert à effacer les traces laissées par le compactage précédent. Divers types de rouleaux sont utilisés pour la réalisation du compactage. Si la compacité minimale requise n'est pas obtenue à la fin du processus de compactage, la circulation pourra causer des déformations et de l'orniérage sur le revêtement.

5.3.1 Le compactage initial

Le compactage initial peut être effectué avec un rouleau pneumatique ou un rouleau vibrant double bille. Le rouleau vibrant peut être utilisé en mode statique. Le compactage initial sert à assurer au revêtement une compacité minimale pour garantir une excellente performance sous l'effet de la circulation par la suite. Généralement, la compacité après le compactage initial est supérieure à 89 % de la densité maximale de l'enrobé.

Le rouleau ou les pneumatiques directionnels doivent être situés du côté du finisseur. Le rouleau directionnel crée souvent du déplacement dans le revêtement. Le rouleau arrière effacera ces marques par la suite. Le déplacement de l'enrobé conduit parfois à de microfissures transversales qui réduisent l'imperméabilité et qui conduisent à une durabilité moindre du revêtement (voir figure 9-3 à la partie 9).

Le compactage initial doit s'effectuer à la température de l'enrobé la plus élevée possible, soit celle qui supportera le poids du rouleau sans causer des déplacements excessifs de la surface. Selon la classe de bitume utilisée, cette température peut être près de 150°C. À cette température, la viscosité faible du bitume permet de mieux placer les granulats, conduisant ainsi à une compacité plus élevée. À mesure que la surface refroidit, la viscosité du bitume augmente et il devient plus difficile d'obtenir une surface suffisamment compactée et imperméable.

5.3.2 Le compactage intermédiaire

Le but principal du compactage intermédiaire est d'assurer une bonne imperméabilité du revêtement. On peut envisager l'utilisation de rouleaux pneumatiques, mais les rouleaux vibrants double bille sont les plus utilisés. En fait, les dernières passes des rouleaux utilisés pour le compactage initial servent de compactage intermédiaire.

5.3.3 Le compactage final

Cette étape sert principalement à effacer les marques laissées sur le revêtement par les étapes précédentes de compactage. Les rouleaux statiques et vibrants peuvent être utilisés. Il faut prendre garde à ne pas surcompacter le revêtement, ce qui peut conduire à un mauvais fini de la surface.

5.4 La méthode de compactage

Un compactage inadéquat est souvent le résultat d'une mauvaise méthode de travail. Une méthode ou une séquence de cylindrage bien conçue assure un compactage conforme et uniforme. La meilleure façon d'établir un plan de cylindrage adéquat consiste à faire une planche d'essai où le degré de compaction est vérifié à l'aide d'un nucléodensimètre. Avant de procéder au cylindrage, et quel que soit le type de rouleau, il est important d'y aller par étapes :

1. Déterminer le nombre de passes requises pour couvrir complètement la surface du revêtement.
2. Établir le nombre de fois que cette première étape doit être répétée.
3. S'assurer que le mélange est cylindré à une température convenable.
4. Fixer la vitesse du rouleau.

Afin de déterminer le nombre de passes requises pour compacter complètement la surface du revêtement, le rapport est calculé entre la largeur du rouleau (en tenant compte d'un chevauchement nécessaire de 150 mm) et la pleine largeur du revêtement. Ainsi, la largeur du revêtement divisée par la largeur du rouleau moins 150 mm donne le nombre de passes. Il arrive souvent qu'il y ait une couronne au centre de la voie. Dans ce cas, le calcul est effectué pour chaque côté. Lorsque la couche est épaisse, soit plus de 50 mm, et qu'il n'y a pas de possibilité de confinement (en raison de l'absence de bordures ou d'un revêtement adjacent), la première passe est réalisée à 300 mm du bord intérieur du revêtement, pour éviter le déplacement latéral du mélange.

Il est important de procéder au cylindrage initial sur toute la largeur du revêtement dès que l'enrobé est répandu, avant qu'il n'ait eu le temps de refroidir. Le cylindrage débute par le côté le plus bas de la chaussée. À cet endroit, le rouleau ne doit pas déborder de plus de 50 mm de la bordure extérieure du revêtement. Le nombre de passes supplémentaires pour obtenir le degré de compacité exigé est ensuite établi. Pour ce faire, l'utilisation d'un nucléodensimètre est essentielle.

L'exemple présenté à la figure 5-7 montre que le degré de densité exigé a été atteint après deux passes. Remarquez que les passes subséquentes augmentent peu le degré de compacité. Lorsque le mélange est exagérément cylindré, on observe une diminution du degré de compacité après la cinquième passe.

Cette perte de compacité peut se produire, quel que soit le type de rouleau utilisé. Toutefois, un rouleau vibrant permet d'atteindre le degré de compacité exigé en moins de passes; conséquemment, le seuil de « décompactage » risque d'être atteint plus rapidement.

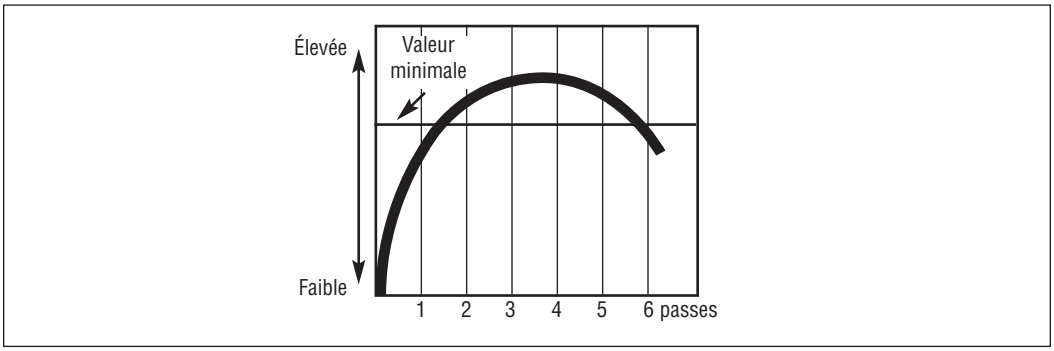


Figure 5-7
Exemple

Figure 5-8
Arrêt de compaction en obliquant

Dans les phases d'inversion de marche, le freinage des compacteurs doit être compatible avec le respect de l'uni. Des accélérations et des décélérations progressives sont indiquées. L'inversion de marche du compacteur s'effectue en obliquant et la vibration est arrêtée (figure 5-8). Les manœuvres de changements de bande sont toujours effectuées sur la partie la plus froide de l'enrobé. Le recouvrement de compactage entre deux bandes adjacentes doit être au moins de 150 à 200 mm.

Sur les fortes pentes et dans le cas où le compacteur dispose d'un seul essieu moteur, le compactage est effectué avec l'essieu moteur orienté au bas de la pente.

Lors du cylindrage le long d'une bordure à l'aide d'un rouleau à pneus multiples, la partie la plus large du rouleau doit se situer à l'avant. Ainsi, l'opérateur n'a pas besoin de regarder par-dessus son épaule pour s'assurer de ne pas monter sur la bordure.

Sur les structures, seul le mode sans vibration doit être utilisé. Également, il faut s'assurer de ne pas dépasser les charges admissibles.

5.5 Le temps de compactage

Cette section traite des enrobés à chauds traditionnels. Il existe d'autres types d'enrobés, comme les enrobés tièdes dont l'utilisation se fait à des températures de 30°C inférieurs à celles utilisées pour les enrobés traditionnels. Leur utilisation demeure marginale et les indications qui suivent devront être adaptées à ces nouveaux enrobés, le cas échéant.

Le temps disponible pour compacter adéquatement une couche d'enrobé traditionnel est fonction principalement de la température à la livraison au chantier et du taux de refroidissement du mélange. Les températures maximales et minimales de compactage varient respectivement de 120ºC à 140ºC et de 80ºC à 90ºC selon le type de bitume. Ces températures limites ont été établies en considérant les variations de viscosité des bitumes selon la température et leurs effets sur la maniabilité des enrobés. Le tableau 5-1 montre des températures typiques de surface pour le compactage des enrobés. L'usage de thermomètre infrarouge est idéal pour mesurer les surfaces d'enrobé. Les températures de compactage peuvent être différentes de celles du tableau 5-1 selon les types d'enrobés utilisés et les modifiants incorporés au bitume. Les certificats de livraison du bitume fourni par les fournisseurs de bitume indiquent également les températures d'utilisation du bitume qui doivent être suivies préférablement à celles indiquées au tableau 5-1 de la page suivante. En général, l'enrobé est livré au chantier à une température d'environ 160ºC. En pratique, la période d'attente nécessaire pour commencer le compactage varie selon la température de l'enrobé à la livraison et la cadence de mise en place.

Classe de bitume	Température de la surface au début de compactage (°C)	Température de la surface à la fin de compactage (°C)
PG 52-34	120	80
PG 52-40	120	80
PG 58-28	120	80
PG 58-34	125	85
PG 58-40	130	85
PG 64-28	130	85
PG 64-34	140	90
PG 70-28	140	90
PG 70-34	140	90

Tableau 5-1
Températures de compactage selon la classe de bitume

Généralement, la température de l'enrobé à l'arrière du finisseur est adéquate pour commencer le compactage. Par la suite, l'enrobé se refroidit selon la température ambiante, l'épaisseur du revêtement et les conditions climatiques pour atteindre la température minimale de compactage. Le temps écoulé entre le moment de la livraison et cette température de fin de compactage peut être vérifié sur le chantier. Les limites de temps recommandées en fonction des épaisseurs mises en place sont présentées dans le tableau 5-2. On y trouve différents cas de températures et différentes conditions météorologiques. Cet outil permet également de dissocier la limite de temps pour trois groupes de bitumes. Le premier groupe comprend les bitumes de classes PG 52-34, PG 52-40 et PG 58-28; le deuxième, les bitumes de classes PG 58-34, PG 58-40 et PG 64-28; le troisième, les bitumes de classes PG 64-34, PG 70-28 et PG 70-34.

On estime en pratique qu'une période de temps de compactage inférieure à 10 minutes est insuffisante pour atteindre les objectifs de compacité et qu'une période minimale de compactage de 20 minutes est réaliste et souhaitable. Dans la plage de 10 à 20 minutes, on juge que des moyens additionnels (par exemple, l'ajout d'un compacteur) doivent être envisagés afin de satisfaire aux exigences de compactage.

Les périodes limites de compactage des enrobés bitumineux ont été établies à l'aide du logiciel MultiCool[4] en considérant une température d'enrobé à la livraison de 160°C en posant l'hypothèse que la température de la surface est égale à celle de l'air. Le tableau 5-2 est également valable pour des conditions de vents n'excédant pas une vitesse de 30 km/h. Pour des conditions particulières non comprises dans ce tableau, il est recommandé d'effectuer des simulations à l'aide du logiciel MultiCool pour connaître la période limite de compactage à appliquer.

4. Minnesota Department of Transportation, programme MultiCool 3.0, http://www.eng.auburn.edu/users/timmdav/IDEA.html

Épaisseurs		Temps de compactage (minutes)																
sur enrobé	sur fondation *	Condition A: Ciel dégagé et temps sec avec des vents de 0 à 10km/h																
		T° = 5°C			T° = 10°C			T° = 15°C			T° = 20°C			T° = 25°C			T° = 30°C		
		GB3	GB2	GB1	GB3	GB2	GB1	GB3	GB2	GB1	GB3	GB2	GB1	GB3	GB2	GB1	GB3	GB2	GB1
20		5	6	7	5	6	7	6	7	8	6	7	9	7	8	10	8	9	12
25		7	8	10	8	9	11	8	10	12	9	11	13	10	12	15	11	14	17
30		10	11	13	10	12	14	11	13	16	12	15	18	13	16	20	15	18	23
35		12	14	17	13	16	19	14	17	21	16	19	23	17	21	26	19	24	30
40		15	18	21	17	20	23	18	21	26	20	24	29	22	27	33	24	30	38
45		19	22	26	20	24	29	22	26	32	24	29	35	26	32	40	29	37	47
50		22	26	31	24	29	34	26	31	38	29	35	42	32	39	48	35	44	56
55	50	26	31	36	28	33	40	31	37	44	33	41	50	37	45	56	41	52	66
60	55	30	36	42	32	39	46	35	42	51	39	47	57	43	52	65	48	60	76
65	60	34	41	48	37	44	53	40	48	58	44	54	66	49	60	75	55	68	87
70	65	39	46	55	42	50	60	46	55	67	50	61	75	56	68	85	62	78	100
75	70	44	52	61	47	56	67	51	62	75	56	68	84	62	77	96	70	88	112
80	75	49	58	69	53	63	75	58	69	84	63	77	94	70	86	108	78	98	126
85	80	54	64	76	58	70	83	64	76	92	70	85	104	77	95	119	87	109	139
90	85	60	70	84	64	77	92	70	84	102	77	93	115	85	105	131	96	120	154
95	90	65	77	91	70	84	100	77	92	111	84	102	125	93	115	144	104	131	168
100	95	71	84	100	77	91	110	84	100	122	92	111	137	102	125	157	114	143	183
105	100	77	91	108	83	99	119	91	109	132	99	121	148	110	136	169	124	155	198
Épaisseurs		Temps de compactage (minutes)																
sur enrobé	sur fondation *	Condition B: Ciel partiellement ennuagé (50%) avec des vents de 10 à 20km/h																
		T° = 5°C			T° = 10°C			T° = 15°C			T° = 20°C			T° = 25°C			T° = 30°C		
		GB3	GB2	GB1	GB3	GB2	GB1	GB3	GB2	GB1	GB3	GB2	GB1	GB3	GB2	GB1	GB3	GB2	GB1
20		4	5	6	5	6	6	5	6	7	6	6	8	6	7	8	7	8	9
25		6	7	8	7	8	9	7	8	10	8	9	11	8	10	12	9	11	13
30		8	10	11	9	10	12	10	11	13	10	12	14	11	13	16	12	15	18
35		10	12	14	11	13	15	12	14	17	13	15	18	14	17	20	16	19	23
40		13	15	17	14	16	19	15	17	20	16	19	22	17	21	25	19	23	28
45		16	18	21	17	19	23	18	21	25	19	23	27	21	25	30	23	28	33
50		18	21	25	20	23	27	21	25	29	23	27	32	25	29	35	27	32	39
55	50	21	25	29	23	26	31	24	29	34	26	31	37	29	34	41	31	38	45
60	55	24	28	33	26	30	35	28	33	38	30	36	42	33	39	46	36	43	52
65	60	28	32	37	29	34	40	32	37	43	34	40	47	37	44	52	41	49	58
70	65	31	36	42	33	39	45	36	42	49	39	45	54	42	50	59	46	55	66
75	70	35	40	46	37	43	50	40	46	54	43	50	59	47	55	66	51	61	73
80	75	38	45	52	41	48	56	44	52	60	48	56	66	52	61	73	56	67	81
85	80	42	49	57	45	52	61	48	57	66	52	61	72	57	67	80	62	74	89
90	85	46	54	62	49	57	67	53	62	72	57	67	79	62	73	87	68	81	97
95	90	50	58	67	54	62	73	58	67	79	62	73	86	67	80	95	74	88	105
100	95	55	63	73	58	68	79	63	73	85	67	79	93	73	86	102	80	95	114
105	100	59	68	79	63	73	85	67	79	92	73	85	100	79	93	110	86	102	123
Épaisseurs		Temps de compactage (minutes)																
sur enrobé	sur fondation *	Condition C: Ciel totalement ennuagé (100%) avec des vents de 20 à 30km/h																
		T° = 5°C			T° = 10°C			T° = 15°C			T° = 20°C			T° = 25°C			T° = 30°C		
		GB3	GB2	GB1	GB3	GB2	GB1	GB3	GB2	GB1	GB3	GB2	GB1	GB3	GB2	GB1	GB3	GB2	GB1
20		4	5	5	4	5	6	5	5	6	5	6	7	5	6	7	6	7	8
25		6	7	8	6	7	8	6	8	9	7	8	9	8	9	10	8	10	11
30		7	9	10	8	9	11	8	10	11	9	11	12	10	12	14	11	13	15
35		9	11	12	10	12	13	11	12	14	11	13	16	12	15	17	13	16	19
40		11	13	15	12	14	16	13	15	18	14	16	19	15	18	21	16	19	23
45		14	16	18	15	17	19	16	18	21	17	19	23	18	21	25	20	23	27
50		16	18	21	17	20	23	18	21	24	20	23	27	21	25	29	23	27	32
55	50	19	21	24	20	23	26	21	24	28	23	26	31	24	28	33	26	31	37
60	55	21	24	28	22	26	30	24	28	32	26	30	35	28	32	38	30	35	41
65	60	24	27	31	25	29	34	27	31	36	29	34	39	31	36	42	34	40	47
70	65	27	31	35	28	33	38	30	35	41	32	38	44	35	41	48	38	44	52
75	70	30	34	39	32	36	42	34	39	45	36	42	48	39	45	53	42	49	58
80	75	33	38	43	35	40	46	37	43	50	40	46	54	43	50	58	46	54	64
85	80	36	41	47	38	44	50	41	47	54	44	51	59	47	55	64	51	59	70
90	85	39	45	52	42	48	55	45	51	59	48,6	55	64	51	60	69	55	65	76
95	90	43	49	56	45	52	60	48	56	64	52	60	69	55	64	75	60	70	82
100	95	46	53	60	49	56	65	52	60	69	56	65	75	60	70	81	65	76	89
105	100	50	57	65	53	61	69	56	65	74	60	69	80	64	75	87	70	81	95

NOTE: Groupe de Bitume 1 (GB1) = PG 52-34, PG 52-40 et PG 58-28, Groupe de Bitume 2 (GB2) = PG 58-34, PG 58-40 et PG 64-28 et Groupe de Bitume 3 (GB3) = PG 64-34, PG 70-28 et PG 70-34

* Dans le cas d'une fondation humide, il faut considérer une épaisseur sur enrobé (épaisseurs de la première colonne comprises entre 50 et 100 mm.)

Code des couleurs:

Pose d'enrobés non recommandée.

Adaptation des méthodes de compactage requise notamment lorsque la température diminue ou que les conditions météorologiques se détériorent

Acceptable, adaptation des méthodes de compactage lorsque la température diminue ou que les conditions météorologiques se détériorent pour des épaisseurs inférieures à 60 mm.

NOTE: Les temps de compactage sont basés sur l'hypothèse que la température de la surface correspond à celle de l'air.

Tableau 5-2
Temps limite de compactage d'un enrobé

5.6 La fin du compactage et l'entretien des rouleaux

Aussitôt que le cylindrage d'une section est terminé, le rouleau est immobilisé sur une section déjà refroidie. S'il s'agit d'un rouleau à cylindre d'acier, il faut, avant d'entreprendre une nouvelle section de cylindrage, faire marche arrière sur une distance équivalant à la longueur complète du rouleau, afin d'humecter les cylindres avant de s'avancer sur la couche fraîchement mis en place.

Pour obtenir un travail de qualité, l'état du rouleau est de première importance. L'inspection et l'entretien selon les recommandations du fabricant s'imposent. De plus, des vérifications quotidiennes sont nécessaires. Il faut s'assurer du bon état des racloirs et du bon fonctionnement de la rampe d'aspersion. Les racloirs et les tapis-brosses doivent être correctement ajustés. Les gicleurs sont dégagés et bien dirigés vers la surface des rouleaux. La surface des cylindres et des pneus est exempte d'huile et de graisse.

La pression des pneus d'un rouleau doit être vérifiée tous les jours. Elle ne doit pas varier de plus de 35 kPa entre le pneu le plus dur et le pneu le plus mou. Une pression uniforme est garante d'un compactage uniforme. Pour éviter que le mélange ne colle aux pneus, il faut réchauffer ces derniers. Tant que les pneus ne sont pas suffisamment réchauffés, ce sont les grattoirs qui se chargent du nettoyage. Attention : l'aspersion d'eau et de solvants a pour effet de refroidir les pneus. L'usage de jupes est recommandé pour conserver la chaleur des pneus.

Les compacteurs ne doivent pas rester arrêtés sur un enrobé encore chaud; ils doivent se garer en dehors des surfaces d'enrobé encore chaudes. Comme pour tout équipement de chantier, le nettoyage de l'équipement doit s'effectuer à l'extérieur des travaux, dans un endroit qui ne nuit pas à la qualité des travaux en cours.

La circulation doit être autorisée seulement lorsque la température de la masse de l'enrobé est inférieure à 45°C. Une température plus élevée peut conduire à la formation d'ornières de fluage ou à du postcompactage causé par les véhicules lourds.

6. La confection des joints

6.1 Généralités

Les joints de construction sont inévitables. Ils peuvent être à l'origine de plusieurs dégradations de la chaussée. Ils doivent donc être réalisés soigneusement pour assurer la durabilité du revêtement et maintenir le confort de roulement. Il existe deux types de joints. Le premier type est le joint transversal qui est créé par un arrêt du finisseur d'une quinzaine de minutes ou plus. Les joints de début ou de fin de travaux, ou de fin de contrat, sont également des joints transversaux. Le second type est le joint longitudinal entre deux travées adjacentes.

Une couche de roulement en enrobé peut être mise en place directement sur l'ancienne couche de roulement; elle constitue alors un renforcement de la chaussée. La nouvelle couche d'enrobé peut aussi remplacer l'enrobé existant à un endroit où a été effectué un planage d'une épaisseur égale à l'épaisseur de la nouvelle couche. La façon de faire un joint est différente dans les deux cas.

6.2 Les joints transversaux

6.2.1 Les joints de début ou de fin de travaux

Les deux méthodes suivantes de fabrication des joints de début ou de fin de travaux s'appliquent à la mise en place d'une nouvelle couche de roulement sur l'ancienne couche. La première méthode consiste à réaliser une engravure dans le revêtement à recouvrir. Elle permet de commencer à mettre en place l'enrobé d'une épaisseur égale à celle qui est exigée sur toute la longueur des travaux. Elle assure une compacité adéquate du revêtement et minimise les risques de ségrégation. Le joint ainsi construit permet de maintenir le confort des usagers en plus d'être durable. La figure 6-1 présente deux types d'engravures. Une pente de 0,3 % de

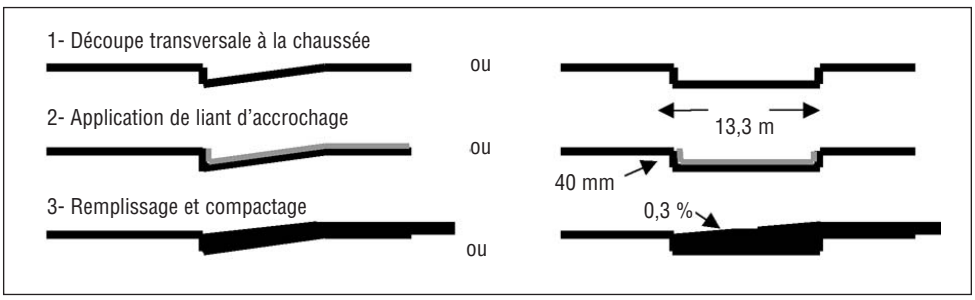


Figure 6-1
Engravures

l'engravure sur une autoroute est acceptable, soit une engravure de 13,3 m de longueur sur une épaisseur de 40 mm d'enrobé. Une pente plus élevée est admissible sur les routes où la limite de vitesse est moins élevée.

La deuxième méthode consiste à commencer la mise en place de l'enrobé avec la table du finisseur à une épaisseur nulle (joint en sifflet ou biseauté). Cette méthode est à proscrire, quel que soit le type d'enrobé. Elle est la cause de l'arrachement de la surface de l'enrobé sur quelques mètres, causant une texture non uniforme et un inconfort pour les usagers. Ce type de joint est plus sensible à la dégradation et donne une mauvaise apparence au revêtement.

Si ce type de joint est tout de même réalisé, pour bien le réussir, il faut d'abord que la pente elle-même soit bien faite. Le finisseur doit être complètement immobilisé, les vis sans fin remplies d'enrobé, le lissoir en position de plongée. Au départ du finisseur, l'épaisseur de la couche est presque à zéro sur une longueur d'environ 40 cm. Les quantités restantes sont épandues sur une distance de 4 à 6 m.

À la reprise (le lendemain ou au cours des jours suivants), à l'aide de la règle de trois mètres, on marque à l'aide d'une craie le haut de la pente, et le badigeonnage avec un balai ou l'épandeuse à liant d'accrochage est exécuté.

La réussite d'un joint est directement liée aux opérateurs des vis qui contrôlent l'épaisseur. Que le départ soit trop haut ou trop bas, on doit se servir du finisseur pour enlever ou remettre de l'enrobé, et travailler le joint sur la partie chaude. Quand on recule la machinerie sur le pavage froid pour réussir un joint avec un départ trop haut, en plus d'une grande dépense d'énergie humaine, le résultat visuel laisse souvent à désirer.

6.2.2 Les joints de fin de journée ou d'arrêt du finisseur

Il existe diverses méthodes pour terminer les travaux en fin de journée ou lors d'un arrêt momentané du finisseur, aussi bien dans le cas de la mise en place d'une nouvelle couche d'enrobé sur l'ancienne couche que dans le cas de la mise en place d'une nouvelle couche après planage. Le but est d'obtenir un joint transversal peu apparent au moment de la reprise des travaux. Une des méthodes consiste à épandre du sable sur la chaussée à l'endroit où l'on désire terminer les travaux et à terminer la mise en place par une couche d'une épaisseur nulle (figure 6-2).

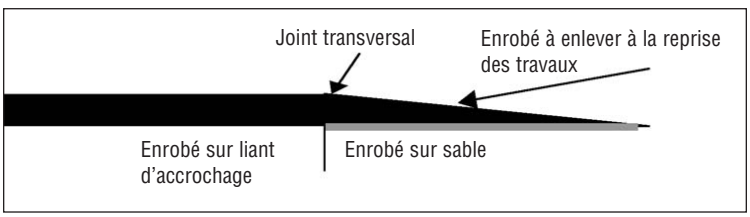


Figure 6-2
Fin de travaux temporaire

Figure 6-3
Reprise des travaux

À la reprise des travaux, on coupe l'enrobé sur l'emplacement du joint (figure 6-3), on enlève l'enrobé mis en place sur le sable (qui l'a empêché de coller), on nettoie la surface, on épand du liant d'accrochage et on reprend la mise en place de l'enrobé où on l'avait arrêtée. Le sable peut être remplacé par du papier ou du carton. Un madrier de bois peut être placé transversalement à l'endroit où le joint est fait. Cette méthode ne peut pas être utilisée si la circulation est permise sur la surface où se trouve le madrier. Au début des travaux de mise en place, la table du finisseur devrait être placée sur des cales d'une épaisseur égale au revêtement pour assurer un uni conforme.

Avant de procéder, il est bon de préciser que le lissoir doit être très chaud avant de faire avancer le finisseur, sinon la table plonge et le fini de surface laisse à désirer. On doit alors tout recommencer.

En ce qui concerne les joints de départ, il faut faire une distinction entre le début et la continuité d'un ouvrage.

Que ce soit sur le gravier ou sur l'asphalte, au début d'un ouvrage, la table du finisseur doit être assise sur des blocs de bois dont l'épaisseur est fonction de la couche à mettre en place. Cela est important pour un départ réussi. La table porte sur le mélange, avec des pièces de bois le mélange s'infiltre sous le lissoir et facilite l'uniformité de l'épaisseur au démarrage.

Sur l'asphalte existant, on devra porter une attention particulière à la pose du liant d'accrochage sur une largeur minimale de 400 mm. Il doit être posé uniformément et selon le taux de pose prescrit. L'usage d'un balai pour s'assurer de la présence du liant sur toute la surface peut s'avérer nécessaire.

Lorsque deux couches d'enrobé ou plus doivent être raccordées à un revêtement existant, le planage transversal doit être exécuté en échelon. Des dessins techniques sont illustrés dans le *Tome II - Construction routière*, chapitre 2, « *Structures de chaussée* » (collection Normes – Ouvrages routiers du ministère des Transports).

Le raclage au joint transversal

Un joint transversal bien réalisé nécessite un minimum de raclage. Lorsque le finisseur démarre sur des blocs de bois et si l'épaisseur du matériau demeure constante, l'épaisseur compactée au joint sera adéquate. Il n'y aura alors que très peu de raclage à effectuer. Souvent, trop de raclage est effectué sur les joints. Les racleurs ont tendance à enlever du matériau pour l'égaliser avec la surface adjacente compactée. Il résulte une dépression au joint après compactage du joint.

Figure 6-4
Vérification de l'uni avec la règle de 3 mètres

Figure 6-5
Joint ouvert

Figure 6-6
Finisseurs en échelon

Le compactage des joints transversaux

Le compactage des joints transversaux devrait se faire transversalement. Cela signifie que les rouleaux compacteront transversalement à la route. Par conséquent, sur les bords du revêtement, des pièces de bois seront requises pour empêcher le rouleau d'écraser l'enrobé sur les bords, car il n'est pas confiné à ces endroits. L'utilisation de pièces de bois est parfois problématique lorsque des garde-fous sont présents. Également, lorsqu'il y a circulation sur une surface adjacente, le compactage transversal est problématique. Il faut alors arrêter la circulation au moment du compactage du joint.

La mesure de l'uni des joints transversaux

Pour les couches de surface, aucune irrégularité ou dépression ne doit excéder 5 millimètres dans 3 mètres. Une poutre rigide et un mesureur triangulaire sont utilisés (Figure 6-4). Voir la partie 7.4.1 pour l'utilisation de la règle de 3 mètres.

6.3 Les joints longitudinaux

La mise en place d'enrobé bitumineux est beaucoup plus facile depuis l'arrivée des finisseurs à largeur variable. Les difficultés rencontrées lors de l'asphaltage des surlargeurs, telles les bretelles d'autoroute, n'existent plus. Les joints longitudinaux doivent être parallèles aux lignes du tracé de la route et les joints des différentes couches ne doivent pas se superposer. Les joints longitudinaux de la couche d'usure ou de surface ne doivent pas se trouver sous le passage normal des roues. Ce point est très important, car, même si le joint a été bien fait, il se crée une faiblesse dans l'asphalte et il va se désagréger sous l'effet du trafic.

Les défauts de construction des joints longitudinaux des revêtements bitumineux entraînent des dégradations prématurées des revêtements mis en place en bandes parallèles. Les dégradations se manifestent par les phénomènes de fissuration longitudinale et d'arrachement le long des joints longitudinaux (figure 6-5). Les causes de cette détérioration sont : le degré de compacité faible de l'enrobé et la ségrégation de granulats sur et près du joint de construction. Principalement, lors de la réalisation de joints froids, la première bande d'enrobé mise en place présente souvent une compacité faible sur les bords étant donné que l'enrobé n'est pas confiné à ces endroits lors de sa compaction. La deuxième bande présente usuellement une compacité plus élevée sur le bord adjacent à une bande déjà mise en place, car l'enrobé s'y trouve confiné. Cependant, même sur la deuxième bande, la compacité minimale du revêtement n'est pas toujours respectée.

6.3.1 Les joints chauds

Pour la réalisation de joints chauds, les finisseurs se suivent en échelon de près de manière que les deux bandes d'enrobé puissent être compactées simultanément (figure 6-6). Comme il manque souvent de l'enrobé au bord des bandes,

un chevauchement des bandes sur une largeur de 25 à 40 mm est prescrit. La table doit être en tout temps supportée par l'enrobé chaud directement mis en place.

Le compactage débute au centre des bandes en allant vers le joint longitudinal et les bords de bandes par la suite. La température de l'enrobé à l'extérieur du joint doit être égale ou supérieure à la température minimale requise, en fonction de la classe de bitume.

6.3.2 Les joints froids

Un joint froid est réalisé par l'utilisation d'un seul finisseur ou de deux finisseurs se suivant en échelon, mais d'une distance telle que la température de la première bande soit inférieure à 80°C lors de la mise en place de la deuxième bande.

Figure 6-7
Chevauchement des bandes

Sur la première bande, le compactage débute au centre de la bande en allant vers les bords. Sur le bord non confiné, les cylindres doivent dépasser la bande de 150 mm lors du compactage. Cette méthode permet d'éliminer la fissuration longitudinale créée près du bord lors du compactage. Si du liant d'accrochage est appliqué sur le bord de la première bande, le badigeonnage du joint doit se faire à l'aide d'un jet pulvérisateur ou d'un balai. Lors de la pose de la deuxième bande, un chevauchement sur une largeur de 25 à 40 mm est prescrit (figure 6-7). Éviter le raclage du matériel chevauchant la première bande. La table doit être en tout temps supportée par l'enrobé chaud directement mis en place. Ne jamais faire porter la table sur l'asphaltage adjacent; le joint se détériorera à brève échéance à cause du manque d'enrobé et de compaction. L'épaisseur doit être supérieure de 6 mm pour 25 mm d'enrobé compacté. Par exemple, pour une épaisseur prévue d'enrobé compactée de 50 mm, l'épaisseur mise en place doit être de 62 mm avant compactage.

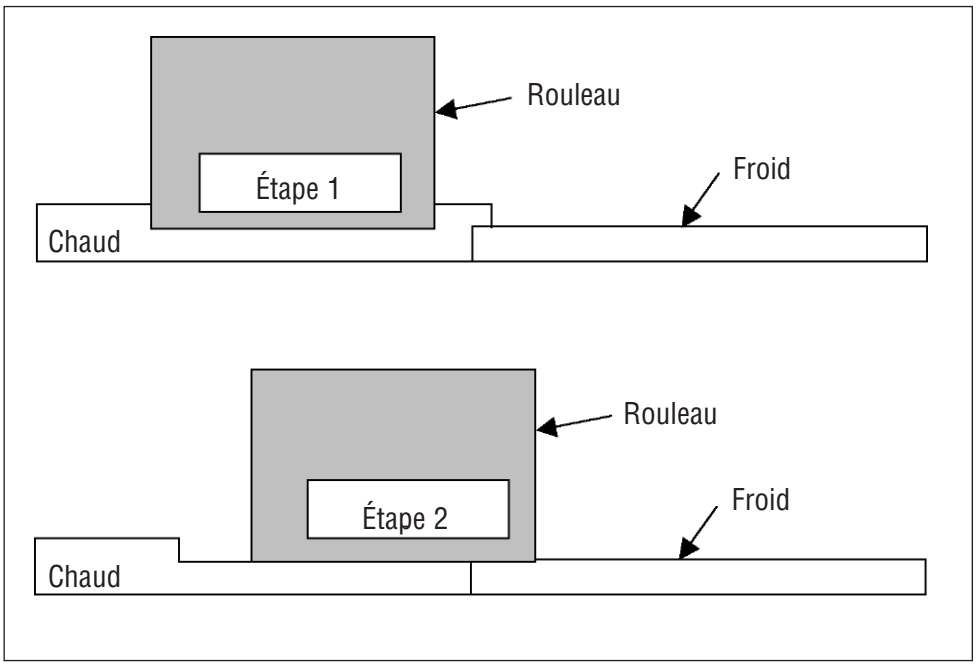


Figure 6-8
Compaction d'un joint froid

Figure 6-9
Pose d'un produit de scellement pour joint

Il existe différentes méthodes pour le compactage du joint longitudinal. Une des méthodes consiste à débuter le compactage du côté chaud en retrait du joint. Un aller-retour en mode vibration est exécuté sur l'enrobé chaud en retrait de 150 mm du joint, et un deuxième aller-retour en mode vibration est effectué en chevauchant le joint de 150 mm (figure 6-8).

Une autre méthode consiste à débuter le compactage en positionnant les cylindres en chevauchant le joint de 150 mm. Pour ensuite compacter en retrait du joint. Les deux méthodes donnent d'excellents résultats et la qualité du joint sera principalement fonction de l'aptitude des opérateurs de rouleau à utiliser correctement leur outillage.

Lors de la réalisation d'un joint froid, les bords de la première bande d'enrobé mis en place n'étant pas confinés, la compacité du bord de la bande est généralement très faible, en deçà des exigences requises pour l'obtention d'un revêtement performant. Pour pallier cet inconvénient, il existe diverses méthodes pour enlever le bord de la bande sur une largeur approximative de 100 mm avant la mise en place de la bande adjacente.

Lors de la dernière passe du rouleau compacteur sur le bord de la bande, une roue d'acier fixée au rouleau peut être utilisée pour couper le bord de la bande à 100 mm du bord. La roue étant fixée légèrement en travers du rouleau, elle écarte en même temps le bord à retirer du revêtement. Par la suite, le rebord ainsi déplacé est ramassé et emporté à l'extérieur du chantier.

Une autre méthode consiste à planer le bord de la première bande mise en place sur une largeur de 100 mm. La poussière créée doit être enlevée à l'aide d'un balai mécanique.

Dans les deux cas, l'épandage d'un liant d'accrochage sur le joint est réalisé pour assurer la liaison entre les deux bandes.

Il existe aussi des produits spéciaux permettant de réaliser des joints froids performants. Ce type de produit est posé à chaud immédiatement avant la mise en place de la deuxième bande d'enrobé (figure 6-9). Le produit comble les vides situés au bord de la première bande, le bord étant généralement peu compacté. Après la mise en place de la deuxième bande, les rouleaux compacteurs feront pénétrer le produit dans le joint assurant son imperméabilité.

6.4 L'utilisation d'un élément chauffant

Figure 6-10
Chauffe-joint fixé sur un finisseur

La construction de joints chauds donne les meilleurs résultats. Pour améliorer la construction de joints froids, on peut utiliser un chauffe-joint à infrarouges et ainsi faciliter le mariage de l'enrobé refroidi à celui nouvellement mis en place (figure 6-10). Le chauffe-joint peut être fixé sur le finisseur ou sur un véhicule précédant le finisseur. Le chauffe-joint fixé sur un véhicule précédant le finisseur est recommandé, car il permet un meilleur contrôle de la température.

Dans certains cas, on procède à l'asphaltage des surlargeurs après avoir terminé le travail sur la route principale. Aux endroits où la circulation est intense (telles les entrées et sorties d'autoroute), il est préférable d'utiliser un chauffe-joint.

7. Le contrôle de la qualité de la mise en place des enrobés

7.1 Généralités

Le but du contrôle de la qualité est d'établir si les exigences et les performances contractuelles auxquelles doivent satisfaire l'enrobé bitumineux fourni et mis en place sont bien respectées.

7.2 La mesure de la température

7.2.1 Le thermomètre à tige

Figure 7-1
Thermomètre à tige

Le thermomètre à tige permet de prendre la température du mélange en profondeur (figure 7-1). La précision du thermomètre est de 1°C. Les endroits propices à l'essai sont dans la benne du finisseur et à la vis de répartition à l'arrière de la table du finisseur. Le thermomètre est inséré dans le mélange de façon que le senseur soit bien enfoui. En règle générale, le senseur se situe à environ 20 mm de l'extrémité de la tige.

7.2.2 Le thermomètre infrarouge

Le thermomètre infrarouge donne une lecture immédiate de la température de la surface de l'enrobé. Cet appareil doit être étalonné à une fréquence minimale annuelle. Il est très important de prendre la température du mélange en mouvement lors du déversement dans la benne de l'épandeur ou à la vis de répartition. Lorsqu'il y a prise de température sur le mélange immobile, l'appareil ne détectera que la température de la croûte en surface de l'enrobé (figure 7-2).

La température de la surface du revêtement peut différer de 5°C à 10°C de celle au cœur du revêtement. Une mesure de température avec le thermomètre infrarouge, après avoir gratté la surface du revêtement sur une épaisseur d'environ 5 mm, permet une évaluation plus juste de la température au cœur du revêtement.

Figure 7-2
Thermomètre infrarouge

7.2.3 La mesure de l'uniformité de température par thermographie

Les radiations infrarouges émises par les objets sont des rayonnements électromagnétiques dont les longueurs d'onde variant entre 1µm et 1 mm sont fonction de la température. La technologie a permis le développement de caméras capables de capter les radiations infrarouges et de les traduire en températures. Le domaine de longueur d'onde (bande spectrale) pour les caméras usuelles

Figure 7-3
Modèles de caméras à infrarouge adaptées pour le suivi de la mise en place d'enrobé

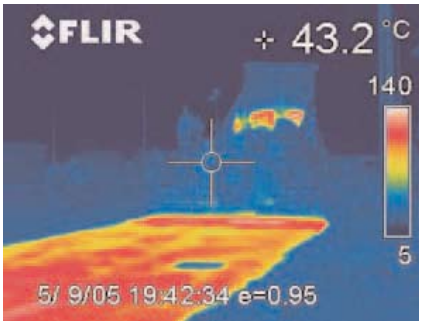


Figure 7-4
Exemple d'image infrarouge prise lors de la mise en place d'enrobé bitumineux

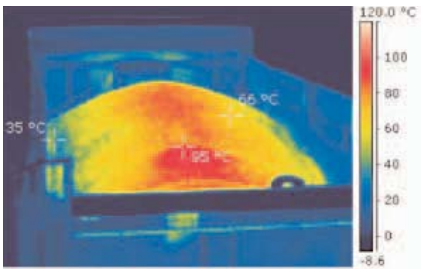


Figure 7-5
Image infrarouge d'un chargement d'enrobé bitumineux dans un camion

Figure 7-6
Suivi de la mise en place d'enrobé bitumineux avec une caméra à infrarouge

mesurant la température est généralement compris entre 7 et 14 µm. Cette plage correspondant à de longues longueurs d'ondes est la plus adéquate pour l'ordre de grandeur des températures ciblées. La caméra à infrarouge est un outil permettant la mesure de la température de surface de tout objet et la reproduction d'un ensemble de mesures sous forme d'une image, appelée le thermogramme.

Il existe des modèles de caméras à infrarouge adaptés pour le suivi de la mise en place des enrobés bitumineux (figure 7-3) qui se manipulent d'une seule main et qui comportent un écran montrant, à l'aide d'une gamme de couleurs, l'ensemble des températures mesurées provenant d'une surface (figure 7-4).

La caméra donne en temps réel la répartition des températures des surfaces visées et est munie généralement d'un pointeur pour donner la température précise en un point. Il est possible de sauvegarder des images pour des analyses ultérieures à l'aide de logiciels spécialisés. La figure 7-4 illustre un exemple d'image infrarouge prise sur un chantier lors de la mise en place d'enrobé bitumineux. L'image montre le pointeur au centre, la valeur de la température au pointeur dans le coin supérieur droit et la plage d'affichage dans la partie de droite. Certains modèles offrent des options plus spécifiques permettant, entre autres, d'afficher la valeur minimale, moyenne ou maximale dans une zone prédéfinie.

L'utilisation d'un tel outil est intéressante pour vérifier la température d'un chargement d'enrobé à la livraison ou pour vérifier l'efficacité des systèmes de recouvrement utilisés sur les bennes des camions (figure 7-5).

Dans une optique de vérification ou de contrôle, la caméra à infrarouge permet de visualiser la répartition de la température lors de la mise en place. En balayant la surface de la couche d'enrobé fraîchement mise en place à l'arrière des finisseurs (figure 7-6), il est ainsi possible de vérifier l'uniformité de la température (figure 7-7).

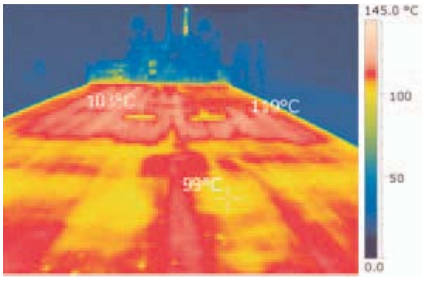


Figure 7-7
Exemple d'une image illustrant une non-uniformité de température

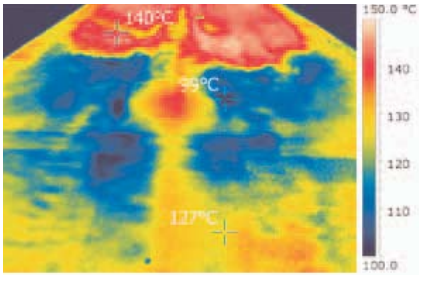


Figure 7-8
Exemple d'une image infrarouge typique de l'effet d'un changement de camion

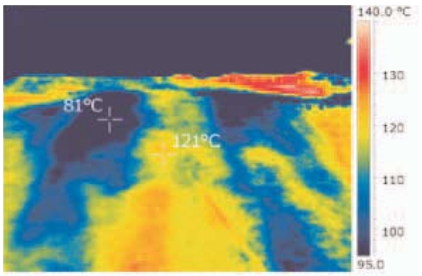


Figure 7-9
Exemple d'une image infrarouge typique de l'effet d'un vidage des ailes et de la trémie de réception

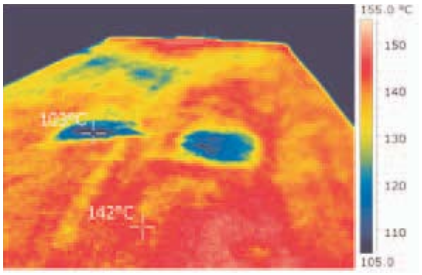


Figure 7-10
Exemple d'une image infrarouge typique de l'effet d'un déversement d'enrobé devant le finisseur à la suite du rabattement des ailes de la trémie

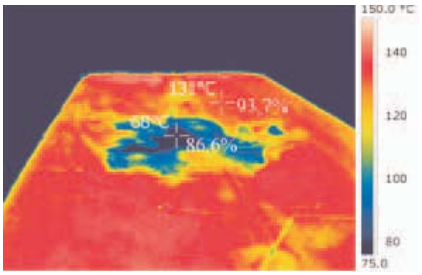


Figure 7-11
Exemple d'une image infrarouge typique de l'effet d'un déversement d'enrobé devant le finisseur à la suite du vidage des boîtes de camions

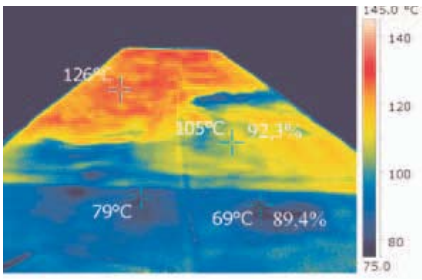


Figure 7-12
Exemple d'une image infrarouge typique de l'effet d'un arrêt prolongé d'un finisseur

La thermographie permet plus particulièrement de vérifier l'effet des changements de camions (figure 7-8), du vidage des ailes et de la trémie de réception (figure 7-9), du déversement d'enrobé devant le finisseur à la suite du rabattement des ailes de la trémie (figure 7-10), du déversement d'enrobé devant le finisseur à la suite du vidage des boîtes de camions (figure 7-11) et d'un arrêt prolongé d'un finisseur (figure 7-12). Finalement, un problème de ségrégation longitudinale survenant au centre d'une travée peut également être détecté au moyen d'une caméra à infrarouge. Thermiquement, ce type de ségrégation occasionne une traînée longitudinale positionnée sensiblement vis-à-vis du centre du finisseur (figure 7-13).

7.3 La mesure de la compacité

7.3.1 Le carottage

Le carottage consiste à prélever une éprouvette d'enrobé provenant d'un revêtement (figure 7-14). Le diamètre des carottes est généralement de 100 mm. La longueur ou la hauteur des carottes est fonction de l'épaisseur du revêtement à vérifier. L'éprouvette (la carotte) sert principalement à déterminer la compacité du revêtement ainsi que son épaisseur (norme LC 26-040). Les endroits choisis pour effectuer le prélèvement des carottes doivent être conformes aux procédures établies dans les documents contractuels. Les endroits à carotter doivent être indiqués sur le revêtement et, si requis, le sens de la circulation doit être indiqué sur les carottes.

La carotteuse doit être munie d'un guide pour assurer un prélèvement perpendiculaire à la surface du revêtement. De l'eau est utilisée pour refroidir et nettoyer la mèche lors de la prise de l'éprouvette. Il est important que l'angle de coupe soit fixe lors de chaque prélèvement pour ne pas abîmer les carottes. Il faut s'assurer que le débit d'eau soit constant pour éviter une augmentation de la température du bitume contenu dans l'éprouvette, ce qui pourrait modifier les caractéristiques de l'enrobé.

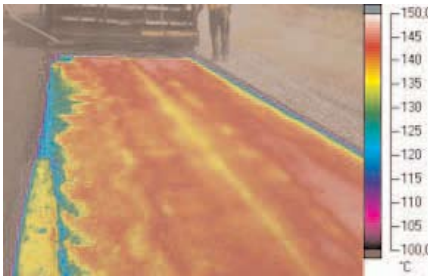


Figure 7-13
Exemple d'une image infrarouge typique présentant une traînée longitudinale thermique

Figure 7-14
Carottage

Les carottes doivent être retirées avec précaution pour ne pas les abîmer. Des outils spéciaux sont disponibles pour cet usage. Elles doivent être identifiées pour assurer leur traçabilité avec la localisation sur la chaussée. Leur transport vers le laboratoire d'essais doit se faire de manière à les protéger de toute dégradation.

Les trous causés dans le revêtement lors du carottage doivent être remplis avec attention. Il convient d'en retirer l'eau et les débris. Le fond et les parois doivent être essuyés et badigeonnés d'émulsion, remplis d'enrobé à chaud dans la mesure du possible ou d'enrobé à froid. L'enrobé doit être bien compacté et la surface doit être égale ou légèrement supérieure au revêtement adjacent.

7.3.2 Le nucléodensimètre (jauges portatives)

Le nucléodensimètre a été conçu pour déterminer la masse volumique de tout matériau (figure 7-15). L'étalonnage et une bonne utilisation de l'appareil permettent de prendre des lectures pouvant atteindre une précision de ± 16 kg/m^3 ou ± 1 % pour des masses volumiques se situant entre 1 120 et 2 720 kg/m^3.

Figure 7-15
Nucléodensimètre

Comparé au prélèvement de carottes, l'usage du nucléodensimètre présente plusieurs avantages :

- la vitesse des résultats obtenus peut permettre de corriger la situation plus rapidement;
- la mise en place des différentes couches d'enrobé n'est pas retardée par l'attente de résultats;
- la prise de lectures immédiatement après la fin du compactage permet de bénéficier de la signalisation de chantier et de travailler dans un espace sécuritaire;
- il n'y a pas de détérioration du revêtement.

Cependant, le nucléodensimètre ne permet pas de déterminer l'épaisseur des revêtements ou des différentes couches d'enrobé.

Les emplacements choisis pour la prise des mesures doivent être conformes à ce qui est stipulé dans les documents contractuels. L'état de la surface peut influencer grandement la mesure de compacité. La surface du revêtement doit être libre de tout débris, plane et sans fissures, et présenter une texture représentative.

Les composantes d'un nucléodensimètre

Dans la conception d'un appareil utilisant les radio-isotopes pour mesurer la masse volumique, diverses composantes sont assemblées pour former la géométrie de l'appareil. Le choix et l'emplacement des sources radioactives, des détecteurs de rayonnements, de l'ensemble électronique et des pièces mécaniques caractérisent la marque et le modèle d'un nucléodensimètre.

Toutes les jauges nucléaires utilisent des sources radioactives placées dans une capsule spéciale à couches multiples. Cette capsule est par la suite insérée dans le porte-source de la jauge qui sert de blindage aux rayonnements émis par la source.

Principe de fonctionnement

Pour mesurer la masse volumique du matériau ausculté, une source radioactive de césium-137 est utilisée. Ce type de source radioactive émet, lors de la

désintégration, des particules (alpha, bêta et gamma). Les particules de rayonnement gamma possèdent une énergie élevée. Ces particules peuvent passer au travers d'une épaisseur de matériau de faible densité et sont partiellement absorbées lors de leur passage dans un matériau plus dense.

Les détecteurs

Les détecteurs servent à mesurer la masse volumique. Ils sont constitués d'une cathode et d'une anode axiale sous la forme d'un fil. Ces cylindres sont remplis de gaz ionisant.

Lorsqu'un ensemble de particules radioactives pénètre dans le gaz, il y a interaction avec celui-ci. L'interaction ionise le gaz et l'on recueille ces impulsions à l'aide d'un système de détection approprié.

Il existe deux méthodes fondamentales pour mesurer le matériau à l'aide d'un nucléodensimètre (jauge portative) : la transmission directe et la rétrodiffusion.

La transmission directe

Avec la méthode de transmission directe, la tige porte source est insérée sous la surface du sol par un trou d'accès. Les rayonnements passent de la source à un détecteur placé à la base de la jauge et la densité du revêtement est déterminée par le niveau de rayonnement indiqué par le détecteur.

La rétrodiffusion

La méthode de rétrodiffusion élimine l'utilisation d'un trou d'accès puisque la source et le détecteur demeurent tous deux en surface. Les rayonnements sont dirigés sous la surface et une certaine partie des rayonnements est réfléchie ou « diffusée » vers le détecteur de la jauge par le matériau de surface. La méthode de rétrodiffusion est plus rapide et plus facile que la transmission directe; elle peut se révéler utile lorsque l'on mesure un matériau uniforme.

7.4 La mesure de l'uni

7.4.1 La règle de trois mètres

La règle de trois mètres est utilisée pour vérifier les irrégularités et les dépressions de surface ainsi que les joints transversaux. L'équipement comprend une règle de trois mètres en matériaux rigides ainsi qu'un mesureur triangulaire ayant une échelle comprise entre 0 et 50 mm.

La règle est placée de façon qu'il y ait contact sur le point bas et le point haut de la surface à mesurer. Pour les joints bombés, les lectures sont prises sur le côté du joint où la dénivellation est la plus prononcée (figure 7-16).

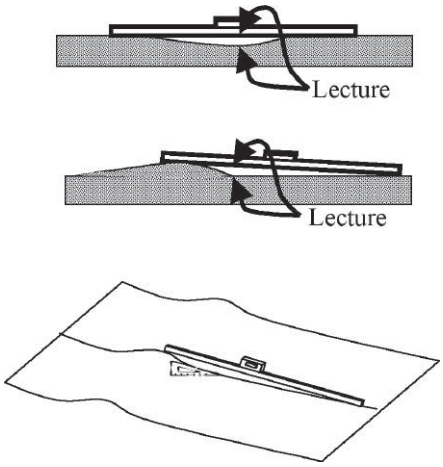


Figure 7-16
Vérification à l'aide de la règle de 3 mètres

Figure 7-17
Appareillage de mesure de la force de liaison

Figure 7-18
Système de traction

Figure 7-19
Système de prise d'éprouvette pour essais *in situ*

7.4.2 Le profilomètre inertiel

Les mesures d'uni à grand rendement sont effectuées au moyen d'un profilomètre inertiel. L'appareil est composé essentiellement de capteurs mesurant la distance entre le pare-chocs du véhicule et le revêtement, ainsi que d'accéléromètres capables de compenser le tangage du véhicule. L'information provenant de ces deux composantes est jumelée avec la distance parcourue et traitée par un ordinateur pour en déterminer une série d'élévations composant le profil longitudinal de la route. Ces élévations sont par la suite utilisées pour calculer l'indice de rugosité international (IRI) exprimé en m/km. Cet indice représente le mouvement vertical de la suspension d'un véhicule standardisé parcourant à 80 km/h le profil de la chaussée. Ainsi, plus l'IRI est faible, meilleure est la qualité de roulement. À titre indicatif, on mesure un IRI de l'ordre de 1 m/km sur une route neuve ou juste après les travaux de recouvrement. Une valeur de l'ordre de 0,6 peut être obtenue lorsque des véhicules de transferts sont utilisés et qu'il n'y a pas d'arrêts de finisseurs. Une valeur d'IRI supérieure à 1,7 est jugée déficiente.

7.5 La mesure de la liaison des couches

La Direction du laboratoire des chaussées du ministère des Transports a conçu un appareil pour évaluer la force de liaison entre les couches d'enrobé (figure 7-17). La fabrication, le principe de fonctionnement et le mode d'utilisation de cet appareil sont relativement simples. Il s'agit d'un appareil de traction hydraulique dont le mécanisme de levage comporte un système de prise d'éprouvette (figures 7-18 et 7-19).

La mesure de la contrainte maximale à la rupture réalisée avec cet appareil permet d'évaluer, lors d'un essai de traction à taux de charge constant de 0,24 kN/s, la force de liaison entre un enrobé de surface et sa couche sous-jacente. Plus la force de résistance à la traction est élevée, plus la liaison entre les couches est efficace. L'appareil est actionné manuellement par deux opérateurs.

En cas de doute sur la qualité de la liaison des couches, il est donc possible de vérifier le collage in situ avec cet appareil. Une correction qui tient compte de la température doit parfois être considérée, car la résistance à la traction d'un liant hydrocarboné augmente avec l'abaissement de la température.

8. Les travaux par temps froid

8.1 Généralités

Il est admis dans la pratique que la réalisation de travaux par temps froid, notamment la mise en place d'enrobé, s'avère plus coûteuse et risquée en ce qui a trait à la qualité et à la durabilité des ouvrages. L'arrivée de l'automne et des températures plus froides a de nombreux effets sur la fabrication et la mise en place des enrobés. Au moment de la fabrication, une plus grande demande énergétique est requise lors du chauffage des granulats, d'où une augmentation des coûts et des risques de surchauffe des composants (oxydation du bitume). Au chantier, la température ambiante a un effet direct sur le taux de refroidissement de l'enrobé, ce qui influence la maniabilité du mélange résultant en des difficultés de mise en place lors du compactage. À cet égard, les enrobés mis en place par temps froid sont généralement plus sujets à l'infiltration d'eau et se dégradent plus rapidement.

8.2 La mise en place des enrobés par temps froid

Les méthodes décrites dans cette section visent uniquement à favoriser une mise en place adéquate de l'enrobé par temps froid et à limiter les risques d'arrachement liés aux difficultés de compactage. Il est important de noter que l'application de ces bonnes pratiques ne contribue en rien à réduire les effets néfastes observés à la suite de la mise en place d'enrobé sur fondations gelées et les diverses problématiques liées au collage entre les couches. Elles s'appliquent lorsque la température ambiante est supérieure à 0°C. Dans le cas contraire, des moyens additionnels doivent être mis en œuvre pour préchauffer la surface à recouvrir et pour maintenir l'enrobé à la bonne température. L'application de tels moyens est peu fréquente et se traduit généralement par une augmentation des coûts et une prolongation des délais.

Il est clair que l'approche présentant le moins de risque de contre-performance consiste à effectuer les travaux par temps sec lorsque la température ambiante est supérieure à 10°C. Lorsqu'elle est inférieure à 10°C, il est préférable de prendre des précautions pour prévenir l'apparition prématurée des dégradations.

8.2.1 La fabrication de l'enrobé

Il faut prêter une attention particulière afin d'éviter la surchauffe des composantes lors de la fabrication de l'enrobé. La surchauffe entraîne l'oxydation du bitume, ce qui a des effets néfastes sur le comportement de l'enrobé. Le Cahier des charges et devis généraux (CCDG) spécifie que la différence entre la température lors du

chargement de l'enrobé et la mise en place au chantier doit être inférieure à 15°C.

8.2.2 Le transport de l'enrobé

Durant le transport, une bâche doit recouvrir complètement le chargement d'enrobé afin d'en réduire la vitesse de refroidissement. La benne doit être munie d'une bâche de dimensions suffisantes pour couvrir tout l'enrobé, ralentir le refroidissement et le protéger contre les intempéries. La bâche idéale recouvre entièrement le chargement et est fixée sur les côtés de la boîte de chargement, diminuant ainsi l'infiltration d'air durant le transport. Les toiles du type moustiquaire ou de dimension insuffisante (figure 8-1) et non fixée sur les côtés de la boîte ne devraient pas être utilisées.

De plus, il se forme sur le chargement une croûte d'enrobé de quelques centimètres d'épaisseur qui est à une température plus faible que le reste du chargement.

Il est reconnu que le déplacement de l'enrobé dans le finisseur ne permet pas, à lui seul, d'homogénéiser la température du mélange.

De plus, la variabilité de température au moment de l'épandage favorise le phénomène de ségrégation thermique et de granulats conduisant à des variations de la compacité, ce qui augmente le risque d'arrachement (figure 8-2).

Pour des travaux d'importance, l'utilisation d'un véhicule de transfert de matériaux (figure 8-3) entre le camion et le finisseur peut être envisagée pour assurer l'homogénéisation de la température (figure 8-3). L'usage d'un véhicule de transfert de matériaux élève très légèrement le coût de l'enrobé. Le coût est fonction des quantités d'enrobés mis en place par jour et par contrat.

Figure 8-1
Bâche conforme (photo du haut)
Bâche non-conforme (photo du bas)

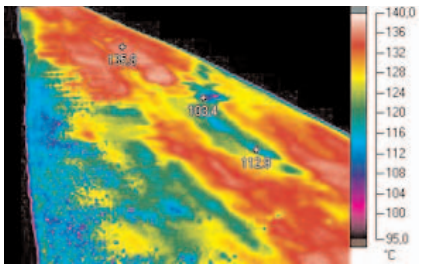


Figure 8-2
Température variable au moment du compactage conduisant à de l'arrachement

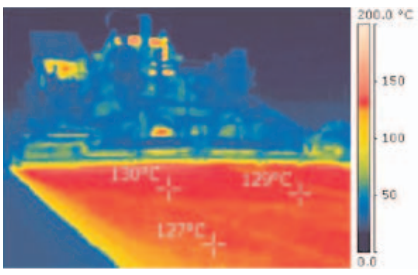


Figure 8-3
Véhicule de transfert de matériaux (VTM) et homogénéisation de la température

8.2.3 Le liant d'accrochage

Bien qu'une basse température ralentisse la cure des émulsions d'accrochage, il n'est pas recommandé de diminuer le taux d'application de bitume résiduel afin de favoriser une cure plus rapide et un minimum d'attente au chantier. En effet, d'autres moyens comme l'application en deux couches de l'émulsion ou l'usage d'un rupteur permettent de diminuer le temps de cure des émulsions tout en respectant le taux résiduel de bitume exigé au devis. Les bitumes fluidifiés contiennent des solvants volatils qui risquent de contaminer le bitume des enrobés. Ils ne doivent pas être utilisés comme liant d'accrochage.

8.2.4 Le compactage

Il importe de compacter les enrobés à la température la plus élevée possible. Les températures recommandées pour les enrobés usuels selon le type de bitume (tableau 8-1) sont issues de la pratique au MTQ.

Classe de bitume	[1]Température au début du compactage (°C)	[2]Température à la fin du compactage (°C)
PG 52-34	120	80
PG 52-40	120	80
PG 58-28	120	80
PG 58-34	125	85
PG 58-40	130	85
PG 64-28	130	85
PG 64-34	140	90
PG 70-28	140	90
PG 70-34	140	90

Note 1 – Température à l'arrière du finisseur à laquelle commence généralement le compactage en chantier.
Note 2 – Température minimale à laquelle le compactage devrait cesser

Tableau 8-1
Température de compactage

Le mode de compactage doit être adapté aux travaux par temps froid. L'usage de rouleaux pneumatiques est préférable afin de bien sceller la surface de l'enrobé. Le cylindrage doit suivre immédiatement l'épandage. Le nombre de rouleaux (vibrants et pneumatiques) doit être augmenté de façon à permettre le compactage de l'enrobé encore chaud aux températures spécifiées. Pour atteindre cet objectif, il doit y avoir un bon synchronisme entre la quantité de l'enrobé produite à la centrale, la vitesse du finisseur et la capacité de compactage de l'équipement sur le chantier.

8.2.5 Le choix de l'enrobé

Les températures froides favorisent la ségrégation, notamment pour les mélanges de dimensions nominales maximales plus élevées. On peut donc choisir en automne un enrobé moins sensible à la ségrégation, par exemple le ESG-14 au lieu du GB-20 en couche de base, à condition de respecter les critères de résistance à l'orniérage. Principalement dans le cas où la mise en place nécessite du travail manuel (notamment en milieu urbain), le remplacement du bitume modifié avec des polymères par un bitume non modifié peut s'avérer le meilleur compromis considérant les avantages sur le plan de la mise en œuvre (compactage et uni).

8.2.6 Les joints de construction

Finalement, les joints compactés à froid sont plus sensibles à l'arrachement que les joints compactés à chaud. La mise en place du revêtement bitumineux sur la pleine largeur est recommandée en utilisant deux finisseurs, placés à une faible distance l'un de l'autre afin de compacter le joint longitudinal à la température la plus élevée possible. Cette approche est encore plus souhaitable lorsque la circulation n'a pas accès au chantier. Lorsqu'un seul finisseur est disponible, l'utilisation d'éléments préchauffants doit être envisagée (figure 8-4).

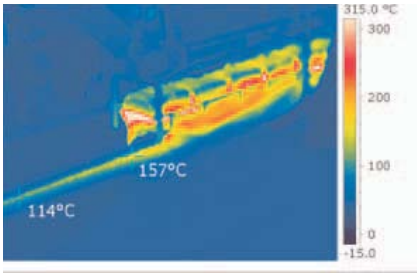


Figure 8-4
Chauffe-joint et élévation de température au joint

8.3 La mise en place de l'enrobé sur surface gelée

La mise en place d'un enrobé sur une surface granulaire gelée augmente les risques de décollement de l'enrobé (pelade) et peut résulter en une fatigue prématurée du revêtement (fissuration) à la suite du dégel de la chaussée. Un bon moyen d'évaluer la température de surface est d'utiliser une caméra à infrarouge. Les images thermiques permettent d'avoir un portrait plus global et de suivre le refroidissement ou le réchauffement de la température de surface (figure 8-5).

Dans de telles conditions, le report de la mise en place de la couche de roulement au printemps suivant peut s'avérer avantageux si l'épaisseur requise de la couche de surface est faible et si l'enrobé plus épais de la couche de base peut servir de couche de roulement durant un hiver.

Des éléments chauffants de type infrarouge peuvent être utilisés pour réchauffer la surface à recouvrir, permettant d'assécher celle-ci et de réduire la vitesse de refroidissement de l'enrobé en élevant la température de surface juste avant sa pose (figure 8-6)

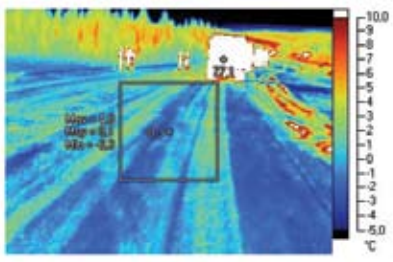


Figure 8-5
Exemple de mesures de température d'une surface

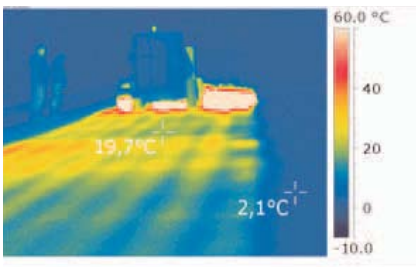


Figure 8-6
Chauffe-surface et élévation de température en surface

9. Les défauts du revêtement liés à la mise en place

9.1 Généralités

Les défauts du revêtement liés à la mise en place peuvent survenir immédiatement derrière le finisseur ou peu de temps après que les opérations de compactage eurent été achevées. Ces défauts peuvent avoir deux causes : les problèmes liés à l'équipement et à son usage, ou les problèmes liés aux caractéristiques de l'enrobé utilisé.

Le tableau 9-1 montre les problèmes et les différentes causes s'y rattachant. Souvent, les défauts de revêtements sont liés à plusieurs causes qui interagissent entre elles. De plus, certains types d'enrobés sont plus sensibles à présenter des défauts de surface. Par conséquent, le tableau 9-1 ne fait qu'indiquer les causes possibles sans en quantifier l'importance.

Causes

Causes	Ondulations de la surface - Ondes courtes	Ondulations de la surface - Ondes longues	Déchirement du revêtement en surface - Pleine largeur	Déchirement de la surface - Traînée au centre	Déchirement de la surface - Traînées sur les côtés	La plaque lisseuse répond mal aux ajustements	Empreintes laissées par la plaque lisseuse	Vis de répartition laisse des traces	Précompaction faible (directement en arrière de la plaque lisseuse)	Surface du revêtement ombrée	Joint longitudinal déficient	Joint transversal déficient	Microfissuration transversale	Déplacement de l'enrobé sous les rouleaux	Ressuage ou plaques riches sur le revêtement	Marques laissées par les rouleaux	Compacité faible
Alimentation variable de la vis	#	#				#						#					
Vis de répartition surchargée	#	#				#			#	#		#	#				
Vis de répartition usée	#	#		#		#			#								
Vitesse du finisseur trop rapide	#		#			#		#			#						
Bombement trop fort de la plaque lisseuse					#												
Bombement trop faible de la plaque lisseuse				#													
Trop de corrections d'épaisseurs sur les vis d'ajustement	#	#										#					
Jeu excessif de la plaque lisseuse (mouvement horizontal)	#	#					#	#					#				
Vis libre sur les cylindres de levage	#	#				#		#			#	#	#				
Plaque lisseuse usée et déformée	#		#	#	#	#											
Plaque lisseuse mal fixée	#					#		#					#				
Plaque lisseuse froide			#	#	#	#		#									
Plaques de côté mal installées, non d'équerre					#												
Vider la trémie entre chaque camion		#				#											
Portes d'alimentation mal ajustées		#		#	#												
Vis inversées (près de la transmission) mal montées ou abîmées				#													
Niveau variable dans la vis attribuable aux palpeurs	#	#				#											
Vis trop haute									#								
Blocs de démarrage de la plaque lisseuse trop courts													#				
Enrobé froid accumulé en bout d'extension					#												
Extension et sabot régaleur mal réglés	#		#		#	#	#									#	
Vibrateurs trop lents			#			#					#						
Palpeurs mal installés	#	#						#				#					
Palpeurs trop sensibles	#							#				#					
Palpeurs instables sur la référence	#											#					
Référence de nivellement inadéquate	#	#															
Arrêt prolongé entre chaque camion		#				#	#										
Chevauchement de l'enrobé inadéquat sur le joint												#					
Épaisseur trop faible pour le diamètre maximal des granulats de l'enrobé			X			X		X			X						
Camion heurtant le finisseur en reculant		X					X										
Camions serrant trop les freins	X	X				X	X										
Base mal préparée	X	X				X					X			X	X		X	X
Mauvais fonctionnement des compacteurs	X											X	X	X	X	X	X	X
Arrêts, départs et virages trop rapides des compacteurs		X													X		X	X
Compactage sur enrobé froid												X						
Arrêt prolongé des compacteurs sur le revêtement encore chaud		X															X	X
Mauvaise formulation (bitume)	X		X			X				X				X	X	X		X
Formulation d'un enrobé instable prompt à la ségrégation	X	X	X	X		X		X		X				X	X	X		X
Ségrégation de l'enrobé	X	X	X			X				X								
Humidité dans l'enrobé			X			X								X	X	X		X
Température variable de l'enrobé	X	X	X			X		X						X	X	X	X	X
Température trop basse de l'enrobé			X	X	X	X		X			X	X	X					X
La couche d'accrochage colle aux roues des équipements																X		

Problématiques

Tableau 9-1
Causes se rattachant aux défauts des enrobés

- Défauts en rapport avec le finisseur
X - Défauts en rapport avec d'autres causes

Figure 9-1
Déchirement

Figure 9-2
Texture non uniforme

9.2 Les ondulations de surface

Les ondulations de surface peuvent être de deux types : courtes ou longues. Les ondulations courtes sont appelées parfois « planche à laver » lorsqu'elles sont importantes et très rapprochées. Lorsque les ondulations sont associées à une mauvaise utilisation des compacteurs vibrants, la distance entre chacune d'elles peut être de 75 à 90 mm; dans les autres cas, elles sont généralement espacées de 300 à 900 mm. Les ondulations dites longues, distantes de plusieurs mètres, correspondent souvent à la distance entre chaque changement de camions ou aux changements de direction des équipements de compactage, spécialement avec des enrobés très maniables mises en place à de fortes épaisseurs.

9.3 Le déchirement du revêtement en surface

Le déchirement se définit comme étant de la ségrégation de granulats, de bitume ou les deux, dans le sens longitudinal sur la surface du revêtement. Le déchirement peut se situer sur une partie seulement de la surface, soit au centre de la voie, sur un côté ou sur les deux côtés de la voie, ou sur toute la largeur. La figure 9-1 illustre un déchirement au centre de la voie.

9.4 La texture non uniforme

Il s'agit d'un revêtement ou la texture de surface varie, soit dans le sens longitudinal ou dans le sens transversal de la chaussée. Cette différence d'aspect peut prendre la forme de plaques riches en bitume ou d'endroits où la texture est plus ouverte ou plus fermée par rapport à l'ensemble du revêtement. La figure 9-2 montre une surface présentant une texture plus ouverte en trois endroits dans le sens longitudinal de la chaussée.

9.5 La marque laissée par la poutre lisseuse

Ce type de marque provient de la poutre lisseuse lors d'arrêts du finisseur ou lorsque les extensions sont utilisées et qu'elles ne sont pas au même niveau que la partie centrale de la poutre lisseuse. Ces marques sur le revêtement sont souvent assez importantes pour nuire au confort au roulement.

9.6 La surface ombrée

Il s'agit d'un endroit de couleur plus foncée sur la surface du revêtement qui apparaît généralement un certain temps après que le revêtement eut été ouvert à la circulation. Les endroits plus foncés sont visibles plus facilement lorsqu'un revêtement mouillé s'assèche. Les zones foncées peuvent avoir une compacité légèrement plus élevée et une texture plus fermée. Cela n'altère pas nécessairement la performance du revêtement. Il s'agit le plus souvent d'une question d'apparence.

9.7 La précompaction faible

L'enrobé est précompacté à une valeur voisine de 80 % directement derrière la poutre lisseuse. Un précompactage trop faible rendra plus difficile l'obtention d'un uni adéquat sur le revêtement, l'enrobé se déplaçant facilement sous les premières passes de l'équipement de compactage.

9.8 Les joints déficients

Les joints transversaux déficients sont habituellement ressentis au passage des véhicules et ont une texture différente de chaque côté du joint. Les joints longitudinaux déficients sont ouverts sur le joint, de texture différente de chaque côté du joint ou de niveau différent de part et d'autre du joint. Les joints déficients se dégradent plus rapidement et raccourcissent la vie de la chaussée.

Figure 9-3
Microfissuration transversale

9.9 La microfissuration transversale

Ces fissures ont entre 25 et 75 mm de longueur et sont séparées de 25 à 75 mm (figure 9-3). Le plus souvent, elles se créent durant la phase de compactage des enrobés; plus rarement, elles peuvent apparaître directement sous la poutre lisseuse. Une température trop élevée de l'enrobé peut en être la cause.

9.10 Le déplacement de l'enrobé

L'enrobé peut se déplacer directement sous le passage des rouleaux compacteurs durant les opérations de compactage ou après l'ouverture à la circulation. Le déplacement se manifeste sous forme de vagues transversales à la chaussée. L'ouverture à la circulation doit se faire lorsque la masse de l'enrobé est inférieure à 45°C.

Figure 9-4
Ressuage

9.11 Le ressuage

Le ressuage se manifeste par une remontée du bitume à la surface du revêtement (figure 9-4). La surface devient saturée en bitume et présente une texture fermée et lisse. Le ressuage peut rendre le revêtement glissant. Il faut alors prendre des mesures pour y remédier.

9.12 Les marques laissées au passage des rouleaux

L'équipement de compactage, si utilisé inadéquatement, peut laisser des traces à la surface du revêtement. Ces marques peuvent nuire au confort au roulement et donnent une mauvaise apparence au revêtement.

9.13 La compacité déficiente

Une compacité inférieure à 93 % pour les enrobés conventionnels indique une compacité déficiente. Une compacité faible réduit significativement la durée de vie du revêtement.

Références

Les enrobés bitumineux, Tome 2. Union des syndicats de l'industrie routière française (USIRF), RGRA.

Hot-Mix Asphalt Paving Handbook 2000. American Association of State Highway and Transportation Officials, National Research Council (U.S.).

Hot-Mix Asphalt Materials, Mixture Design & Construction, Second Edition, 1996. Freddy L. Roberts, NAPA Education Foundation.

Factors Affecting Compaction of Asphalt Pavements. Transportation Research Circular E-C105, September 2006.

Transports Québec