



Centre de recherches routières
Votre partenaire pour des routes durables

Code de bonne pratique

*pour la mise en œuvre des
revêtements bitumineux*



Recommandations CRR

R 96



Centre de compétence impartial depuis 1952, le Centre de recherches routières (CRR) est au service de l'ensemble du secteur routier. Le développement durable par l'innovation est le fil conducteur de toutes ses activités. Le CRR partage ses connaissances avec les professionnels du secteur notamment par la voie de ses publications (codes de bonne pratique, synthèses, comptes rendus de recherche, méthodes de mesure, fiches d'information CRR, Bulletins CRR et Dossiers, rapports d'activité). Nos publications sont largement diffusées en Belgique et à l'étranger auprès de centres de recherche scientifique, d'universités, d'institutions publiques et d'instituts internationaux. Pour plus d'informations sur nos publications et activités, visitez notre site web www.crr.be

Code de bonne pratique R 96

Code de bonne pratique pour la mise en œuvre
des enrobés bitumineux

Centre de recherches routières

Etablissement reconnu par application de l'Arrêté-loi du 30 janvier 1947

Bruxelles

2018

Le présent Code de bonne pratique a été mis au point par le groupe de travail BAC 4 «Mise en œuvre des enrobés bitumineux» du Centre de Recherches routières.

Composition du groupe de travail:

Président: T. De Jonghe BGO OBAC
Secrétaires: P.-P. Brichant CRR
E. Van den Kerkhof CRR

Membres:

B. Beaumesnil	CRR	P. Levo	SPW
J.-P. Bille	SPW	P.-P. Modde	C.O.R.C
F. Bourguet	Socogetra	O. Pilate	Sagrex
P. Carlier	Wanty	E. Przybylski	Colas Belgium
P. Collette	Province Namur	Ch. Rigot	Ville de Namur
	STP Philippeville	R. Tison	AWV
J. Crochet	SPW	E. Van Damme	ASWEBO
C. De Backer	CRR	P. Van der Hoeven	AWV
O. De Myttenaere	Cimenteries CBR	A. Vanelstraete	CRR
B. Duerinkcx	CRR	N. Vanhollebeke	BVA-ABPE asbl
J.-P. De Baets	Colas Belgium	J. Vanhollebeke	Belasco
M. R. Dejager	AWV	H. Van Vaerenbergh	Ville de Bruxelles
A. Destrée	CRR	W. Van Hoof	De Bruycker
P. Hanoul	Socogetra		
R. Klok	Wirtgen Belgium		
P. Lambert	De Bruycker		

Remerciements

Le Centre de recherches routières (CRR) souhaite remercier les personnes mentionnées ci-dessus pour leur participation à la présente publication.

Avertissement

Bien que les recommandations de ce Code de bonne pratique aient été rédigées avec le plus grand soin possible, des imperfections ne sont pas exclues. Ni le CRR, ni ceux qui ont collaboré à la présente publication, ne peuvent être tenus pour responsables des informations fournies qui le sont à titre purement documentaire et non contractuel.

Code de bonne pratique pour la mise en œuvre des revêtements bitumineux / Centre de recherches routières. – Bruxelles : CRR, 2017, 168 p. – (Recommandations, 1376-9340 ; R 96).

Dépôt légal: D/2018/0690/7

© CRR – Tous droits réservés.

Table des matières

Avant-propos	1
1 Matériel	3
1.1 Centrales d'enrobage	3
1.1.1 Capacité de production	3
1.1.2 Capacité de stockage	3
1.1.3 Qualité de l'enrobé produit	4
1.2 Moyens de transport	4
1.2.1 Types de camions	4
1.2.2 Composants spécifiques des camions	5
1.2.2.1 Benne	5
1.2.2.2 Bâche ou panneaux isolants	6
1.2.2.3 Containers isolés	6
1.3 Répanduses de liant	7
1.3.1 Types de répanduses de liant	7
1.3.1.1 Répanduses tractées	7
1.3.1.2 Répanduses automotrices	7
1.3.1.3 Citernes de petite à moyenne capacité montées sur petit porteur	7
1.3.1.4 Citernes de grande capacité montées sur camion	8
1.3.1.5 Répanduses multifonctions	8
1.3.1.6 Finisseurs à rampe intégrée	8
1.3.2 Composants d'une répanduse de liant	9
1.3.2.1 Citerne	9
1.3.2.2 Rampe et becs de répandage	10
1.3.2.3 Pompe doseuse	10
1.4 Finisseurs	11
1.4.1 Description	11
1.4.2 Partie tracteur et ses éléments	12
1.4.2.1 Description	12
1.4.2.1.1 Tracteur sur chenilles	13
1.4.2.1.2 Tracteur sur pneus	13
1.4.2.2 Trémie	13
1.4.2.3 Chaînes de convoyage	14
1.4.2.4 Vis de répartition	14
1.4.2.5 Système de ventilation	14
1.4.2.6 Systèmes de mesure et d'enregistrement	15
1.4.2.7 Système d'accompagnement des camions lors de la livraison des enrobés dans la trémie du finisseur	15
1.4.3 Table de finisseur	15
1.4.3.1 Description	15
1.4.3.2 Tôles limitatrices, prédéflexeurs et portes latérales	16
1.4.3.3 Mécanisme de précompactage	16
1.4.3.4 Chauffage de la table de finisseur	18
1.4.3.5 Largeur de la table de finisseur	18
1.4.3.5.1 Rallonges télescopiques hydrauliques	19
1.4.3.5.2 Tables fixes	19
1.4.3.5.3 Petites largeurs de travail	19
1.4.3.5.4 Très grandes largeurs de travail	20
1.4.3.5.5 Montage des rallonges de la table	20

1.4.4	Guidage de la table	21
1.4.4.1	Commande autonivelante («avec table flottante»)	22
1.4.4.1.1	Principe	22
1.4.4.1.2	Irrégularités de courte longueur d'onde	23
1.4.4.1.3	Irrégularités de grande longueur d'onde	24
1.4.4.2	Systèmes de réglage de la hauteur automatiques	24
1.4.4.2.1	Principe de base	24
1.4.4.2.2	Systèmes qui prennent comme référence la surface de travail	25
1.4.4.2.3	Systèmes lasers et GPS	26
1.4.4.3	Pendules transversaux automatiques (indicateurs d'inclinaison)	27
1.5	Alimentateurs	27
1.5.1	Utilité d'un alimentateur séparé	28
1.5.2	Description et fonctionnement	28
1.5.3	Equipements supplémentaires	29
1.6	Compacteurs	29
1.6.1	Compacteurs à pneus	30
1.6.2	Compacteurs à cylindres lisses	30
1.6.2.1	Compacteurs statiques	31
1.6.2.2	Compacteurs dynamiques	32
1.6.2.2.1	Compacteurs vibrants	32
1.6.2.2.2	Compacteurs oscillants	33
1.6.2.2.3	Compacteurs à vibrations dirigées	34
1.6.3	Compacteurs combinés	35
1.6.4	Systèmes de direction des compacteurs	35
1.6.5	Cylindres divisés	36
1.6.6	Accessoires	37
1.6.6.1	Aspersion d'eau	37
1.6.6.2	Scie latérale	37
1.6.6.3	Cylindre latéral	38
1.6.6.4	Cylindre conique	38
1.6.6.5	Compteur de compactage	38
1.6.6.6	Système GPS avec contrôle du nombre de passes	38
2	Préparatifs du chantier	39
2.1	Préparation administrative	39
2.2	Etude préalable du chantier	39
2.3	Préparation logistique	40
2.4	Organisation du transport des enrobés	40
2.4.1	Choix du type de camions	40
2.4.2	Choix du nombre de camions	41
2.4.3	Choix de l'itinéraire de transport	42
2.4.4	Temps de fourniture	42
2.4.5	Préparation des camions	43
2.4.6	Chargement des camions	43
2.5	Travaux de nuit et de week-end	44
2.5.1	Travaux de nuit	45
2.5.2	Travaux de week-end	45

3	Exécution du chantier	47
3.1	Fraisage de la surface	47
3.1.1	Introduction	47
3.1.1.1	Objectif du fraisage	47
3.1.1.2	Historique	47
3.1.1.3	Fraisage standard	48
3.1.1.4	Fraisage fin	48
3.1.2	Préparation du fraisage	49
3.1.2.1	Essais	49
3.1.2.2	Choix du type de fraiseuse	49
3.1.2.2.1	Fraiseuses de petite taille	49
3.1.2.2.2	Fraiseuses de grande taille	49
3.1.2.3	Dépendance aux conditions météorologiques	50
3.1.3	Exécution	50
3.1.3.1	Guidage de la fraiseuse	50
3.1.3.2	Points d'attention pour une bonne exécution	50
3.1.3.3	Nettoyage de la surface	52
3.1.4	Contrôle de la qualité du fraisage	52
3.1.4.1	Utilité des contrôles	52
3.1.4.2	Contrôles à effectuer	52
3.2	Couche de collage	53
3.2.1	Fonction d'une couche de collage	53
3.2.2	Matériaux utilisés	54
3.2.2.1	Types de couche de collage	54
3.2.2.2	Critères pour effectuer le choix d'une couche de collage	55
3.2.2.3	Quantité d'émulsion à épandre	55
3.2.3	Choix du type de répandeur	55
3.2.4	Pose de la couche de collage	56
3.2.5	Protection de la couche de collage	56
3.2.6	SAMI	57
3.3	Pose des enrobés au finisseur	58
3.3.1	Personnel	58
3.3.2	Réglage et démarrage du finisseur	59
3.3.2.1	Contrôles avant la mise en marche	59
3.3.2.2	Chauffage de la table	59
3.3.2.3	Réglage de l'épaisseur de pose	59
3.3.2.4	Réglage de l'angle d'attaque de la table	61
3.3.2.5	Réglage de la hauteur de la vis de répartition	61
3.3.2.6	Mise en route du finisseur	62
3.3.3	Alimentation en enrobés du finisseur	62
3.3.3.1	Opération de chargement	62
3.3.3.2	Précautions à prendre lors du déversement	64
3.3.3.3	Alimentation du finisseur sur chaussée en forte pente	64
3.3.3.4	Nettoyage des camions	65
3.3.4	Vitesse d'avancement du finisseur	65
3.3.5	Processus de pose de l'enrobé	66
3.3.5.1	Répartition de l'enrobé devant la table de finisseur	66
3.3.5.1.1	Surveillance du niveau de l'enrobé devant la vis de répartition	66
3.3.5.1.2	Homogénéité du niveau de l'enrobé devant la table	67

3.3.5.2	Travail avec la table de finisseur	69
3.3.5.2.1	Précompactage	69
3.3.5.2.2	Réglage de la table de lissage	70
3.3.5.2.3	Réglage des dameurs	70
3.3.5.2.4	Interdépendance dameurs/vitesse d'avancement	70
3.3.5.2.5	Lames de pression	71
3.3.5.2.6	Recommandations de réglage des groupes de compactage	71
3.3.6	Arrêts du finisseur	72
3.3.6.1	Arrêt de courte durée	72
3.3.6.2	Arrêt de longue durée	72
3.3.7	Guidage du finisseur	73
3.3.7.1	Guidage dans le sens longitudinal (suivi du tracé)	73
3.3.7.2	Guidage vertical (réglage de l'épaisseur)	73
3.3.7.2.1	Mode autonivelant (table flottante)	74
3.3.7.2.2	Soulagement de la table	74
3.3.7.2.3	Blocage de la table	75
3.4	Compactage	75
3.4.1	Objectif du compactage	75
3.4.2	Facteurs d'influence	76
3.4.2.1	Influence de la composition du mélange	76
3.4.2.2	Influence de la température du mélange	76
3.4.2.3	Conditions météorologiques	77
3.4.2.4	Fondations et couches sous-jacentes	77
3.4.2.5	Epaisseur de couche	77
3.4.3	Choix du type de compacteur et du mode de compactage	78
3.4.3.1	Choix du compacteur en fonction de l'enrobé à compacter	78
3.4.3.1.1	Compactage de mélanges à granularité continue	78
3.4.3.1.2	Compactage du SMA, du BBTM, du RUMG et de l'EME à squelette pierreux	78
3.4.3.1.3	Compactage d'enrobés drainants	78
3.4.3.2	Utilisation du compacteur à pneus	79
3.4.3.3	Utilisation des rouleaux lisses	79
3.4.3.3.1	Compacteur tandem (rouleau vibrant)	79
3.4.3.3.2	Compacteur tricycle	80
3.4.4	Points importants avant et pendant le compactage	80
3.4.5	Quelques exemples de procédures de compactage	81
3.4.5.1	Introduction	81
3.4.5.2	Compactage d'une bande bitumineuse avec une bordure ou un caniveau.	82
3.4.5.3	Compactage d'une bande d'enrobé «chaud contre froid»	82
3.4.5.4	Compactage d'une bande d'enrobé sans contrebutage	83
3.4.5.5	Compactage lors de la pose simultanée de bandes d'enrobé.	83
3.4.5.6	Compactage dans les virages	84
3.4.5.7	Compactage d'un joint transversal	84
3.4.5.8	Systèmes d'aide	84
3.5	Pose d'enrobés bitumineux à la main	85
3.5.1	Eviter le travail à la main	85
3.5.2	Exécution	85
3.5.3	Types d'enrobés adéquats	86

3.6	Réalisation des joints et des bords	86
3.6.1	Exécution des joints entre des revêtements bitumineux	87
3.6.1.1	Joints longitudinaux le long de revêtements bitumineux	87
3.6.1.2	Joints transversaux le long de revêtements bitumineux	87
3.6.1.3	Post-traitement des joints longitudinaux et transversaux entre des revêtements bitumineux	88
3.6.1.4	Spécificités des joints dans de l'enrobé coloré	88
3.6.2	Réalisation de bords non contrebutés et de joints entre des revêtements bitumineux et d'autres matériaux	89
3.6.2.1	Réalisation de bords non contrebutés	89
3.6.2.2	Joints entre un enrobé compacté à chaud et du béton de ciment	89
3.6.2.3	Joints entre un enrobé posé à chaud et des éléments modulaires	90
4	Spécificités relatives aux différents types d'enrobés	91
4.1	Grave-bitume	91
4.1.1	Description	91
4.1.2	Réglages du finisseur	91
4.1.3	Organisation du compactage	92
4.2	Enrobé à module élevé (EME)	92
4.2.1	Description	92
4.2.2	Conditions météorologiques	92
4.2.3	Réglage du finisseur	92
4.2.4	Organisation du compactage	93
4.3	Béton bitumineux très mince (BBTM)	93
4.3.1	Description	93
4.3.2	Conditions météorologiques	93
4.3.3	Réglages du finisseur	94
4.3.4	Organisation du compactage	94
4.4	Splitmastikasphalt (SMA)	94
4.4.1	Description	94
4.4.2	Conditions météorologiques	95
4.4.3	Réglage du finisseur	95
4.4.4	Organisation du compactage	95
4.5	Revêtement Ultra-Mince Grenu (RUMG)	95
4.5.1	Description	95
4.5.2	Conditions météorologiques	96
4.5.3	Spécificités et réglages du finisseur	96
4.5.4	Organisation du compactage	96
4.6	Enrobés silencieux	97
4.6.1	Description	97
4.6.2	Conditions météorologiques	97
4.6.3	Règlages du finisseur	97
4.6.4	Organisation du compactage	98
4.6.5	Facteurs ayant un impact sur la production sonore	98
4.7	Enrobés drainants	98
4.7.1	Description	98
4.7.2	Réglage du finisseur	99
4.7.3	Organisation du compactage	99

4.8	Enrobés percolés	99
4.8.1	Description	99
4.8.2	Contrôle de qualité préalable de l'enrobé drainant	100
4.8.3	Conditions météorologiques	100
4.8.4	Confection du mortier de ciment avec résines	100
4.8.5	Application du mortier de ciment avec résine sur le chantier	100
4.8.5.1	Début de l'application	100
4.8.5.2	Mise en œuvre du mortier	101
4.8.5.3	Finition de la surface	102
4.8.6	Mise en service	102
4.9	Enrobés colorés	102
4.9.1	Description	102
4.9.2	Couleurs	103
4.9.3	Points d'attention	103
4.9.3.1	Plan et méthodologie de pose	103
4.9.3.2	Préparation du support et choix de la couche de collage	104
4.9.3.3	Propreté du matériel et règles de circulation sur chantier	104
4.9.3.4	Approvisionnement du chantier	105
4.9.3.5	Compactage	105
4.9.3.6	Traitement des joints	105
4.9.3.7	Mise en circulation	105
4.10	Enrobés imprimés	106
4.10.1	Techniques	106
4.10.1.1	Impression juste après la pose de l'enrobé au finisseur	106
4.10.1.2	Impression après avoir réchauffé l'enrobé (reheat)	106
4.10.1.3	Avantages et inconvénients des deux méthodes	106
4.10.2	Type d'enrobé et couleur	107
4.11	Enrobés à basse température	107
4.11.1	Description	107
4.11.2	Conditions météorologiques	108
4.11.3	Organisation du compactage	108
5	Contrôle de la qualité	109
5.1	Mesures de température	109
5.2	Mesures d'uni	109
5.3	Mesures de profil	110
5.4	Mesures d'épaisseur	110
5.5	Mesures de compactage	111
5.6	Pouvoir drainant des enrobés drainants	111
5.7	Contrôle de la composition	111
5.8	Contrôle de l'adhésion intercouches	112
5.8.1	Essai de cisaillement direct	112
5.8.2	Essai de traction directe	112
6	Ouverture au trafic	113
6.1	Temps de mise en service après la pose	113
6.1.1	Estimation rapide du temps nécessaire au refroidissement	113
6.1.2	Estimation rapide de la température pour la remise en circulation	114
6.1.3	Facteurs qui influencent le refroidissement	115
6.1.3.1	Type d'enrobé	115
6.1.3.2	Nombre de couches et épaisseur	115
6.1.3.3	Température ambiante et vitesse du vent	115

6.1.3.4	Température du mélange au début de la mise en œuvre	115
6.1.3.5	Largeur de bandes de circulation	116
6.1.3.6	Type et vitesse du trafic	116
6.2	Rugosité	116
6.3	Post-traitement des joints	116
7	Points d'attention particuliers	117
7.1	Température des enrobés bitumineux	117
7.1.1	Fabrication	117
7.1.2	Importance de la protection des enrobés lors du transport	117
7.1.3	Epandage	117
7.1.4	Compactage	118
7.2	Influence des conditions météorologiques	118
7.2.1	Mise en œuvre par temps froid	118
7.2.1.1	Fabrication	118
7.2.1.2	Pose	119
7.2.1.3	Compactage	119
7.2.2	Mise en œuvre par temps chaud	119
7.2.2.1	Fabrication	119
7.2.2.2	Pose	119
7.2.2.3	Compactage	120
7.2.3	Mise en œuvre après ou pendant des précipitations	120
7.2.3.1	Après des précipitations	120
7.2.3.2	Pendant des précipitations	120
7.2.4	Influence de la vitesse du vent sur la mise en œuvre	121
7.3	Facteurs qui influencent la planéité	125
7.3.1	Alimentation du finisseur en enrobé bitumineux	125
7.3.2	Support	125
7.3.3	Réglages de hauteur	125
7.3.4	Autres réglages	126
7.3.5	Mise en œuvre	126
7.3.6	Compactage	126
7.3.7	Autres paramètres	126
7.4	Problèmes relatifs à l'homogénéité	127
7.4.1	Alimentation insuffisante	127
7.4.2	Extensions de la table mal alignées	127
7.4.3	Chambre de répartition et vis sans fin	127
7.5	Facteurs qui influencent la ségrégation	128
7.5.1	Production	128
7.5.2	Transport	128
7.5.3	Mise en œuvre	128
7.5.4	Compactage	129
7.6	Facteurs qui influencent la rugosité	129
	Annexe 1: Check-list pour le chantier	131
	Annexe 2: Dégradations dans l'enrobé et causes éventuelles	137
	Annexe 3: Importance de la viscosité du bitume	149
	Bibliographie	151

Liste des figures

Figure 1.1 – Bac pousseur	5
Figure 1.2 – Benne avec bâche	6
Figure 1.3 – Benne avec panneaux isolants	6
Figure 1.4 – Container isolé thermiquement	6
Figure 1.5 – Répandeuse tractée	7
Figure 1.6 – Répandeuse automotrice tractable	7
Figure 1.7 – Citerne sur porteur	7
Figure 1.8 – Répandeuse de grande capacité	8
Figure 1.9 – Intérieur d'une répandeuse moderne	8
Figure 1.10 – Répandeuse multifonctions	8
Figure 1.11 – Finisseur à rampe intégrée	8
Figure 1.12 – Répandeuse	9
Figure 1.13 – Vue d'une citerne à chauffage direct	9
Figure 1.14 – Vue d'une citerne à chauffage indirect	9
Figure 1.15 – Rampe de répandage	10
Figure 1.16 – Forme des jets	10
Figure 1.17 – Pompe doseuse	11
Figure 1.18 – Finisseur	11
Figure 1.19 – Schéma de principe d'un finisseur	12
Figure 1.20 – Fixation du bras de traction et du vérin de nivellement	12
Figure 1.21 – Vérins de levage et d'abaissement	12
Figure 1.22 – Moteur du tracteur	12
Figure 1.23 – Détail des chenilles du finisseur	13
Figure 1.24 – Finisseur sur pneus	13
Figure 1.25 – Trémie	13
Figure 1.26 – Convoyeur d'enrobé	14
Figure 1.27 – Vis de répartition	14
Figure 1.28 – Schéma d'un système de ventilation	14
Figure 1.29 – Vue schématique d'une table de finisseur	15
Figure 1.30 – Table de finisseur	16
Figure 1.31 – Tôles limitatrices (à gauche de la vis de répartition) et prédéflexeur (à droite)	16
Figure 1.32 – Portes latérales	16
Figure 1.33 – Vue schématique d'une table à haut pouvoir de compactage	16
Figure 1.34 – Types de système de compactage	17
Figure 1.35 – Éléments thermiques électriques dans la table	18
Figure 1.36 – Exemple de possibilités d'extension d'une table	18
Figure 1.37 – Bras hydraulique extensible	19
Figure 1.38 – Petit finisseur	19
Figure 1.39 – Tirants horizontaux lors du travail en grande largeur	20
Figure 1.40 – Extensions boulonnées combinées avec des télescopiques	20
Figure 1.41 – Fléchissement de la table	20
Figure 1.42 – Illustration du système de guidage	21
Figure 1.43 – Console de commande pour l'opérateur	21
Figure 1.44 – Table en position flottante	22
Figure 1.45 – Influence d'une irrégularité sur une table flottante	23
Figure 1.46 – Paramètres influant les irrégularités	24
Figure 1.47 – Schéma de commande automatique	25
Figure 1.48 – Patin court	25
Figure 1.49 – Patin d'1 m avec capteur mécanique	25
Figure 1.50 – Capteur à ultrasons	26
Figure 1.51 – Skis intégrateurs avec capteurs sans contact	26
Figure 1.52 – Station totale	26

Figure 1.53 – Alimentateur séparé	27
Figure 1.54 – Pose avec alimentateur inséré entre le finisseur et les camions l'alimentant	28
Figure 1.55 – Tremie supplémentaire sur le finisseur	28
Figure 1.56 – Alimentation latérale par l'alimentateur	29
Figure 1.57 – Pétrissage	29
Figure 1.58 – Poids	29
Figure 1.59 – Vibrations	29
Figure 1.60 – Compacteur à pneus	30
Figure 1.61 – Etalement des roues	30
Figure 1.62 – Charge linéaire statique	31
Figure 1.63 – Trois compacteurs tandem	31
Figure 1.64 – Compacteur tridem	31
Figure 1.65 – Réglage de l'amplitude des vibrations	33
Figure 1.66 – Système de vibrations à oscillation	33
Figure 1.67 – Compacteur combiné	35
Figure 1.68 – Compacteurs avec direction articulée	35
Figure 1.69 – Compacteur avec contrôle des deux cylindres	36
Figure 1.70 – Influence de la division des cylindres	37
Figure 1.71 – Scie latérale	37
Figure 1.72 – Cylindre latéral	38
Figure 1.73 – Cylindre conique	38
Figure 1.74 – Sortie de données d'un système de suivi du compactage	38
Figure 2.1 – Danger avec des câbles électriques	41
Figure 2.2 – Hauteur restreinte	41
Figure 2.3 – Boîte thermique	41
Figure 2.4 – Véhicules en excès sur chantier	41
Figure 2.5 – Chargement adéquat des camions	44
Figure 2.6 – Travaux de nuit	45
Figure 2.7 – Arrachage de la couche de collage	45
Figure 3.1 – Fraise standard	48
Figure 3.2 – Fraiseuse fine	48
Figure 3.3 – Fraiseuse de petite taille	49
Figure 3.4 – Fraiseuse de grande taille	49
Figure 3.5 – Caractéristiques du profil de fraisage	53
Figure 3.6 – Couche de collage en cours de pose	53
Figure 3.7 – Coupe schématique d'un finisseur	58
Figure 3.8 – Equipe de pose	58
Figure 3.9 – Réglage de l'épaisseur de pose	59
Figure 3.10 – Raccordement au revêtement existant	60
Figure 3.11 – Contrôles de niveau	60
Figure 3.12 – Angle d'attaque de la table	61
Figure 3.13 – Chargement du finisseur	62
Figure 3.14 – Détail des rouleaux de poussage	62
Figure 3.15 – Marche arrière du camion	63
Figure 3.16 – Contact entre camion et finisseur	63
Figure 3.17 – Le finisseur pousse le camion durant le déchargement	63
Figure 3.18 – Parois latérales du finisseur basculées	63
Figure 3.19 – Enrobé déversé à côté de la trémie	64
Figure 3.20 – Chasse-pierres monté devant les chenilles	64
Figure 3.21 – Travail en forte pente	64
Figure 3.22 – Nettoyage d'un camion	65
Figure 3.23 – Niveau de l'enrobé devant la roue de répartition	67
Figure 3.24 – Travail de la vis dans les deux sens	67
Figure 3.25 – Niveau d'enrobé homogène	68

Figure 3.26 – Trop peu d'enrobé aux extrémités	68
Figure 3.27 – Trop peu d'enrobé au centre	68
Figure 3.28 – Influence de la vitesse d'avancement	70
Figure 3.29 – Différence de niveau de précompactage	71
Figure 3.30 – Alignement longitudinal du finisseur	73
Figure 3.31 – Vérin de levage et d'abaissement en mode autonivelant	74
Figure 3.32 – Soulagement de la table	74
Figure 3.33 – Blocage de la table	75
Figure 3.34 – Principe du compactage	76
Figure 3.35 – Bâches de protection d'un compacteur à pneus	79
Figure 3.36 – Compacteur tandem	79
Figure 3.37 – Bifurcation en fin de passe	81
Figure 3.38 – Compactage d'une bande bitumineuse avec une bordure ou un caniveau	82
Figure 3.39 – Compactage d'une bande d'enrobé «chaud contre froid»	82
Figure 3.40 – Compactage d'une bande d'enrobé sans contrebutage	83
Figure 3.41 – Compactage lors de la pose simultanée de bandes d'enrobé	83
Figure 3.42 – Compactage dans les virages	84
Figure 3.43 – Outils pour le travail à la main	85
Figure 3.44 – Utilisation d'une rampe de réchauffage pour réchauffer les bords de l'enrobé coloré	88
Figure 3.45 – Compactage à l'aide d'un cylindre latéral	89
Figure 4.1 – Deux spectres de texture identiques mais des propriétés acoustiques différentes	98
Figure 4.2 – Mortier de résine synthétique	100
Figure 4.3 – Epandage du coulis	101
Figure 4.4 – Mesure du temps d'écoulement	101
Figure 4.5 – Enrobé percolé après la pose	102
Figure 4.6 – Utilisation de plaques en bois	104
Figure 4.7 – Contamination après compactage	105
Figure 4.8 – Impression après la pose	106
Figure 4.9 – Machine de réchauffement des enrobés	106
Figure 4.10 – Dénomination des enrobés selon leur température de fabrication	108
Figure 4.11 – Arrachement de l'enrobé dû à un compacteur dont les pneus sont trop froids	108
Figure 5.1 – Mesure de la température avec un thermomètre à sonde	109
Figure 5.2 – Mesure à la règle de 3 m	110
Figure 5.3 – Utilisation d'un fil pour contrôler le profil et le niveau	110
Figure 5.4 – Roue de mesure de la distance parcourue, accrochée au finisseur	110
Figure 5.5 – Mesure de la densité au gammadensimètre	111
Figure 5.6 – Mesure du pouvoir drainant	111
Figure 5.7 – Illustration de l'appareillage de cisaillement direct	112
Figure 5.8 – Illustration de l'appareillage de traction directe	112
Figure 6.1 – Evolution de la température	114
Figure 7.1 – Températures hétérogènes d'une couche fraîchement posée	117
Figure 7.2 – Microfissuration d'un enrobé compacté à température trop basse	118
Figure 7.3 – Influence de la vitesse du vent sur le refroidissement de la couche d'enrobé	121
Figure A3.1 – Abaque des résultats d'essai sur bitume	149
Figure A3.2 – Intervalles de viscosité idéaux pour un béton bitumineux	150

Liste des tableaux

Tableau 3.1 – Différents types d'émulsions recommandées comme couche de collage en fonction de leur application courante	54
Tableau 3.2 – Réglages des dameurs	71
Tableau 4.1 – Réglages recommandés de la table	91
Tableau 4.2 – Dénominations des types d'enrobés selon leur température de fabrication	107
Tableau 6.1 – Temps de refroidissement	113
Tableau 6.2 – Température de remise en circulation en fonction du type et de la classe de bitume	114
Tableau 7.1 – Durée de compactage pour une couche de 8 cm d'épaisseur	122
Tableau 7.2 – Durée de compactage pour une couche de 5 cm d'épaisseur	123
Tableau 7.3 – Durée de compactage pour une couche de 2 cm d'épaisseur	124
Tableau 7.4 – Durées de compactage maximales	125

Liste des formules

Equation 1.1 – Capacité de nivellement U	24
Equation 1.2 – Hauteur de la dénivellation résultante	24
Equation 1.3 – Nombre de Nijboer	31
Equation 2.1 – Calcul du nombre de camions nécessaires	42
Equation 3.1 – Calcul de la vitesse du finisseur	65
Equation 6.1 – Température de remise en circulation	114

■ Source des photos et des figures

Bomag	1-18, 1-28, 1-63, 1-65, 1-66, 1-67, 1-69, 1-70, 1-74, 1-75, 2-6, 3-39, 3-40, 3-41, 3-42, 3-43
Colas Belgium	1-2, 3-44, 4-2, 5-1, 5-3
Fliegl	1-1
NAPA	2-5
OCW	1-4, 1-15, 1-16, 1-17, 1-20, 1-21, 1-24, 1-31, 1-32, 1-37, 1-47, 1-55, 1-57, 1-58, 1-59, 1-60, 1-61, 1-62, 1-64, 1-68, 1-72, 1-73, 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-7, 3-2, 3-4, 3-11, 3-12, 3-14, 3-15, 3-19, 3-20, 3-21, 3-22, 3-23, 3-24, 3-30, 3-31, 3-35, 3-36, 3-37, 3-45, 3-46, 4-1, 4-4, 4-5, 4-6, 4-7, 4-10, 4-11, 5-2, 5-4, 5-5, 5-6, 5-7, 5-8, 6-1, 7-1, 7-2, 7-3
Secmair	1-5, 1-6, 1-7, 1-8, 1-9, 1-12, 1-13, 1-14
Shell	B2-1, B2-2
Slurink Specialistische Infra	4-3
Streetprint	4-8
Wirtgen Group	1-11, 1-19, 1-22, 1-23, 1-25, 1-26, 1-27, 1-30, 1-34, 1-35, 1-36, 1-38, 1-39, 1-40, 1-41, 1-42, 1-43, 1-44, 1-45, 1-46, 1-48, 1-49, 1-50, 1-51, 1-52, 1-53, 1-54, 1-56, 3-3, 3-5, 3-6, 3-10, 3-16, 3-17, 3-18, 3-26, 3-27, 3-28, 3-29, 3-32, 3-33, 3-34, 3-38

Avant-propos

Ce manuel décrit la mise en œuvre des enrobés bitumineux. Il fait partie d'une série de codes de bonne pratique que le CRR a déjà édités par le passé:

- pour la formulation des enrobés: R 69/97 - Code de bonne pratique pour la formulation des enrobés bitumineux [1].
- pour le choix des enrobés en fonction de l'application: R 78/06 - Code de bonne pratique pour le choix du revêtement bitumineux lors de la conception ou de l'entretien des chaussées [2].
- pour la production des enrobés: R 72/02 - Code de bonne pratique pour la fabrication des enrobés bitumineux [3].

Les sujets qui apparaissent dans les codes de bonne pratique énumérés ci-dessus ne seront donc pas ou très succinctement traités dans ce code qui est plus spécifiquement dédié à la dernière – mais pas la moins importante – étape, la mise en œuvre des enrobés bitumineux.

Les auteurs ont choisi de ne pas reprendre les prescriptions des différents cahiers des charges type des régions [4,5,6] mais de donner des informations qui sont complémentaires à celles-ci.

Le lecteur trouvera dans ce code de bonne pratique, des renseignements concernant le matériel utilisé pour la mise en œuvre, la préparation du chantier, la mise en œuvre des enrobés, le contrôle des travaux et l'ouverture au trafic. Le dernier chapitre énumère des points d'attention spéciaux lors de la mise en œuvre et donne des informations complémentaires pour le lecteur qui souhaite en savoir plus.

Les intervalles de température des mélanges bitumineux mentionnés dans le texte sont ceux prévus pour les mélanges chauds, fabriqués aux températures élevées classiques. Pour des mélanges qui sont préparés à basse température, il existe des intervalles de température différents qui dépendent, entre autres, de la technique utilisée pour abaisser la température. Le lecteur trouvera plus d'explications au § 4.11, qui traite des enrobés fabriqués à basse température.



Chapitre 1

Matériel

Le matériel joue un rôle très important pour atteindre une qualité de travail satisfaisante. Il est en effet essentiel de choisir les machines adaptées aux conditions de chantier et au type de travail à exécuter. Le parc de machines doit être bien entretenu et en bon ordre de marche.

Ce chapitre énumère et décrit les différents engins utilisés lors de la pose d'enrobés bitumineux à chaud. Au § 3.3 qui traite de la mise en œuvre, le lecteur trouvera la description détaillée de leur utilisation.

1.1 Centrales d'enrobage

Bien qu'il ne s'agisse pas d'un engin de chantier à proprement parler, plusieurs caractéristiques de la centrale d'enrobage peuvent directement influencer le cours du chantier.

1.1.1 Capacité de production

La capacité et le planning de production de la centrale d'enrobage jouent un rôle important dans l'organisation du chantier. Ce sont même des paramètres prépondérants pour des chantiers de grande envergure (autoroutes, aéroports, etc.).

La production d'enrobé doit correspondre aux travaux à réaliser, afin d'éviter l'arrêt du finisseur ou le refroidissement dû à une trop grande attente des camions sur chantier (suite à la présence d'un trop grand nombre de camions chargés). Ces deux situations sont défavorables pour l'obtention d'un revêtement bien compacté et pour l'uni de surface.

Il est donc nécessaire que les responsables de chantier communiquent avec la centrale avant et pendant l'exécution du chantier pour décider d'un planning et résoudre d'éventuels problèmes de livraison. Pour des très grands débits, il est dans certains cas nécessaire de combiner la production de deux centrales ou plus.

1.1.2 Capacité de stockage

La plupart des centrales d'enrobage permettent de stocker les enrobés produits dans des silos isolés thermiquement. La mise en silo des enrobés peut accroître de manière importante le rendement de la centrale d'enrobage puisque:

- une réserve d'enrobés peut être fabriquée à l'avance et être utilisée lorsque la demande est supérieure à la capacité de production de la centrale;
- la centrale peut continuer à produire lorsque les camions se présentent de manière irrégulière;
- le temps de chargement des camions est réduit;
- un même type d'enrobé bitumineux peut être produit pendant une durée plus longue, favorisant ainsi l'uniformité de la production.

L'utilisation de silos comporte cependant aussi des risques:

- le risque de ségrégation du produit augmente car les enrobés subissent trois chutes successives: du malaxeur au bac élévateur, du bac au silo et du silo aux camions;
- le stockage peut provoquer un vieillissement important du liant en raison de la température élevée et du long temps de conservation. La durée d'entreposage des enrobés en silo doit être en deçà d'un jour pour éviter leur oxydation. Il ne faut jamais augmenter la température de malaxage par rapport au maximum permis dans le but d'allonger la durée d'entreposage. Seule une bonne isolation du silo permet d'en prolonger la durée;
- la portion d'enrobé au bas du silo subit un refroidissement provoquant la formation d'un bouchon de matériau refroidi. Outre le fait que le cône inférieur des silos doit être particulièrement bien calorifugé, il convient de toujours éliminer le matériau présent dans cette zone avant de débiter le déversement dans les camions.

1.1.3 Qualité de l'enrobé produit

La qualité de travail est aussi bien influencée par la pose de l'enrobé sur chantier que par la manière de le produire en centrale. Une gestion et un contrôle de production fiables à la centrale sont nécessaires pour garantir la livraison d'enrobés conformes sur chantier. On prêtera particulièrement attention aux points suivants:

- la bonne gestion des constituants de l'enrobé (réception, stockage, contrôle de conformité, etc.);
- la sélection des matières premières correctes pour la fabrication;
- la production du produit demandé et conforme au cahier des charges;
- la maîtrise des températures de production.

Nous référons au «Code de bonne pratique pour la fabrication des enrobés bitumineux» R 72/02 [3] pour une description détaillée des différents types de centrales d'enrobage ainsi que de leur fonctionnement.

1.2 Moyens de transport

Le chargement des camions, le transport de l'enrobé et le déchargement des camions sont des aspects souvent négligés. Pourtant des mauvaises pratiques lors de ces étapes peuvent diminuer de façon importante la performance du revêtement et rendre inefficaces les efforts faits lors des étapes subséquentes des travaux.

1.2.1 Types de camions

L'enrobé est généralement transporté dans:

- des camions d'une capacité moyenne de 15 t;
- des semi-remorques d'une capacité moyenne de 25 t;
- des containers isolés lorsque des petites quantités sont nécessaires, pour des réparations locales par exemple.

Le choix du moyen de transport dépend pour la plus grande partie du chantier: caractéristiques, distance à parcourir depuis la centrale, quantité totale d'enrobés à livrer, etc. Il faut cependant toujours utiliser des camions avec des bennes isolées et/ou chauffées et couvertes avec une bâche ou des panneaux isolants pour éviter au maximum la perte de chaleur de l'enrobé lors du transport.

Les camions doivent obligatoirement être pourvus d'un avertisseur de marche arrière pour la sécurité des ouvriers sur chantiers.

1.2.2 Composants spécifiques des camions

1.2.2.1 Benne

La forme des bennes doit permettre le déchargement des enrobés sans contact avec le finisseur. Le déport arrière de la benne, y compris la barre anti-encastrement, ne sera pas trop important afin que l'arrière ne vienne pas s'appuyer sur la trémie du finisseur. Si nécessaire, l'arrière du camion porteur peut être équipé d'une coulisse adaptée pour éviter que l'enrobé ne tombe devant le finisseur au lieu d'aller dans le bac d'approvisionnement lors du déversement.

La benne des camions doit de toute façon:

- être étanche et munie d'un fond métallique;
- posséder de préférence, les caractéristiques géométriques permettant le bon écoulement des enrobés (dépouvue d'angles vifs et de déformations du fond et des côtés);
- être construite avec une paroi double ou être chauffée pour éviter les pertes de chaleur. 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, utilisée seule, cette mesure n'empêche pas le refroidissement ni la formation d'une croûte en surface;
- être équipée des dispositifs nécessaires pour permettre le déchargement direct dans la trémie du finisseur.



Figure 1.1 – Bac pousseur

A côté des bennes classiques, il existe également des systèmes de bacs pousseurs. Dans ce cas, l'enrobé est poussé hors du bac de manière horizontale au lieu d'être benné. Ce système permet de décharger dans des tunnels, sous des arbres, des câbles, des panneaux directionnels... sans risque de provoquer des dégâts.

1.2.2.2 Bâche ou panneaux isolants

La protection des enrobés bitumineux lors du transport dans la benne par une bâche ou des panneaux isolants est indispensable pour les mettre à l'abri des intempéries (pluie et vent). Ainsi, on limitera leur refroidissement en surface et on évitera donc la formation d'une croûte froide et les comportements différentiels au moment de la répartition et du compactage. Une température uniforme de l'enrobé lors de la mise en œuvre est en effet indispensable pour obtenir une compacité uniforme du revêtement.



Figure 1.2 – Benne avec bâche



Figure 1.3 – Benne avec panneaux isolants

La bâche doit être composée d'un matériau imperméable ayant des dimensions légèrement plus grandes que celles de la benne et maintenue plus bas que le niveau supérieur des parois et sur tout le pourtour de celle-ci. La mise en place d'une bâche à l'aide d'un système à coulisse permet une meilleure conservation de la température. Il va de soi que cette bâche doit être intacte pour pouvoir remplir correctement son office.

Les panneaux isolants sont en acier et s'ouvrent et se referment automatiquement. Ils permettent de rapidement ouvrir et fermer la benne sans intervention manuelle du conducteur de camion.

1.2.2.3 Containers isolés



Figure 1.4 – Container isolé thermiquement

Les containers isolés permettent de maintenir la température de l'enrobé lors du transport de petites quantités. Ces boîtes thermiques peuvent garder l'enrobé à température pendant une longue durée et sont donc surtout utilisées pour de petits travaux d'entretien manuel (figure 1.4). Ils peuvent être combinés à un camion avec système de distribution automatique pour facilement faire de petites réparations.

Ils ont comme inconvénient de provoquer un vieillissement plus important du liant en raison de la température élevée et du long temps de conservation.

1.3 Répanduses de liant

Dans le cadre de la réalisation d'un revêtement en enrobés bitumineux, les répanduses de liant sont utilisées pour mettre en œuvre les couches de collage, les couches d'interface antifissures, les traitements des joints et les bords extérieurs non contrebutés.

Les couches de collage sont généralement réalisées avec des émulsions de bitume tandis que le liant utilisé pour la réalisation d'une interface antifissures est généralement un bitume non émulsionné (la plupart du temps un bitume polymère). Pour le traitement des joints et des bords non contrebutés, les deux types de liant sont utilisés.

1.3.1 Types de répanduses de liant

1.3.1.1 Répanduses tractées

Les répanduses tractées sont de petite dimension et ne sont donc utilisées que pour la réalisation de chantiers d'entretien localisés, de nids de poule ou de déflashages. Il s'agit de systèmes simples constitués d'une cuve et d'une lance.



Figure 1.5 – Répanduse tractée

1.3.1.2 Répanduses automotrices

Les petites répanduses automotrices sont particulièrement appropriées pour répandre les couches de collage sur de petits chantiers de revêtement, de formes complexes ou pour le traitement des joints et bords non contrebutés. Certaines de ces petites machines sont montées sur un châssis automoteur à trois roues de façon à fortement améliorer la manœuvrabilité sur chantier.



Figure 1.6 – Répanduse automotrice tractable

1.3.1.3 Citernes de petite à moyenne capacité montées sur petit porteur

Il s'agit de citernes directement montées sur une plateforme, éventuellement amovible, posées sur un petit porteur. Ces citernes sont souvent équipées de deux compartiments: un compartiment destiné à contenir de l'eau et un compartiment destiné à contenir du liant bitumineux.

Ces répanduses permettent par exemple d'accompagner une balayeuse ou d'alimenter en eau d'autres machines sur chantier. Elles peuvent également comporter une cuve à fuel et/ou un fondoir intégré.



Figure 1.7 – Citerne sur porteur

1.3.1.4 Citernes de grande capacité montées sur camion



Figure 1.8 – Répandeuse de grande capacité



Figure 1.9 – Interieur d'une répandeuse moderne

Les répandeuses de grande capacité de stockage sont la plupart du temps utilisées pour des chantiers de grande ampleur. Certaines d'entre elles permettent une grande souplesse dans la sélection de la largeur d'épandage et rendent aisé le répandage de liant en quantité appropriée sur divers types de chantier.

Ces machines sont performantes et disposent d'équipements sophistiqués:

- la transmission permet de rouler à vitesse lente et constante;
- le poste de commande est équipé d'un système informatique qui permet le réglage précis et constant de la quantité de liant répandu au m²;
- l'ordinateur règle la pompe à bitume en fonction de la vitesse du véhicule, la largeur de répandage et la quantité demandée. Il permet également l'affichage du volume et de la température du liant encore disponible et le suivi des travaux exécutés par un système vidéo. Toutes les données sont enregistrées par l'ordinateur pour une lecture ultérieure. Certains systèmes permettent d'avoir sur l'Internet toutes les informations en temps réel.

1.3.1.5 Répandeuses multifonctions



Figure 1.10 – Répandeuse multifonctions

Ces machines associent le rôle d'une répandeuse traditionnelle et les services associés de ravitaillement des engins et de logistique des chantiers. Outre la cuve à liant, elles peuvent comporter une cuve à eau, une cuve à fuel, un bac à gravillon et des coffres de rangement pouvant contenir divers petits matériels de chantier. Il est en plus possible de les équiper de plusieurs accessoires:

- une benne ou un plateau pour le rangement des extensions d'un finisseur, d'un compacteur, d'une dame vibrante, de déchets, etc.;
- une citerne pour le carburant;
- une grue de chargement;
- une balayeuse.

1.3.1.6 Finisseurs à rampe intégrée



Figure 1.11 – Finisseur à rampe intégrée

Le répandage de l'émulsion peut également être réalisé juste avant la pose de l'enrobé bitumineux à l'aide d'un finisseur à rampe intégrée. Il s'agit donc ici de la combinaison d'un finisseur et d'un système de répandage et pas d'une répandeuse au sens exact du mot.

Cette machine répand l'émulsion via une rampe qui est intégrée dans celle-ci. On peut l'utiliser lorsque la couche d'accrochage est constituée d'une émulsion élastomère, qui est parfois appliquée dans le cas de RUMG et pour les recouvrements minces sur du béton.

Cette méthode ne peut pas être appliquée de manière généralisée mais seulement dans des cas particuliers, en raison des inconvénients qui y sont liés:

- un bec de répannage défectueux ne se remarque pas et peut avoir pour conséquence qu'une partie du support est dépourvue de couche d'accrochage, avec tout ce que cela implique. Dans les machines récentes, la rampe est cependant placée de telle façon qu'un examen visuel soit possible;
- la couche d'accrochage n'est pas rompue avant la pose de l'enrobé.

Ce type de machine est encore très peu utilisé en Belgique.

1.3.2 Composants d'une répandeuse de liant

Les composants et accessoires qui équipent les répandeuses sont les suivants:

- un porteur (camion);
- une citerne;
- une installation de chauffage;
- un dispositif de dosage;
- une rampe avec des bacs d'épandage;
- un dispositif de contrôle (ordinateur).

1.3.2.1 Citerne

On trouve sur le marché des répandeuses avec des citernes de toutes capacités à partir d'environ 200 l (répandeuses tractées et automotrices) jusqu'à environ 22 000 l (répandeuses à grand rendement).

Les citernes sont construites de manière à ce que le liant conserve sa qualité, son homogénéité et sa température pendant le transport. Elles sont calorifugées. L'émulsion est chauffée par un système dédié permettant de maintenir le liant à la température de répannage. Il existe deux systèmes de chauffe. Avec le système indirect, de l'huile est tout d'abord chauffée puis transportée la chaleur vers l'émulsion. Cette huile est en règle générale chauffée par une résistance électrique. Pour les répandeuses de grandes dimensions, le système de chauffe est direct, et comprend un brûleur au fuel ou au gaz qui réchauffe directement l'émulsion.

Les citernes sont équipées d'un indicateur de niveau et de température, d'un détecteur de niveau minimal et maximal et d'un thermostat. Le remplissage peut être réalisé par aspiration (pour les petites citernes automotrices) ou par écoulement.

La citerne est construite de façon à pouvoir être totalement vidée. Cette opération est réalisée au moyen de clapets de décharge.

L'emploi d'un filtre adéquat (tamis) lors du remplissage du liant et le rinçage soigneux des citernes lors d'un changement de liant sont des mesures de protection utiles et rentables. Le dispositif de filtration doit être vérifié très régulièrement afin de prévenir tout colmatage pouvant entraîner un sous-dosage en liant.



Figure 1.12 – Répandeuse

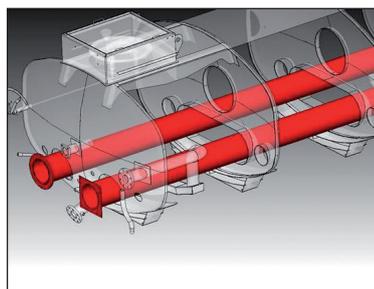


Figure 1.13 – Vue d'une citerne à chauffage direct

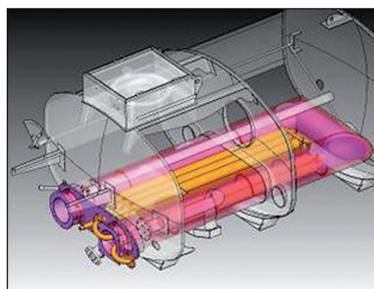


Figure 1.14 – Vue d'une citerne à chauffage indirect

1.3.2.2 Rampe et becs de répandage

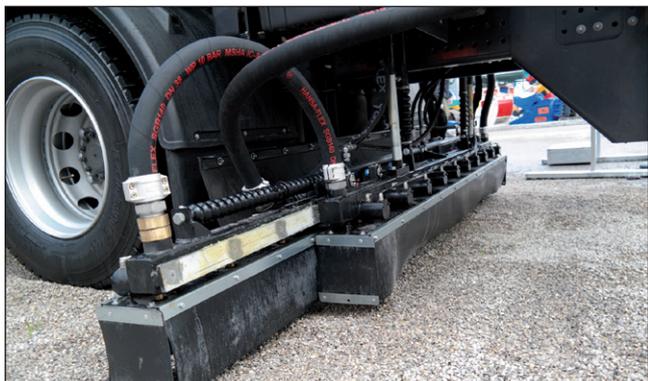


Figure 1.15 – Rampe de répandage

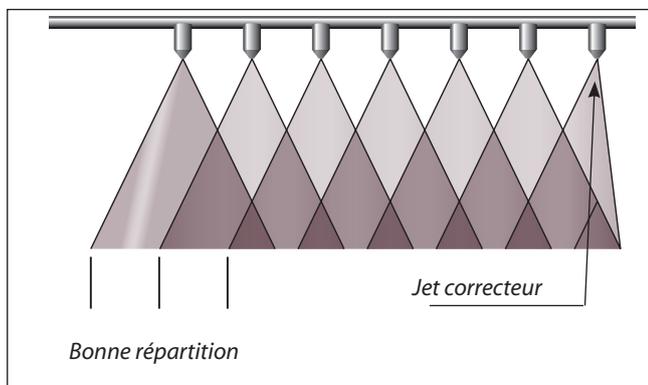


Figure 1.16 – Forme des jets

Les petites machines (citerne de 200 à 600 l) ne sont équipées que d'une lance de répandage unique qui ne permet que des interventions manuelles.

Dès que la dimension du chantier le permet, le répandage du liant s'effectue grâce à une rampe dont la largeur peut aller jusqu'à 6 m. Cette rampe est équipée de becs de répandage montés à un espacement régulier et permettant d'épandre une quantité uniforme de liant sur toute la largeur.

La rampe de répandage est équipée d'une canalisation de retour qui permet de faire circuler le liant de manière constante. Cette circulation permet de tenir homogène la température du liant, même quand on n'applique pas, ce qui évite le colmatage des tuyaux.

La largeur de répandage est ajustable. Le réglage s'effectue soit manuellement (intervention directe bec par bec sur la rampe) soit par une intervention sur le pupitre de commande.

Les jets ont le plus souvent la forme de lames plates, trois jets se recouvrent au sol. Seules les lames plates peuvent assurer une distribution transversale satisfaisante.

L'ouverture ou fermeture des becs est commandée pneumatiquement à distance – en simultanéité – ce qui permet des coupures et des reprises nettes sans bavures ou suintements malpropres.

La rampe de répandage est dans la plupart des cas réglable en hauteur. Ce réglage est réalisé en fonction du type de liant à épandre.

Les gicleurs doivent être adaptés à la viscosité du liant et à la quantité de liant à épandre. L'option permettant de n'utiliser qu'un gicleur sur deux lorsque la quantité de liant à épandre est faible (par exemple 150 g/m²) ne permet pas d'atteindre une qualité suffisante de la répartition du liant. Des dispositions doivent également être prises pour assurer cette régularité en bout de rampe (mise en place d'une tôle par exemple).

La rampe et les becs de répandage doivent être chauffés pour éviter leur colmatage.

1.3.2.3 Pompe doseuse

Pour certaines citernes de dimension réduite, le répandage est possible grâce à la mise sous pression de la cuve. Dans la plupart des cas cependant, l'alimentation de la rampe est assurée par une pompe qui fait circuler le liant chaud avec retour vers la citerne. Cette pompe, en général du type doseuse volumétrique, équipe pratiquement toutes les répandeuses modernes.

Les répandeuses modernes sont équipées d'un dispositif électronique qui permet un pilotage instantané du dosage et de l'asservissement du débit d'épandage à la vitesse du véhicule (mesurée par un radar), donnant donc la possibilité de maîtriser tous les paramètres d'épandage dans toute la gamme d'utilisation requise (par exemple, dosage constant et déterminé de liant).

Les bonnes performances d'une répandeuse résultent donc de la bonne conception de cet ensemble rampe-becs-pompe ainsi que du savoir-faire de l'opérateur de la machine qui sait prendre en considération et ajuster une série de facteurs: vitesse du véhicule, régime de la pompe, largeur utile de la rampe (ou nombre de becs), hauteur de la rampe au-dessus du sol, température du liant.

La plupart des répandeuses peuvent convenir pour tous les types de liant et pour les taux usuels des divers types d'application pourvu qu'elles soient munies de l'équipement adéquat (pompe et gicleurs).



Figure 1.17 – Pompe doseuse

Plusieurs fabricants proposent le calibrage du système de dosage sur banc d'essai.

1.4 Finisseurs

1.4.1 Description

Un finisseur (ou *finisher*) est un engin autotracteur sophistiqué servant à assurer l'épandage et le précompactage homogène de l'enrobé bitumineux de manière à ce que la couche posée ait une stabilité suffisante pour que les compacteurs puissent entreprendre le compactage définitif.

Le finisseur permet de mettre l'enrobé sous profil et d'assurer un uni et une texture superficielle homogène de la couche d'enrobé.



Figure 1.18 – Finisseur

Les finisseurs se composent principalement de deux parties:

1. une partie «tracteur» qui assure l'avancement du finisseur et qui produit l'énergie nécessaire au fonctionnement de tous les composants de la machine. Sur cette partie, on trouve la cabine de commande, la trémie (voir § 1.4.2.2), les chaînes de convoyage pour l'enrobé (voir § 1.4.2.3) et les vis de répartition (voir § 1.4.2.4);
2. une table de finisseur qui est tirée par la partie tracteur. Cette table est l'élément principal de la machine, vu que c'est elle qui détermine la bonne épaisseur ou le bon niveau de pose, de profilage et de (pré)compactage de l'enrobé.

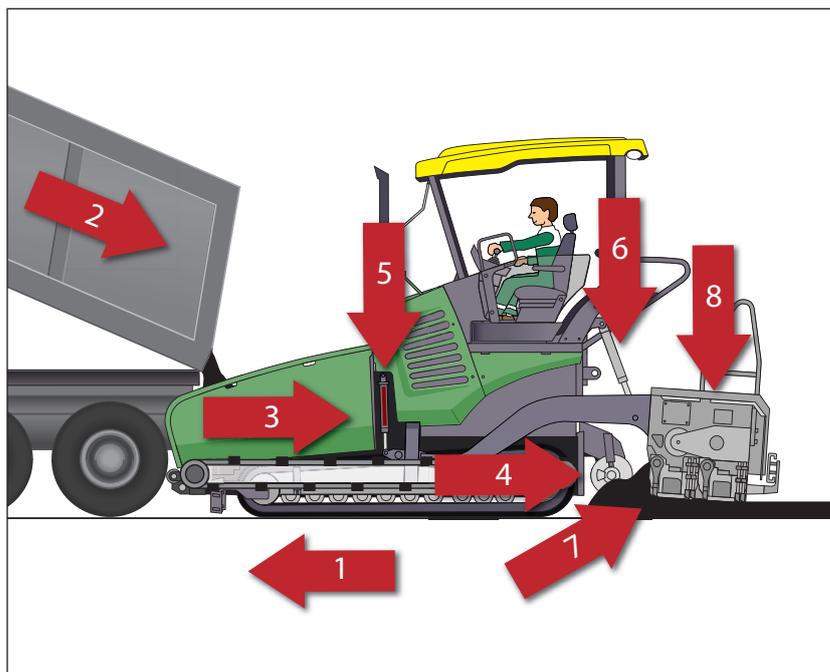


Figure 1.19 –
Schéma de principe d'un finisseur

1. Entraînement de la machine
2. Transfert d'enrobé du véhicule de transport dans la trémie du finisseur
3. Convoiement de l'enrobé à travers l'intérieur de la machine jusqu'à la table
4. Répartition de l'enrobé sur la largeur de pose de la table via les vis de répartition
5. Vérin de nivellement: réglage en hauteur de la table de finisseur pour ajuster l'épaisseur de pose
6. Vérin de levage et d'abaissement: soulagement de la table et blocage de la table
7. Chauffage pour chauffer les tôles lisseuses sur le dessous de la table, ainsi que le dameur et les lames de pression
8. Table de finisseur avec dispositifs de précompactage

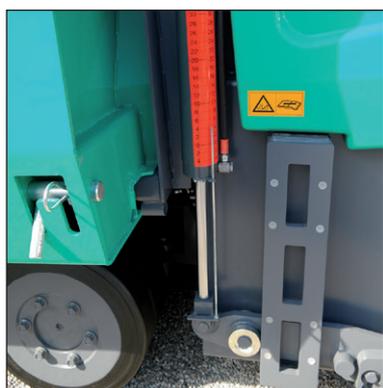


Figure 1.20 – Fixation du bras de traction et du vérin de nivellement



Figure 1.21 – Vérins de levage et d'abaissement

Le tracteur et la table de finisseur sont reliés entre eux par un bras de traction. Ce bras est fixé au tracteur par un système de vérins de nivellement qui permettent de régler la hauteur de son point de fixation et de changer l'angle d'attaque de la table (figure 1.19, partie 5). Cela permet de régler l'épaisseur de la couche d'enrobé à poser tel qu'exposé plus loin.

Outre les vérins de nivellement, des vérins de levage et d'abaissement sont aussi prévus. Ils permettent de lever la table lors du déplacement de la machine et offrent certaines possibilités de contrôle à l'aide des fonctions d'allègement et de blocage de la table (figure 1.19, partie 6).

Les vérins de nivellement et de levage et d'abaissement jouent un rôle important dans la mise en œuvre correcte de l'enrobé.

1.4.2 Partie tracteur et ses éléments

1.4.2.1 Description

La partie tracteur assure la progression de la machine et fournit l'énergie mécanique, électrique et hydraulique aux autres éléments qui la composent. Elle comprend le cadre de la machine, la transmission, la cabine de commande et le poste de conduite qui se compose de chenilles ou de pneus.

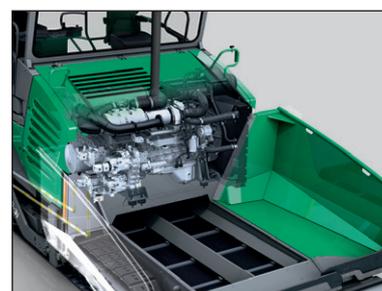


Figure 1.22 – Moteur du tracteur

La puissance motrice et la masse du finisseur sont deux éléments majeurs pour le choix du (ou des) finisseur(s) pour un chantier déterminé:

- la puissance motrice doit permettre à la machine de pousser un camion en pleine charge qu'elle approvisionne, même en côte;
- la masse du finisseur parce qu'elle joue un rôle dans la stabilité du matériel et sa pression au sol.

1.4.2.1.1 Tracteur sur chenilles

Les finisseurs sur chenilles sont les plus utilisés. Par rapport aux roues, les chenilles ont l'avantage d'avoir une plus grande surface de contact au sol. Ce type d'engin présente des avantages non négligeables:

- meilleure traction sur tous les types de support;
- plus facile de maintenir une vitesse constante lors de la mise en œuvre de l'enrobé;
- l'engin est très stable et on obtiendra donc une meilleure planéité de la couche appliquée;
- la grande stabilité diminue la sensibilité du tracteur aux fausses manœuvres et aux coups de frein des camions;
- il peut être utilisé sur des supports de relativement faible portance.

Les finisseurs sur chenilles sont donc particulièrement adaptés pour travailler sur de grandes largeurs (supérieures à 6 m).

Les plaques de chenilles sont recouvertes de gomme pour éviter l'endommagement du support sur lequel est posé la couche d'enrobé bitumineux.



Figure 1.23 –
Détail des chenilles du finisseur

1.4.2.1.2 Tracteur sur pneus

Les finisseurs sur pneus en caoutchouc sont surtout utilisés pour leur meilleure manœuvrabilité et leur vitesse de déplacement plus élevée (jusqu'à 20 km/h). Ils présentent l'avantage de ne pas devoir être chargés sur un semi-remorque lorsque le site d'intervention suivant se trouve à proximité du chantier actuel.

Ces machines sont cependant moins adaptées pour travailler sur de grandes largeurs à cause du risque de patinage des roues au moment du contact avec les camions et à cause du risque plus grand d'oscillation des extrémités de la table (et donc d'irrégularités dans la surface du revêtement) suite à la déformation des pneus.



Figure 1.24 – Finisseur sur pneus

1.4.2.2 Trémie

L'enrobé à traiter est déversé dans la trémie de la machine. Le camion qui transporte l'enrobé recule jusqu'à la machine et bascule le produit dans la trémie. Les convoyeurs acheminent alors l'enrobé vers les vis de répartition. La trémie dispose de panneaux latéraux et probablement aussi d'un panneau à l'avant pouvant basculer vers l'intérieur pour faciliter le nettoyage et la séparation de l'enrobé ou empêcher une accumulation d'enrobé refroidi, durci.



Figure 1.25 – Trémie

1.4.2.3 Chaînes de convoyage



Figure 1.26 – Convoyeur d'enrobé

Après déversement de l'enrobé dans la trémie, l'enrobé est transporté dans un tunnel traversant la partie tracteur du finisseur vers l'arrière de la machine à l'aide de deux larges convoyeurs à barrettes aussi appelés chaînes de convoyage. Ces deux convoyeurs fonctionnent indépendamment l'un de l'autre et montent légèrement. La légère montée permet une plus grande hauteur de déversement devant la table flottante et donc des épaisseurs de pose plus importantes.

La vitesse des convoyeurs est réglée en fonction du niveau de l'enrobé bitumineux à leur extrémité.

Le sens de rotation des convoyeurs peut être inversé pour faire revenir le matériau dans la trémie et éviter de perdre de l'enrobé en roulant.

1.4.2.4 Vis de répartition

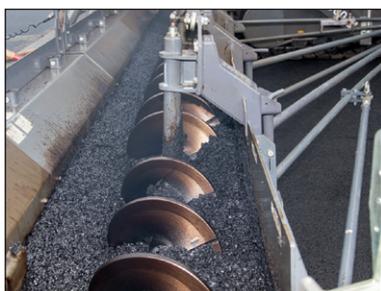


Figure 1.27 – Vis de répartition

A la fin des convoyeurs, l'enrobé est déversé dans la chambre de répartition (couloir de vis) située entre l'ensemble tracteur et la table de finisseur.

Deux vis de répartition rotatives (une pour chaque moitié de la largeur du finisseur) sont situées dans ce couloir de répartition. Elles sont mues séparément.

Ces deux vis répartissent le matériau uniformément devant la table de finisseur, ce qui permettra par la suite d'obtenir un compactage uniforme de l'enrobé. Pour adapter au mieux la largeur de l'alimentation à la largeur de travail, chaque vis de répartition peut être allongée.

L'apport en enrobé bitumineux devant la table est proportionnel à la vitesse de rotation de la vis. Cet apport est contrôlé par des capteurs qui mesurent la quantité de mélange devant la table. De cette manière, l'acheminement du mélange dans les virages ou dans le cas d'épaisseurs de couche différentes peut être adapté de manière optimale. Dans des cas extrêmes, le sens de rotation de la vis peut être inversé, ce qui signifie que le mélange est alors ramené de l'extérieur vers l'intérieur.

Le débit d'alimentation est de la plus grande importance pour le choix du type de finisseur nécessaire pour la mise en œuvre de la quantité d'enrobé fabriquée.

1.4.2.5 Système de ventilation

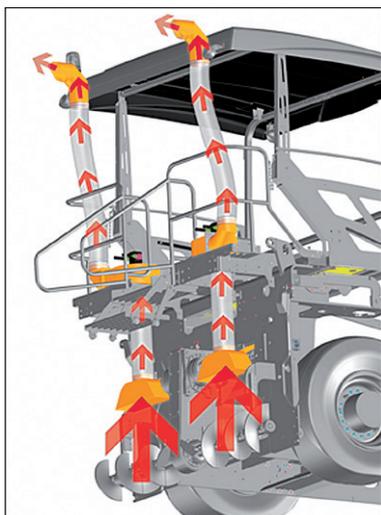


Figure 1.28 – Schéma d'un système de ventilation

Pour répondre au souci croissant pour la santé et le confort des opérateurs des finisseurs, de nombreux fabricants proposent en option un système de ventilation qui aspire les vapeurs de bitume du passage des chaînes de convoyage et de la vis de répartition. Ce système abaisse la concentration des vapeurs de bitume dans l'air respiré par les travailleurs.

1.4.2.6 Systèmes de mesure et d'enregistrement

Il est possible de faire installer des systèmes d'enregistrement sur les machines qui enregistrent pendant la pose les principaux paramètres. Il s'agit ici par exemple de:

- la température du matériau dans la trémie au moyen d'un capteur infrarouge;
- la température du matériau au-dessus des vis de répartition au moyen d'un capteur infrarouge;
- la température de la couche d'enrobé derrière la table de finisseur au moyen d'un scanner infrarouge sur toute la largeur;
- les données de la station météo (température ambiante, vitesse du vent, humidité de l'air, pression atmosphérique, etc.);
- la position GPS;
- la vitesse d'avancement de l'engin;
- le nombre d'arrêts de l'engin pendant la pose.

1.4.2.7 Système d'accompagnement des camions lors de la livraison des enrobés dans la trémie du finisseur

Pour que le contact entre les camions et le finisseur lors de la livraison d'enrobés se fasse sans chocs, il est possible de monter des capteurs sur ce dernier qui mesurent en continu la distance entre le finisseur et le camion. L'information recueillie est automatiquement transmise au conducteur du camion par l'intermédiaire de feux colorés et permet à ce dernier de manœuvrer en connaissance de cause.

1.4.3 Table de finisseur

1.4.3.1 Description

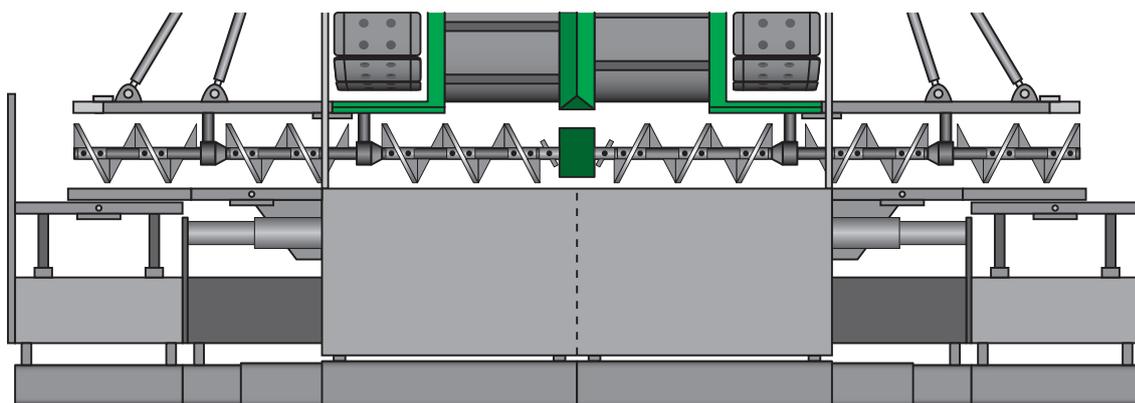


Figure 1.29 – Vue schématique d'une table de finisseur

C'est dans cette partie du finisseur qu'ont lieu le précompactage et la finition de la couche d'enrobé.

La table de finisseur remplit les fonctions suivantes:

1. elle confère à l'enrobé bitumineux le bon profil;
2. elle lui donne un premier compactage;
3. elle le lisse sur base des paramètres définis: épaisseur, uni, pente transversale et profil transversal.

La commande de cette partie de la machine est déterminante pour la qualité finale du travail fourni.

La table de finisseur se compose de divers éléments:



Figure 1.30 – Table de finisseur

- un châssis;
- deux bras de traction reliés à la partie «tracteur» par deux points d'attache (deux vérins hydrauliques) verticaux au droit de ces points;
- des prédéfecteurs et tôles limitatrices du couloir de répartition (couloir de vis);
- un mécanisme de compactage;
- une table vibrante.

La largeur de travail par défaut se situe souvent entre 2,50 et 3 m, mais peut être adaptée. Les possibilités pour ce faire et le fonctionnement sont expliqués au § 1.4.3.5.

1.4.3.2 Tôles limitatrices, prédéfecteurs et portes latérales



Figure 1.31 – Tôles limitatrices (à gauche de la vis de répartition) et prédéfecteur (à droite)



Figure 1.32 – Portes latérales

Les tôles limitatrices et les prédéfecteurs sont amenés devant la vis de répartition et créent un «tunnel» dans lequel l'enrobé est déplacé sans qu'il puisse se répandre trop loin devant la table. De cette manière, le mélange et un refroidissement trop rapide du matériau bitumineux sont évités. Les tôles limitatrices ont aussi un effet positif sur l'approvisionnement en enrobé aux extrémités de la table. Elles doivent se terminer (tout comme les vis de répartition) à environ 20 cm des portes latérales.

Les prédéfecteurs assurent un apport correct de l'enrobé bitumineux avant qu'il n'arrive sous la partie vibrante de la table. Il est très important de régler et d'utiliser ce dispositif correctement.

Les portes latérales sont fixées à la table de manière flottante et sont réglables en hauteur. Elles ont pour vocation de contribuer l'enrobé précompacté sur le bord afin de limiter la perte de compactage en bord de bande. Elles permettent également de réaliser un bord vertical ou un joint.

1.4.3.3 Mécanisme de précompactage

Le système de précompactage installé dans la table précompacte la couche d'enrobé et assure un fini parfaitement lisse de celle-ci. Il est composé:

- d'une table vibrante qui glisse sur l'enrobé bitumineux;
- d'un mécanisme de vibration («V» dans la figure 1.33);
- de dameurs («T» dans la figure 1.33);

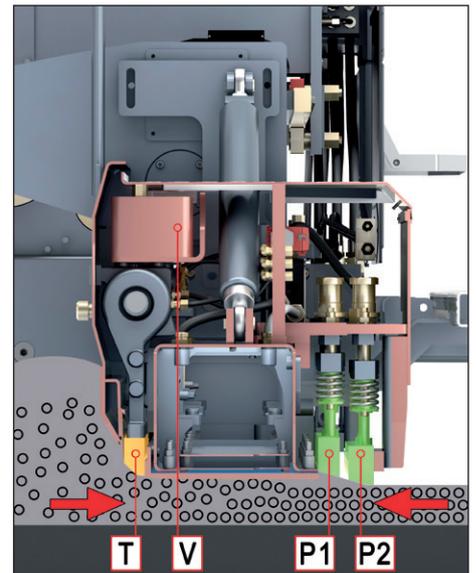


Figure 1.33 – Vue schématique d'une table à haut pouvoir de compactage

- uniquement pour des tables à haut pouvoir de compactage: une ou plusieurs lames de pression («P1» & «P2» dans la figure 1.33).

Plusieurs systèmes existent suivant le niveau de sophistication et les performances attendues de la machine. Certains ensembles ne possèdent qu'une table avec un mécanisme vibrant simple. D'autres combinent un ou plusieurs dameurs et lames de pression en supplément de la table.

Ces éléments peuvent tous être réglés séparément pour faire correspondre exactement le pouvoir compactant de la table de finisseur aux propriétés du mélange bitumineux à mettre en œuvre et à l'épaisseur voulue.

La figure 1.34 illustre quelques systèmes.

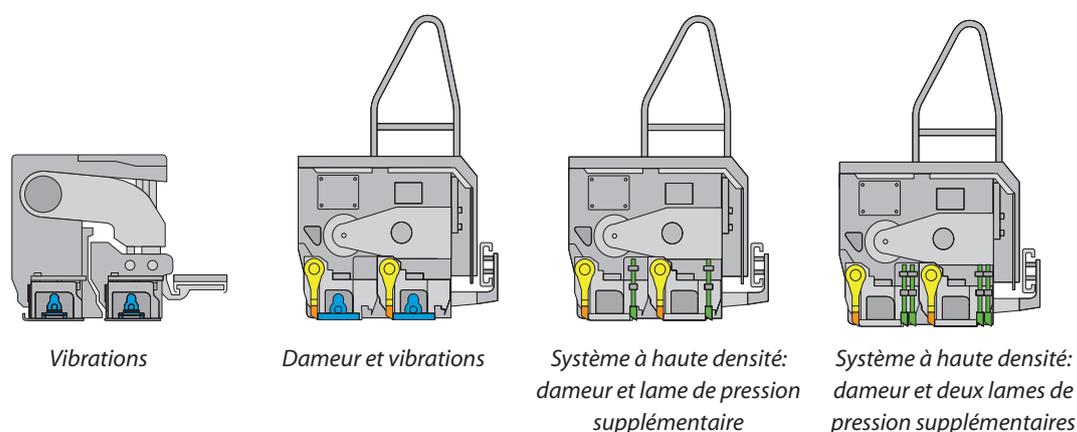


Figure 1.34 – Types de système de compactage

Les dameurs vibrants sont entraînés dans un mouvement vertical par un arbre à excentrique. La vibration de la tôle lisseuse est produite par un arbre à balourd agissant perpendiculairement au sens de l'avancement.

Les systèmes combinant des lames de pression et des vibrations peuvent appliquer une énergie de compactage supérieure à celle des systèmes standard. Un tel système est appelé une «table à haut pouvoir de compactage» et présente les avantages suivants:

- un nombre de passes réduit des compacteurs doit être réalisé derrière le finisseur (d'où éventuellement nécessité d'un nombre de compacteurs moindre);
- le risque d'avoir des irrégularités causées par le compactage différent, par exemple suite à des épaisseurs de matériaux variables, est restreint;
- le risque de pourcentage de vides trop important est diminué.

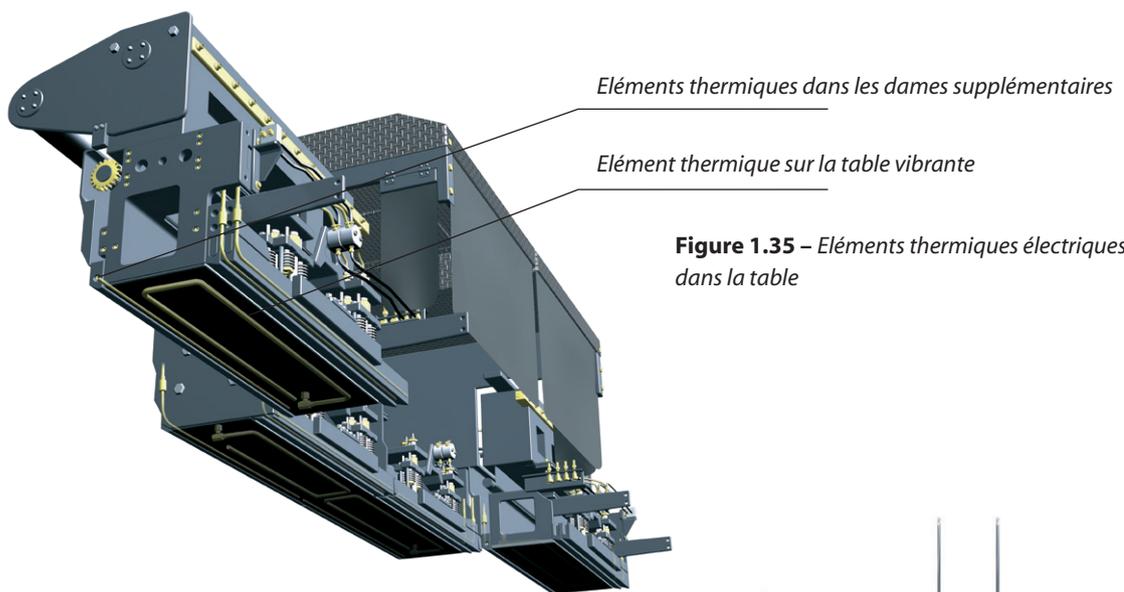
Ce type de table de finisseur est également utilisé sur des chantiers où on choisit une mise en œuvre bicouche. Dans ce cadre, deux couches successives sont posées l'une après l'autre («chaud sur chaud») par deux finisseurs qui se suivent de près. L'utilisation de ce type de finisseur est alors nécessaire parce qu'aucun compacteur ne peut rouler entre les deux machines. La première couche mise en œuvre est alors compactée uniquement avec la table à haut pouvoir de compactage.

1.4.3.4 Chauffage de la table de finisseur

Avant de commencer à placer l'enrobé, il faut que tous les éléments de la table qui entreront en contact avec l'enrobé chaud soient chauffés à environ 90 °C. Dans ce but, des systèmes de chauffe y sont intégrés. Le chauffage peut se faire avec des brûleurs à gaz intégrés mais on utilise de plus en plus souvent un générateur et des éléments de chauffage électriques.

Pour une utilisation plus efficace de la chaleur, la table doit être protégée des grandes déperditions de chaleur. Pour ce faire, on déposera de préférence la table sur de l'enrobé chaud.

Si la table n'est pas chauffée suffisamment, il se peut que l'enrobé reste collé au dameur vibrant, à la table vibrante ou aux lames de pression. Il est alors localement arraché. Ceci peut entraîner la formation de stries et la disparition incontrôlée de particules fines du matériau, ce qui donne une structure de surface irrégulière.



1.4.3.5 Largeur de la table de finisseur

Il existe deux systèmes pour augmenter la largeur de la table:

- à l'aide de rallonges de table télescopiques, commandées hydrauliquement et permettant d'atteindre des largeurs jusqu'à 6 m;
- à l'aide de rallonges «fixes» et boulonnables, pour obtenir des largeurs encore plus grandes, jusqu'à 7 m et plus.

Ces systèmes peuvent être combinés au choix de l'utilisateur comme l'illustrent les schémas suivants.

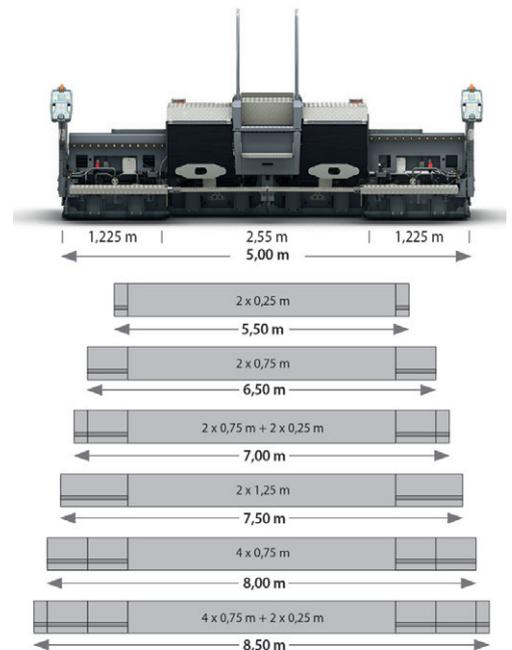


Figure 1.36 – *Exemple de possibilités d'extension d'une table*

1.4.3.5.1 Rallonges télescopiques hydrauliques

Quand on pose en largeur variable, l'utilisation de machines avec rallonges télescopiques est très pratique et réduit le temps de travail ainsi que le travail manuel. L'ajout d'éléments de vis de répartition complémentaires n'est cependant pas pratique et rendrait impossible la variabilité en largeur. Bien que la pose mécanique d'enrobés bitumineux dans ces circonstances ne soit pas idéale, cette méthode est quand même préférable à la méthode manuelle.

Les largeurs de travail varient à l'aide d'un système hydraulique en fonction des dimensions de la machine:

- pour les petites machines, la largeur varie de 1,2 à 2,4 m;
- les machines de dimensions moyennes ont des tables télescopiques capables de faire varier la largeur de travail entre 1,7 et 3,4 m;
- les engins plus grands utilisent des tables de 2,5 à 3 m qui peuvent s'élargir respectivement à 5 m et 6 m.

La largeur de travail de toutes les tables peut en plus être augmentée par l'apport de rallonges boulonnées. Celles-ci sont ajoutées de façon symétrique. Elles existent dans des largeurs de, par exemple, 0,25 m, 0,5 m, 0,75 m et 1,25 m. Les divers éléments peuvent être combinés de plusieurs façons comme illustré par la figure 1.36. Ainsi, il est possible de réaliser des largeurs de travail jusqu'à 9,5 m à partir de tables de 3 m à 6 m. Cette méthode avec des rallonges télescopiques est cependant à déconseiller pour des largeurs de plus de 7,5 m. Dans ce cas, on préférera d'utiliser des tables fixes ou, encore mieux, une deuxième machine.



Figure 1.37 – Bras hydraulique extensible

1.4.3.5.2 Tables fixes

Ce type de table est utilisé lorsqu'il est possible de travailler sur une largeur constante et quand de grandes largeurs sont nécessaires. Elles existent en deux versions selon la largeur de base: 2,5 m et 3 m.

Dans le cas d'une table fixe, le déflecteur de la table forme une seule ligne sur toute la largeur de pose et les variations de l'angle d'inclinaison ne laissent pas de traces dans le revêtement.

L'apport d'éléments d'extension permet d'atteindre de plus grandes largeurs de travail.

1.4.3.5.3 Petites largeurs de travail

Il existe des finisseurs avec des largeurs de travail plus petites permettant la pose de couches d'enrobé sur des routes étroites, des pistes cyclables et des élargissements de routes. Leur base de travail varie entre 1,2 et 1,8 m. Avec extensions, ils peuvent atteindre des largeurs jusqu'à 5 m, mais celles-ci doivent cependant être considérées comme des exceptions car elles comportent des limites au niveau du rendement et de la qualité.

En utilisant des éléments de réduction, il est également possible de poser l'enrobé bitumineux sur des largeurs encore plus petites. Il ne faut cependant pas perdre de vue la largeur du châssis de la machine et de la table. Il sera en effet impossible de poser des sous-couches en aussi petite largeur dans des tranchées étroites.



Figure 1.38 – Petit finisseur

1.4.3.5.4 Très grandes largeurs de travail



Figure 1.39 – Tirants horizontaux lors du travail en grande largeur

Pour de très grandes largeurs de travail, jusqu'à 16 m, on utilise une table fixe avec des extensions boulonnables pour la table de finisseur.

La table doit cependant être rigidifiée par la mise en place de tirants dans le plan vertical et dans le plan horizontal. Pour que les rallonges ne se tordent pas vers l'arrière sous l'action de la réserve d'enrobé, les tirants horizontaux devront être montés sans tension sur la face arrière de la table.

Il est clair que la table doit être élargie autant que possible de manière symétrique quand on travaille sur de grandes largeurs pour éviter que des forces différentes ne s'exercent à gauche et à droite de la table.



Figure 1.40 – Extensions boulonnées combinées avec des télescopiques

Afin de compenser les forces de poussée verticale sur les extrémités de la table, celle-ci devra présenter un fléchissement en position soulevée.

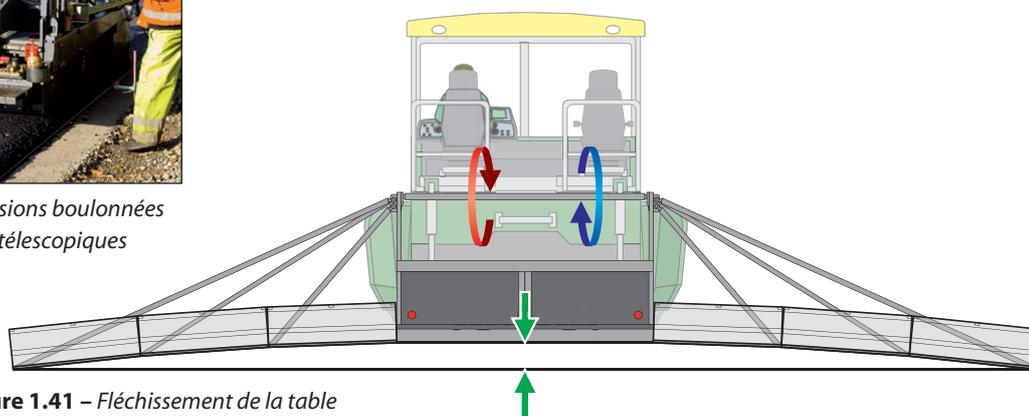


Figure 1.41 – Fléchissement de la table

Posée sur le support, le bord arrière de la table forme un alignement.

Afin de pouvoir offrir ici aussi une certaine flexibilité de mise en œuvre, les rallonges de tables boulonnées peuvent également être équipées à leurs extrémités de rallonges télescopiques hydrauliques réglables en largeur.

1.4.3.5.5 Montage des rallonges de la table

Lors du montage des rallonges, il convient de veiller à ce que le bord inférieur des tôles d'usure forme un raccord bien aligné avec les pièces voisines. Si ce n'est pas le cas, il peut y avoir un décalage en hauteur dans la surface ou un changement de l'angle d'inclinaison, ce qui peut avoir des effets négatifs sur le précompactage, la structure de surface ou le comportement de flottaison pendant la pose. Des fissures de cisaillement peuvent également être causées à moyen terme par ce montage non conforme.

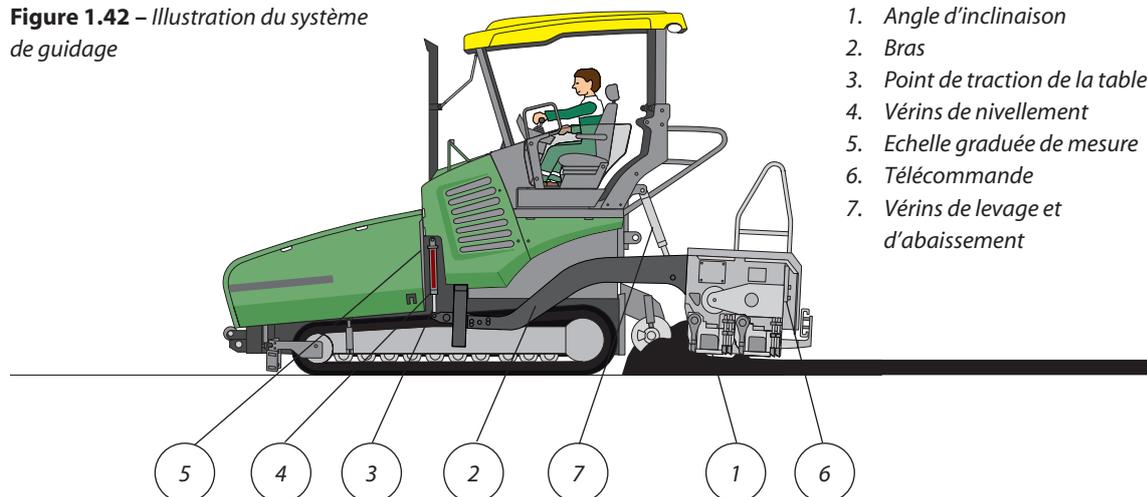
Dans le cas des rallonges télescopiques, il faut bien prêter attention à ce que la partie inférieure de la rallonge se trouve dans le prolongement de la partie inférieure de la table principale pour l'épaisseur choisie.

On fera en sorte que les dameurs et les accessoires vibrants des rallonges télescopiques et boulonnées soient réglés identiquement à ceux de la table fixe.

1.4.4 Guidage de la table

Les bras de la table de finisseur servent à porter la table mais également de levier pour transformer un repositionnement vertical des deux vérins de nivellement en une modification de l'angle d'inclinaison de la table. Ils permettent également d'égaliser des irrégularités du support.

Figure 1.42 – Illustration du système de guidage



1. Angle d'inclinaison
2. Bras
3. Point de traction de la table
4. Vérins de nivellement
5. Echelle graduée de mesure
6. Télécommande
7. Vérins de levage et d'abaissement

Pour le répandage d'une couche de chaussée, trois modes de pilotage peuvent être adoptés à l'aide des vérins :

1. Mode autonivelant («avec table flottante»)

Les deux bras latéraux tirent la table mais ne la supportent pas. La table est de ce fait portée par la couche d'enrobé qu'elle pose. L'épaisseur de cette couche est déterminée par les paramètres de la machine et des paramètres externes : position des vérins de nivellement, vitesse d'avancement de la machine, hauteur du matériau dans la chambre de répartition, fréquence des dameurs, amplitude des dameurs, fréquence des éléments vibrants, type et température de l'enrobé, différence de niveau dans la surface de travail, etc.

A ce stade, lors de certaines manipulations, la machine se met parfois entre les deux, par exemple pour bloquer la table de finisseur à l'arrêt (voir § 3.2.8.2.4).

2. Mode manuel

Dans certains cas, il peut être nécessaire d'intervenir manuellement. L'opérateur doit alors régler lui-même l'épaisseur en changeant l'angle d'inclinaison de la table, en réglant la hauteur des points de traction à l'aide des vérins de nivellement. Les vérins peuvent être commandés de façon individuelle par l'opérateur de table à l'aide d'une télécommande prévue à cet effet.

3. Mode automatique

La hauteur des points d'attache est asservie à un système de guidage autonome. Pour ce mode de commande automatique, les constructeurs ont mis au point des systèmes de nivellement autonomes très évolués qui permettent de maintenir la position de la table indépendamment de l'état du support.



Figure 1.43 – Console de commande pour l'opérateur

On distingue deux systèmes: les palpeurs de niveau qui contrôlent la planéité longitudinale du revêtement et les indicateurs de pente qui contrôlent le profil transversal.

1.4.4.1 Commande autonivelante («avec table flottante»)

1.4.4.1.1 Principe

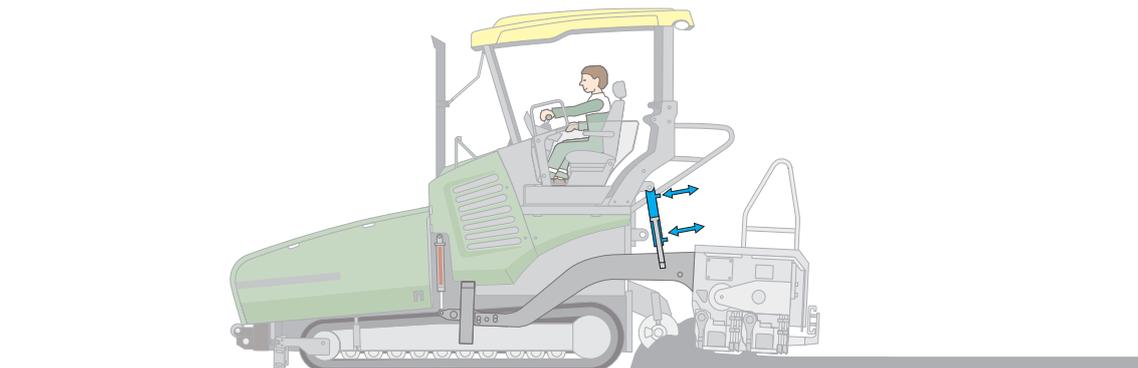


Figure 1.44 – Table en position flottante

En mode «table flottante», les deux bras latéraux tirent la table mais ne la supportent pas. Ces bras sont attachés de part et d'autre du finisseur plus ou moins en son milieu, car c'est là que les mouvements verticaux du tracteur se font le moins sentir.

Les soupapes des pistons et de la tige qui commandent les deux vérins sont ouverts. Les vérins peuvent donc entrer et sortir sans éprouver de résistance et le lien entre la table et le châssis ne fait office que de charnière. La table est de ce fait portée par la couche d'enrobé qu'elle pose et ne peut être influencée que par une modification de son angle d'inclinaison. Elle est alors dite «flottante» car sa hauteur de nivellement par rapport au sol varie librement en fonction des fluctuations dues aux mouvements du finisseur. Il s'agit du même principe physique que celui utilisé pour le ski nautique: plus le bateau a de la vitesse, plus le skieur peut sortir de l'eau.

Les forces qui agissent sur elle et la conduisent à une position d'équilibre sont:

- le poids propre de la table;
- la réaction du matériau sous la table;
- la force de traction permettant le déplacement vers l'avant.

Lorsqu'elle a trouvé sa position d'équilibre, à vitesse et quantité de matériau devant elle constantes, la somme des forces verticales appliquées à la table est nulle et l'épaisseur de la couche posée ne varie pas. Toute modification des forces en jeu se répercute cependant directement sur cette épaisseur.

Ce principe dit de «la table flottante» en association avec la stabilité d'un tracteur sur chenille exerce un effet autonivelant pour les petites inégalités du support, et cela sans l'utilisation d'un quelconque dispositif complémentaire de guidage. Il est cependant à noter que, bien que le guidage avec table flottante soit en état de niveler des irrégularités de petite taille en les répandant sur une plus grande surface, cette méthode ne permet pas à elle seule une exécution parfaite.

1.4.4.1.2 Irrégularités de courte longueur d'onde

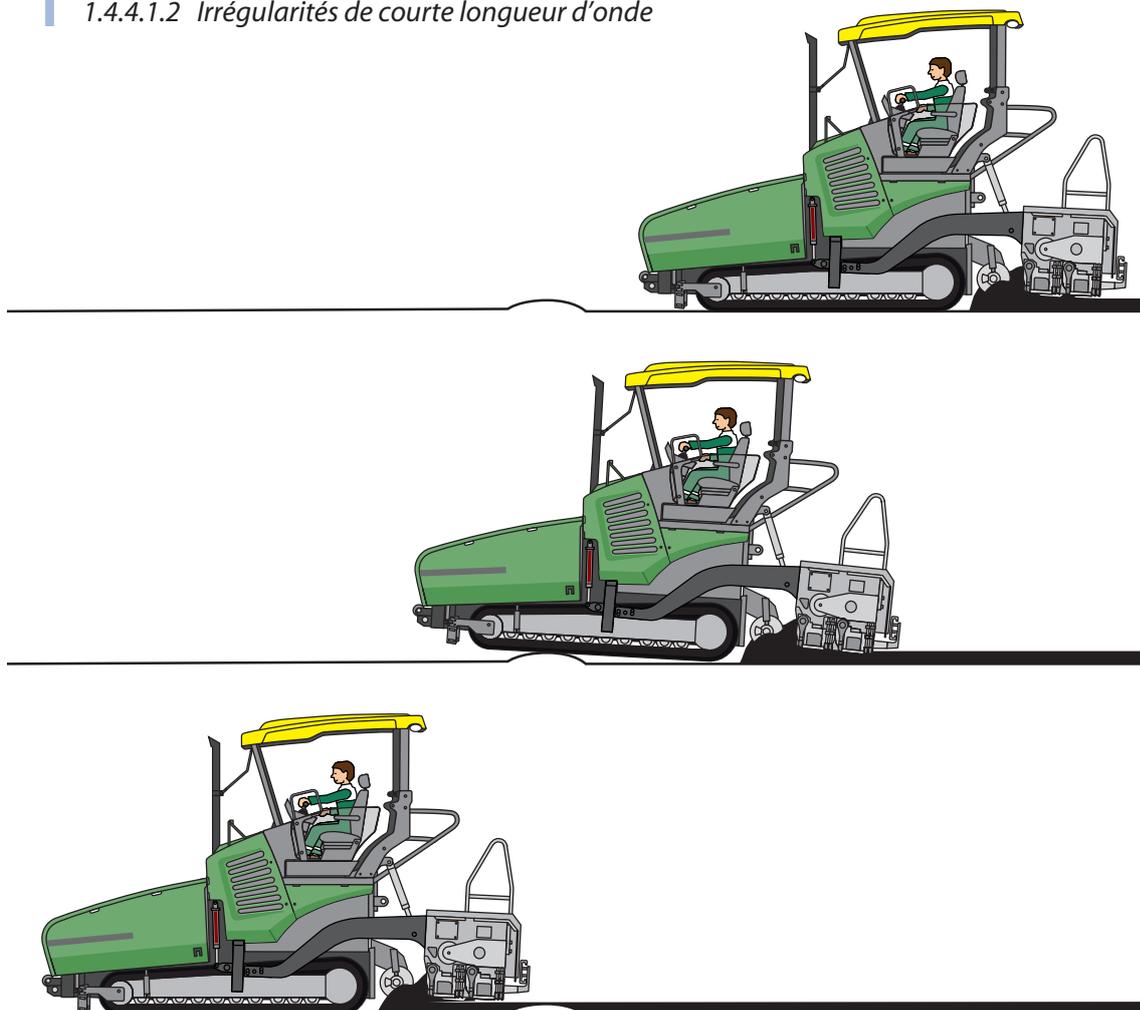


Figure 1.45 – Influence d'une irrégularité sur une table flottante

Lorsque le finisseur passe sur une irrégularité courte (par exemple un bourellet de 20 cm de large et de 2 cm de haut dans le support), le point d'attache des bras de traction est déplacé sans intervention humaine ou électronique vers le haut, ce qui modifie automatiquement l'épaisseur de pose. Selon l'amplitude de l'angle d'inclinaison, une quantité d'enrobé plus ou moins importante est admise sous la table flottante, ajustant ainsi l'épaisseur de pose de longues parties et procurant une surface harmonieuse.

Le finisseur absorbe donc les irrégularités du support sans nécessiter d'actions sur le réglage lorsque les irrégularités sont de courte longueur d'onde. La réaction de la table par rapport à ces irrégularités dépend:

- de la vitesse d'épandage;
- de la hauteur du réglage du point de traction;
- des propriétés de l'enrobé mis en œuvre (compactabilité, portance).

On peut exprimer la capacité de nivellement U de la table de finisseur en fonction d'un certain nombre de dimensions (a, b) du finisseur et de la hauteur H de la bosse:

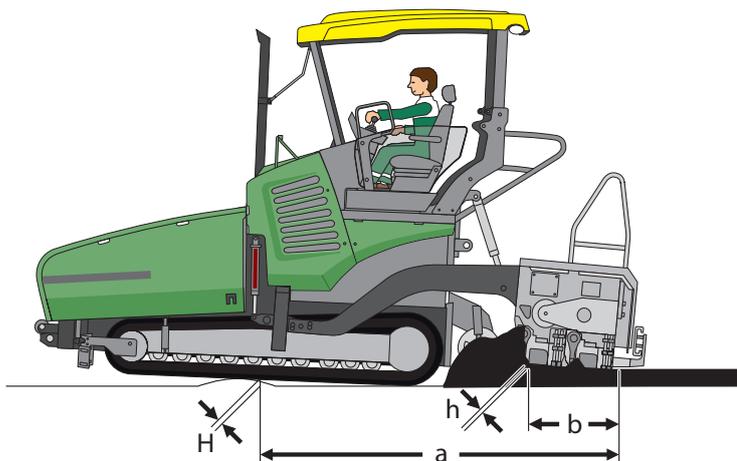


Figure 1.46 – Paramètres influant les irrégularités

$$U = H - h$$

Equation 1.1 – Capacité de nivellement U

où h = la hauteur de la dénivellation résultante

$$h = \frac{H \times a}{b}$$

Equation 1.2 – Hauteur de la dénivellation résultante

L'application de cette formule nous apprend que le rapport entre la hauteur de la bosse pré-existante et la hauteur de la dénivellation résultante est d'environ 5 : 1.

1.4.4.1.3 Irrégularités de grande longueur d'onde

Lorsque les irrégularités sont de plus grande longueur d'onde (par exemple répétition d'ondulations de 4 cm sur une longueur de 30 m), la «commande» de la table par les opérateurs ou un système de guidage automatique est indispensable car la réponse du finisseur est trop lente pour compenser les irrégularités de façon appropriée.

1.4.4.2 Systèmes de réglage de la hauteur automatiques

1.4.4.2.1 Principe de base

Les systèmes de réglage de la hauteur contrôlent la planéité longitudinale du revêtement posé. Il existe un très grande quantité de systèmes de réglage de la hauteur, qui selon leur principe de fonctionnement, peuvent être répartis en deux grandes catégories:

- les systèmes les plus simples prennent la surface de travail comme référence par contact direct ou utilisation des ondes sonores;
- les systèmes les plus sophistiqués utilisent la lumière laser ou un signal GPS pour déterminer la position du finisseur et l'envoyer.

Le principe est cependant chaque fois le même: tous les systèmes envoient des informations électriques aux bobines qui pilotent les vérins de nivellement du finisseur.

1.4.4.2.2 Systèmes qui prennent comme référence la surface de travail

Ces systèmes comprennent un moniteur de nivellement longitudinal, équipé d'un dispositif de guidage et d'un support fixé au bras de nivellement. Une référence fiable pour le guidage est nécessaire. Le point du bras rattaché au moniteur de nivellement est maintenu à la hauteur définie par celle-ci.

Quelques exemples de référence:

- soit une route (support, fondation, couche adjacente, etc.) ou une référence externe (bordure de trottoir, filet d'eau, etc.), qui peut être suivie des systèmes suivants:
 - système court: longueur d'auscultation inférieure à 1,2 m;
 - système à patin rigide dont la longueur est supérieure à 2,5 m;
 - système à table enjambeuse prenant appui simultanément à l'avant sur le support et à l'arrière sur la couche épandue;
- soit une référence spatiale au moyen de fils tendus, qui est alors suivie par des capteurs adaptés.

La figure 1.47 illustre le fonctionnement schématique de tels systèmes.

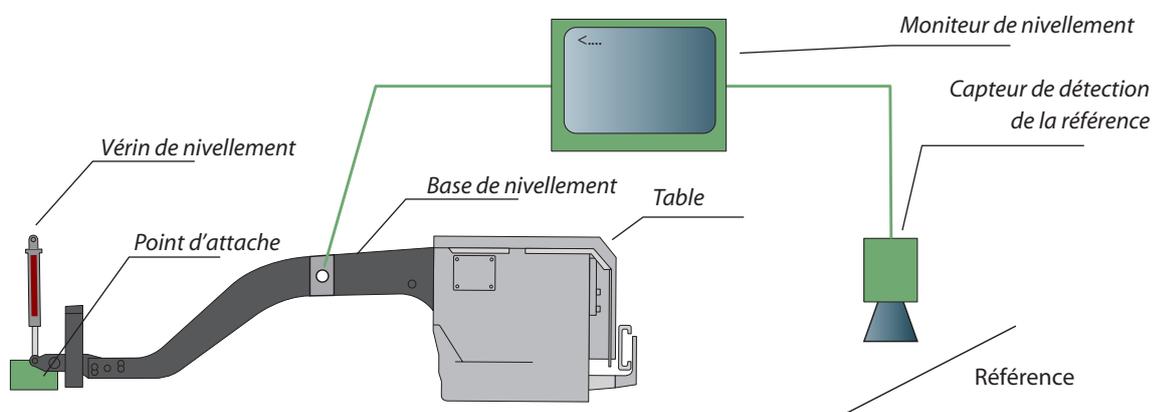


Figure 1.47 – Schéma de commande automatique

Il y a différents types de capteurs de nivellement:

- Patins courts (± 30 cm)

Les patins courts sont en contact avec le sol et donnent des informations concernant le support, et donc aussi les irrégularités éventuelles de petites fréquences. Ils sont utilisés:

- pour des voiries avec un faible rayon de courbure;
- si les références utilisées sont parfaitement planes, par exemple lorsque l'on pose une bande parallèle à une bande déjà posée;
- s'il est nécessaire de recopier intentionnellement des variations du plan de référence, par exemple pour la création d'un ralentisseur ou d'un plateau.

- Patins longs ($\pm 1,2$ m)

Les patins longs sont employés:

- quand les références utilisées présentent des variations de faible longueur d'onde;
- pour des rayons de courbure plus grands;
- dans des sections de route rectilignes.



Figure 1.48 – Patin court

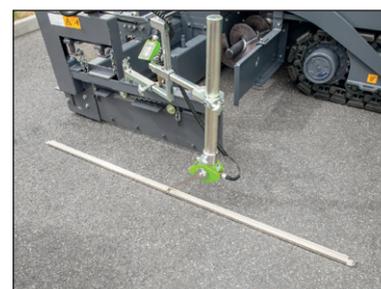


Figure 1.49 – Patin d'1 m avec senseur mécanique

Les deux types de patins (courts et longs) sont placés sur le même type de capteur mécanique, qui enregistre les différences de hauteur.

- **Capteur à ultrasons**

Les capteurs à ultrasons ne sont pas en contact avec le sol. Ils scannent la référence suivant le principe du sonar. Ils sont employés de manière similaire aux patins courts mais permettent une utilisation sans contact direct avec la référence, ce qui évite tout désagrément de collage, par exemple lors de la pose avec des finisseurs en parallèle.

Ils sont également tout à fait adaptés pour capter la référence d'un câble ou d'un ski.

- **Skis de 6 à 9 m, combinés à des capteurs à ultrasons**

D'une longueur de 6 à 9 m, ces skis en métal sont utilisés, en association avec des capteurs à ultrasons, quand les surfaces de référence ne sont pas parfaitement uniformes. En faisant la moyenne des creux et des bosses du support de référence, ils en compensent les irrégularités. Plus leur longueur est élevée, plus grande est la précision de la pose.

De par leur encombrement, ces systèmes sont à proscrire en cas de virage à faible rayon de courbure.

- **Skis intégrateurs (ou «tables enjambeuses»)**

D'une longueur pouvant varier de 12 à 18 m, et également utilisés en association avec un capteur à ultrasons, ces systèmes prennent simultanément leurs références à l'avant du finisseur (sur le support existant) et à l'arrière de celui-ci (sur le revêtement nouvellement posé).

La particularité de ces systèmes réside dans le fait que le profil en long du nouveau revêtement est modifié en fonction de deux références au lieu d'une seule pour les autres appareils.

Tout comme les skis, ces systèmes sont également à proscrire en cas de virage à faible rayon de courbure et donc réservés aux chantiers autoroutiers.

De nouveaux systèmes à faisceaux lasers, dont le principe de fonctionnement se base sur celui des skis intégrateurs, ont également été développés. Il faut cependant rester prudent, car tous ces systèmes optiques peuvent être facilement perturbés par le brouillard, la réverbération des rayons du soleil, etc.

1.4.4.2.3 *Systèmes lasers et GPS*

- **Systèmes plans lasers (2D)**

Ils ont été développés pour pouvoir contrôler le niveau de la table. Un rayon laser rotatif génère un plan (à une inclinaison transversale donnée bien précise) qui est capté par un récepteur spécifique monté sur le finisseur. Les informations de niveau reçues sont alors traitées par un calculateur et transmises à l'automate de nivellement du finisseur qui contrôle les mouvements de la table et les adapte en conséquence.



Figure 1.50 – Capteur à ultrasons



Figure 1.51 – Skis intégrateurs avec capteurs sans contact



Figure 1.52 – Station totale

Ce système est adapté pour les chantiers de grandes surfaces à inclinaison constante tels que pistes d'aérodrome, parkings extérieurs de grands magasins et terrains de sport.

- **Systèmes 3D**

Ce sont les systèmes les plus récents et les plus sophistiqués. Capables de capter les informations transmises par des stations totales et par GPS, ces dispositifs contrôlent la position du finisseur et communiquent les paramètres de pose à la table (positionnement, nivellement, largeur de pose, pente transversale, etc.).

Le personnel d'encadrement du finisseur ne sert qu'à contrôler la bonne exécution du travail, le système se chargeant de tout. Bien évidemment, ces dispositifs très coûteux sont réservés à des travaux d'envergure pour lesquels un tel investissement se justifie.

1.4.4.3 Pendules transversaux automatiques (indicateurs d'inclinaison)

Ces systèmes permettent à l'opérateur de la table de contrôler le dévers transversal de la couche posée. Il est ainsi possible de maintenir la pente transversale de la table à une inclinaison précise tout au long de la pose, ou bien de faire varier celle-ci de manière progressive lors de la réalisation d'un virage relevé. Les pendules transversaux sont généralement utilisés en combinaison avec un des systèmes de nivellement décrits au § 1.4.4.3 (à l'exception des systèmes 2D et 3D).

En effet, pour réaliser un profil de voirie harmonieux et continu, il est nécessaire qu'un des côtés de la table soit guidé par une référence longitudinale. L'autre côté de la table sera lui maintenu au niveau voulu par l'intermédiaire du contrôle d'inclinaison. Il est ainsi possible d'établir un profil continu dans un plan défini.

Il est recommandé d'utiliser ces pendules pour des largeurs de travail de maximum 5 m. Au-delà, il est préférable de se référer à des câbles de guidage placés de chaque côté de la machine.

1.5 Alimentateurs

En général, l'alimentation du finisseur se fait par le déversement des enrobés depuis les bennes des camions ravitailleurs directement dans la trémie de celui-ci. La répartition constante et continue de matériaux devant la table de finisseur est un des paramètres qui contribue à l'obtention d'un profil en long correct du revêtement. D'autres facteurs, eux aussi liés à l'approvisionnement des enrobés, influencent également les caractéristiques d'uni du revêtement: les arrêts et redémarrages successifs du finisseur par manque de matériaux ainsi que les chocs des camions d'approvisionnement contre les rouleaux pousseurs.

La manière classique d'approvisionnement d'un finisseur par camion-benne confronte donc inévitablement les équipes de pose aux risques évoqués ci-dessus. Il existe cependant une possibilité de limiter au maximum ces risques en utilisant des engins particuliers, appelés communément des alimentateurs.



Figure 1.53 – Alimentateur séparé

1.5.1 Utilité d'un alimentateur séparé



Figure 1.54 – Pose avec alimentateur inséré entre le finisseur et les camions l'alimentant

Si les conditions du chantier le permettent, cette étape de la pose de l'enrobé constituée par le chargement de la trémie du finisseur peut être grandement facilitée et optimisée en utilisant un alimentateur. L'utilisation de ces alimentateurs est de plus en plus imposée dans les cahiers des charges des dossiers autoroutiers.

Lors de la pose d'un enrobé hydrocarboné à chaud, l'utilisation d'un alimentateur génère des avantages indéniables:

- il apporte un plus pour l'obtention d'un uni longitudinal de qualité, gage d'un confort d'utilisation optimal pour les usagers. En effet, tous les chocs des camions contre le finisseur sont éliminés;
- de plus, la continuité de l'avancement est mieux garantie par l'important stock d'enrobé présent dans la trémie additionnelle. On réduit donc le nombre d'arrêts et de départs du finisseur;
- l'alimentateur agissant comme «régulateur», il réduit le temps d'attente des camions. Il est dès lors possible de diminuer la durée du cycle de transport des camions et, dans certaines conditions, même de réduire la quantité de camions;
- les deux avantages précédents font également que le rendement du chantier sera meilleur;
- uniformisation de température de la couche épandue favorisant ainsi un compactage uniforme;
- la texture de l'enrobé sera meilleure avec un alimentateur;
- protection supplémentaire de la couche de collage dans le cas de l'utilisation d'un alimentateur avec tapis convoyeur orientable permettant d'alimenter à partir de la voie adjacente.

L'utilisation d'un alimentateur présente donc de très nombreux avantages. Cependant, au vu de l'importante logistique, de l'encombrement et des coûts supplémentaires que requièrent ces systèmes, ils semblent réservés à des chantiers importants du type autoroutier ou similaire.

La vitesse d'avancement du finisseur et de l'alimentateur doit évidemment aussi être ajustée selon le taux de production et d'alimentation en enrobés de façon à éviter les arrêts de l'alimentateur et du finisseur.

1.5.2 Description et fonctionnement



Figure 1.55 – Trémie supplémentaire sur le finisseur

Un alimentateur est un engin automoteur équipé d'une trémie réceptrice frontale semblable à celle d'un finisseur et d'un tapis convoyeur à très haut débit permettant de transférer rapidement les matériaux du camion ravitailleur au finisseur sans déposer d'enrobés sur la chaussée. La capacité d'un alimentateur est généralement de 25 t.

Des capteurs ultrasoniques réglables ou des palpeurs mécaniques permettent de régler l'écart entre le finisseur et l'alimentateur ainsi que la vitesse de celui-ci. Ils veillent également à ce que la distance entre les deux machines soit optimale pendant la pose.

L'emploi d'un alimentateur est généralement couplé à l'utilisation d'une trémie supplémentaire de grande capacité (environ 20 t) placée directement dans la trémie réceptrice du finisseur, dans laquelle l'enrobé sera déversé par le tapis convoyeur.

Les capacités de transfert d'enrobés des tapis convoyeurs sont généralement largement dimensionnées (jusqu'à 2 200 t/h), ce qui rend l'alimentateur parfaitement adapté, voire même indispensable, lors de l'utilisation d'un finisseur travaillant en grande largeur.

1.5.3 Equipements supplémentaires

Il existe des alimentateurs avec des tapis convoyeurs orientables latéralement, ce qui permet le chargement d'un finisseur à partir d'une voie adjacente, ou l'alimentation alternative de deux finisseurs travaillant en parallèle.

Il est également possible d'équiper certains alimentateurs d'une trémie tampon interne de grande capacité (± 25 t) qui permet un malaxage de l'enrobé déversé par les camions avant son transfert vers le finisseur.

Un tel alimentateur garantit un apport constant d'enrobés vers le finisseur et permet d'éviter les arrêts – départs des machines durant l'exécution.



Figure 1.56 – Alimentation latérale par l'alimentateur

1.6 Compacteurs

Le précompactage au finisseur permet d'obtenir des degrés de compactage variant entre 80 et 95 %, le solde devant être atteint par un postcompactage par des compacteurs opérant derrière le finisseur.

Il existe plusieurs types de compacteurs qui ont chacun leurs spécificités et leur champ d'application. On les discerne en premier lieu selon le mode de compactage qu'ils utilisent. Il existe trois manières de compacter :

- par un effet de pétrissage de l'enrobé;
- par simple compression de l'enrobé grâce au poids de la machine;
- par vibrations qui facilitent le mouvement des pierres dans l'enrobé encore chaud.

Une seule machine peut combiner ces différents modes de compactage.

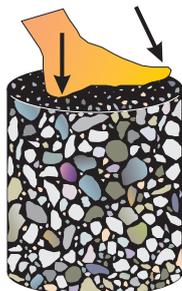


Figure 1.57 – Pétrissage



Figure 1.58 – Poids



Figure 1.59 – Vibrations

1.6.1 Compacteurs à pneus



Figure 1.60 – Compacteur à pneus

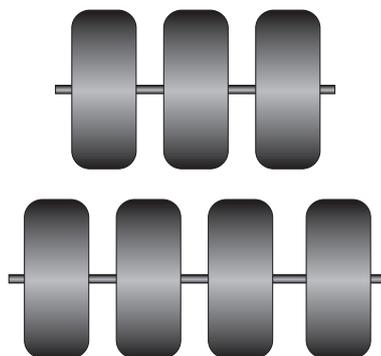


Figure 1.61 – Etalement des roues

Les compacteurs à pneus combinent deux modes de compactage. En effet, ils compactent l'enrobé grâce au poids mort de la machine et à l'effet de pétrissage des pneus.

Leur poids varie de 4 à 35 t. Ils possèdent sept à huit pneumatiques lisses selon les dimensions de la machine. Les roues du premier essieu sont décalées par rapport à celles du deuxième pour assurer un compactage plus homogène. Ce décalage sert également à la création de l'effet de pétrissage lors du compactage.

Les pneus avancent par deux à l'aide de deux moteurs hydrauliques, ce qui permet de faire progresser la paire de roues de gauche et celle de droite à des vitesses différentes dans les tournants.

Les roues sont suspendues à un essieu oscillant, ce qui permet de compacter également les petites profondeurs, par exemple dans le cas de profondeurs de construction irrégulières. L'action en profondeur augmente avec la charge d'essieu et la pression des pneus et diminue à mesure que la vitesse augmente. La pression de tous les pneus est égale, mais modifiable via un système automatisé. Idéalement, la pression est de 5 à 6 bars pour le compactage des enrobés bitumineux. La charge d'essieu peut également être adaptée en (dé)lestant la machine. Ceci permet d'adapter le compacteur aux circonstances de chantier: support, type d'enrobé, épaisseur, température, etc.

Les compacteurs à pneus sont principalement utilisés pour le pré-profilage, le compactage principal d'enrobés bitumineux à compactage léger, ainsi que pour la finition des couches de sol et de support. La vitesse maximale est de 20 km/h en déplacement. Les vitesses en mode de compactage sont comprises entre 4 et 6 km/h voire plus élevées pour les finitions.

Le compacteur à pneus n'est jamais utilisé tout seul mais toujours conjointement avec un compacteur à cylindres lisses.

1.6.2 Compacteurs à cylindres lisses

Il s'agit ici de machines qui compactent à l'aide de leur propre poids et/ou par différents types de vibration.

Pour tous les compacteurs à cylindres lisses, le paramètre le plus important est le rapport entre la charge linéaire statique (= poids par essieu, réparti sur la largeur de roulement) et le diamètre des cylindres. Le cylindrage avec un même poids mais différents diamètres résulte en du compactage différent.

Les cylindres de plus petit diamètre s'enfoncent et créent des ornières. En comparaison, des diamètres plus importants génèrent des forces de cisaillement horizontales plus réduites, ce qui permet d'obtenir un meilleur uni et de réduire le glissement de l'enrobé et les traces laissées par le cylindre.

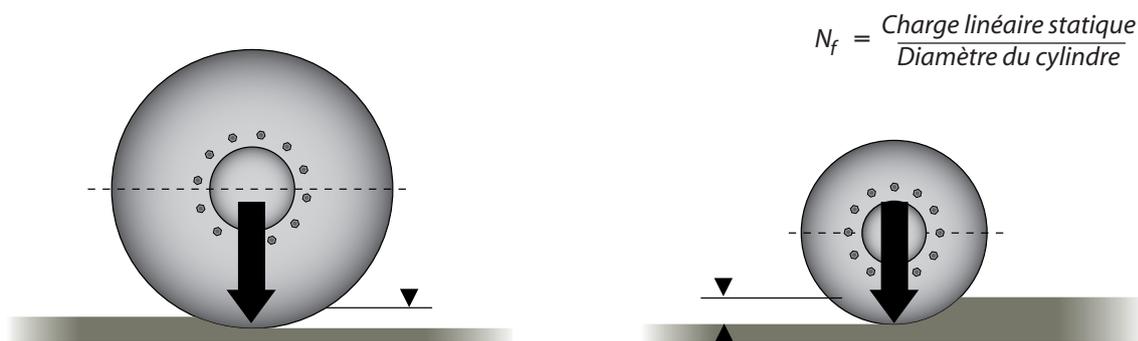


Figure 1.62 – Charge linéaire statique

Ce phénomène peut être appréhendé à l'aide du nombre de Nijboer N_f qui est calculé avec la formule suivante:

$$N_f = \frac{P}{l \times D}$$

Equation 1.3 – Nombre de Nijboer

où:

P = force actant sur le rouleau (kN);

l = largeur du rouleau (m);

D = diamètre de roulement (m).

Le chiffre obtenu doit se trouver aux entre 15 et 20 kg/cm² pour que le compacteur soit bien adapté au travail sur les enrobés.

1.6.2.1 Compacteurs statiques

Les compacteurs statiques équipés de cylindres lisses compactent grâce à leur propre poids. Selon la construction et le poids, on distingue:



Figure 1.63 – Trois compacteurs tandem



Figure 1.64 – Compacteur tridem

- Les compacteurs tandem avec deux cylindres identiques et un ou deux essieux moteurs (poids d'environ 12 t). Ces compacteurs peuvent être articulés ou avoir des cylindres pivotables. Voir § 1.6.5 pour plus d'explications concernant les deux systèmes de direction.
- Les compacteurs tridem, qui existent en deux types:
 - les machines avec deux grands cylindres et une petite roue, pesant de 8 à 16 t. L'essieu moteur est celui qui porte les deux grands cylindres. Il est équipé d'un différentiel afin d'éviter que le matériau ne glisse ou bien d'un essieu oscillant qui est particulièrement utile lors du compactage de sections ayant un profil en toit. Lors du compactage, il faut toujours travailler avec l'axe motorisés dirigé vers le finisseur. L'action en profondeur d'un cylindre statique lisse est relativement petite et porte sur 8 cm au maximum. Le degré d'inclinaison est délimité par un seul essieu moteur. La vitesse de fonctionnement est au maximum de 4 km/h.
 - Il existe également des compacteurs tridem articulés. Ces trois-roues disposent de trois cylindres de diamètre identique qui sont tous motorisés. La très bonne répartition du poids de la machine garantit un compactage uniforme sur toute la largeur de celle-ci. Son système de direction articulé permet de garder cette uniformité dans les courbes.

Les cylindres en acier sont équipés d'un système d'aspersion d'eau fonctionnant par gravité ou sous pression afin d'éviter que l'enrobé ne colle aux cylindres.

La charge linéaire statique d'un tridem de 10 t peut être de 35 à 60 kg par centimètre courant. En guise de comparaison, pour un compacteur tandem d'environ 10 t, elle comporte 27 à 30 kg/cm.

1.6.2.2 Compacteurs dynamiques

Ces compacteurs sont également appelés «compacteurs tandem» parce qu'ils possèdent deux cylindres permettant le compactage.

Les petits compacteurs tandem commencent à partir d'un poids d'environ 1 400 kg et une largeur de cylindre à partir de 80 cm. Ils sont principalement utilisés pour de petites réparations. Les compacteurs tandem lourds ont été développés pour les travaux de construction de moyenne et de grande taille: ils ont une largeur entre 1,5 et 2,10 m pour les plus grands modèles. La charge linéaire statique atteint 20 à 30 kg/cm.

Ces compacteurs ont généralement deux cylindres vibrants avec deux amplitudes et deux fréquences, ce qui leur permet de s'adapter à différents types de matériaux et à différentes épaisseurs.

1.6.2.2.1 Compacteurs vibrants

Les vibrations nécessaires au compactage dynamique sont générées ici à l'aide d'un essieu rotatif sur lequel sont placés des poids excentriques: plus ces poids sont lourds, plus l'amplitude est grande, plus ils sont légers, plus l'amplitude est petite. Le réglage de l'amplitude se fait en changeant le sens de rotation de l'essieu excentrique ce qui influe la résultante des poids.

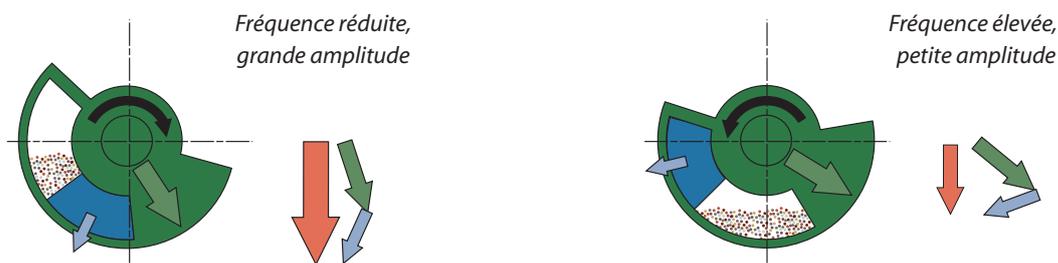


Figure 1.65 – Régulation de l'amplitude des vibrations

La fréquence des vibrations est réglée en changeant le régime de l'essieu rotatif.

Différentes options sont possibles:

- vibrations dans un ou dans les deux cylindres;
- une ou deux amplitudes;
- une ou deux fréquences, éventuellement réglage progressif.

Les vibrations sont stoppées automatiquement en cas de freinage ou de changement de direction, afin de limiter la distance d'arrêt, sans post-vibrations, et ainsi éviter les vagues et les glissements du matériau.

1.6.2.2.2 Compacteurs oscillants

Ce système est constitué d'un essieu moteur central et de deux essieux tournant dans la même direction avec des poids excentriques.

Ces essieux, qui sont dirigés de manière synchronisée par des courroies de transmission, sont tournés à 180° l'un par rapport à l'autre, et développent ainsi un mouvement tangentiel qui fait bouger rapidement et alternativement le cylindre d'avant en arrière.

Ce mouvement oscillant fait en sorte que le cylindre reste constamment en contact avec le support.

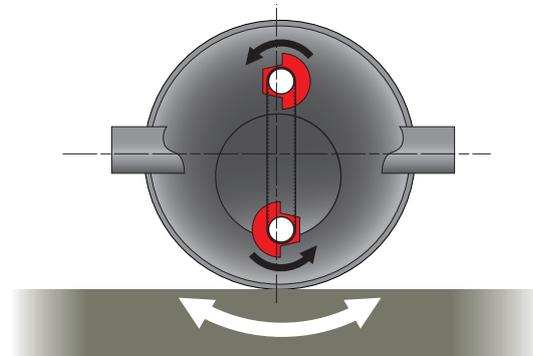


Figure 1.66 – Système de vibrations à oscillation

L'augmentation rapide du compactage est obtenue d'une part par le poids constamment présent du cylindre sur le matériau à compacter et d'autre part grâce aux efforts de cisaillement rapidement changeants du mouvement tangentiel du cylindre.

Avantages pour le compactage des enrobés:

- compactage rapide et efficace de l'enrobé;
- courbe de compactage raide: moins de passes en cas de compactage élevé;
- surcompactage impossible;
- compactage plus rapide et meilleur des mélanges lourdement compactables (SMA, enrobé drainant);
- les gravillons ne sont pas endommagés;

- la fenêtre thermique de compactage est plus grande: compactage encore possible jusqu'à la limite inférieure de 100 °C;
- compactage dynamique possible sur les ponts, dans les centres villes, le long des joints froids, sans endommager les canalisations sous-jacentes, etc.;
- moins de nuisances sonores et moins de vibrations dans l'appareil et pour l'opérateur.

1.6.2.2.3 Compacteurs à vibrations dirigées

Les vibrations de ce type de compacteurs sont constantes, mais sont adaptées entre le sens horizontal et le sens vertical de vibration. Ce sens de vibration est réglé automatiquement selon le degré de compactage atteint à l'endroit parcouru. Le sens de vibration n'est pas seulement réglé automatiquement, mais le compactage atteint est aussi mesuré immédiatement et affiché dans la cabine du compacteur.

Idéalement, il est recommandé de faire un étalonnage entre le compactage atteint par vibrations dirigées et une mesure de compactage réalisée avec un dispositif de mesure statique.

Le système de vibrations dirigées aide l'utilisateur à améliorer clairement la capacité et la qualité du compactage et dispense l'opérateur de choix difficiles. Les avantages au niveau du compactage des enrobés sont les suivants:

- utilisation universelle sur les différentes couches, compactage intensif et uniforme;
- aucune réduction ni destruction de la granulométrie suite à l'inversion automatique vers les vibrations horizontales;
- réalisation et compactage de couches minces sans démolition de la structure de l'enrobé, par exemple lors du postcompactage de la couche inférieure par vibrations horizontales;
- le respect des règles de base du compactage des enrobés permet d'éviter les glissements, les ondulations et les fissures car l'enrobé n'est pas poussé vers l'avant mais «étiré» sous le cylindre;
- un uni particulièrement bon de la surface, car les vibrations dirigées sont adaptées automatiquement au sens de circulation;
- de bonnes propriétés de postcompactage, par exemple lors du compactage d'une couche chaude le long d'une couche froide.

Un autre avantage du système de vibrations dirigées est le compactage à proximité de ponts et de zones habitées, où la propagation des vibrations doit être évitée. L'amplitude est réduite manuellement par l'opérateur de la machine.

Il existe en outre une dérivée de ce système: dans ce système, l'amplitude et la fréquence sont adaptées automatiquement à l'état du support et au degré de compactage du moment. Le fonctionnement est tel que l'énergie de compactage diminue automatiquement à mesure que la rigidité du sol augmente. Dans les zones où le support est moins rigide, on utilise une amplitude plus élevée, et les sols plus consistants sont donc traités avec une amplitude plus basse. Le système calcule également la vitesse de compactage optimale.

1.6.3 Compacteurs combinés

Le compacteur combiné associe des pneus et un cylindre lisse, et peut peser environ entre 2 et 18 t. Un des essieux est équipé d'un cylindre lisse, l'autre de pneus lisses.

Ce compacteur réunit les avantages des deux systèmes. Le cylindre lisse peut au choix être doté d'un système vibrant, d'un système oscillant ou d'un système de vibrations dirigées. Les avantages sont l'effet de pétrissage et, pour les surfaces plus petites, la présence de deux fonctions (pneus lisses et cylindre) sur un seul véhicule.

Il est bon de souligner que son utilisation est liée au risque de voir apparaître des traces de pneus. Ce type de compacteurs est rarement utilisé sur les autoroutes.



Figure 1.67 – Compacteur combiné

1.6.4 Systèmes de direction des compacteurs

Comme déjà mentionné auparavant, il existe deux systèmes de contrôle de la direction des compacteurs:

- dans le cas des compacteurs à direction articulée, les deux cylindres restent dans la même voie hormis la possibilité de décaler un cylindre latéralement de 10 à 20 cm pour pouvoir compacter les bords. Les compacteurs à direction articulée sont mieux adaptés aux grands travaux où l'on roule beaucoup en ligne droite;

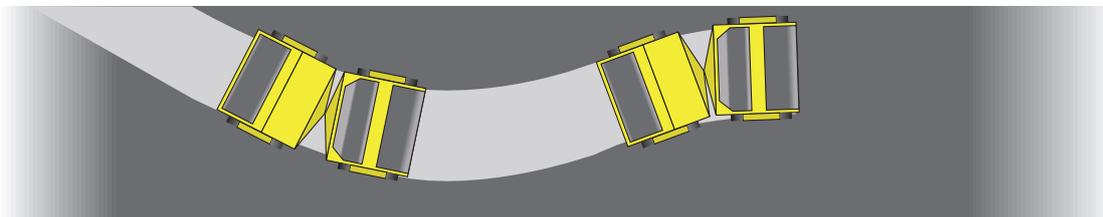
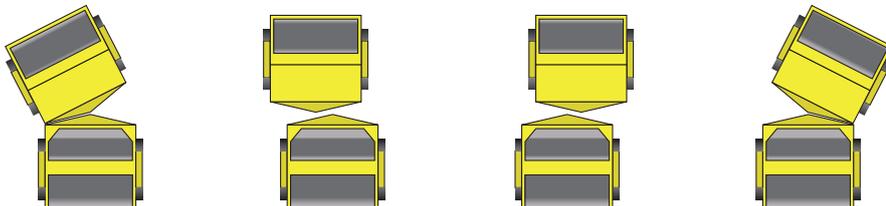


Figure 1.68 – Compacteurs avec direction articulée

- sur les compacteurs avec contrôle des deux cylindres, il est possible de choisir une direction du cylindre avant, une direction du cylindre arrière, une direction synchronisée ou bien une direction des deux cylindres ou direction «en crabe».

Les deux directions offrent des avantages pour certains mouvements et compactages ce qui fait que ce type de compacteur est mieux adapté aux chantiers de petite envergure où il est nécessaire de beaucoup manœuvrer.

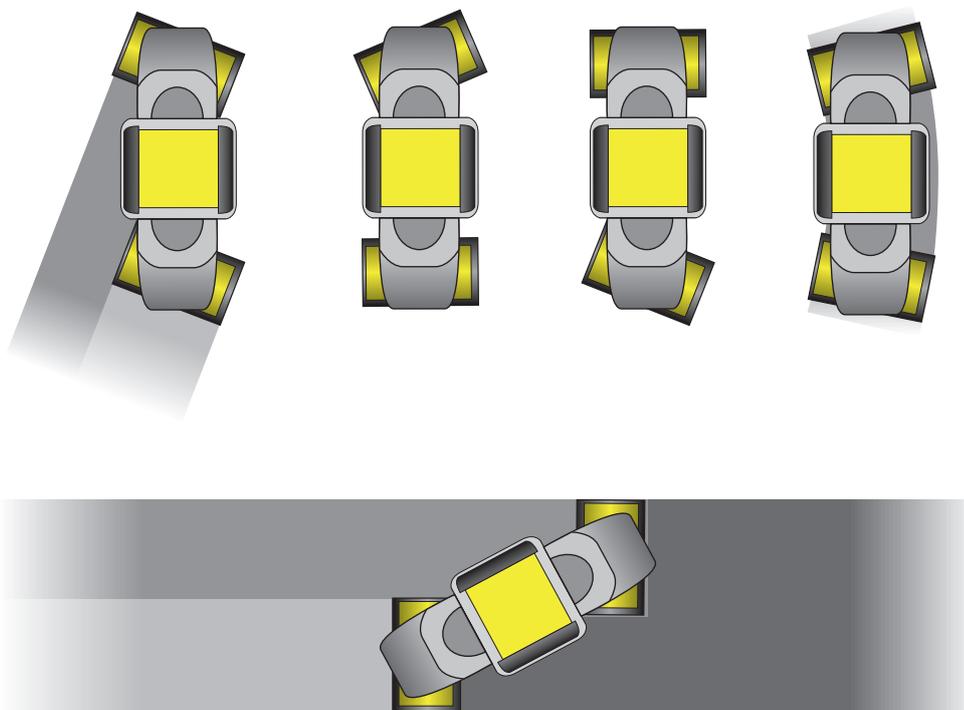


Figure 1.69 – Compacteur avec contrôle des deux cylindres

Le système permet aussi une direction latérale des cylindres vibrants qui permet à ces compacteurs de se déplacer «en crabe». Les avantages de la progression en crabe sont les possibilités d'adaptation sur les chantiers de petite taille comme les parkings ou les ronds-points. Le cylindre déplacé latéralement risque moins d'endommager les bordures lorsque le compacteur tourne. Dans le cas d'une direction des deux cylindres, le déplacement latéral des cylindres est tel qu'il permet de compacter une grande superficie en un seul passage.

1.6.5 Cylindres divisés

Lorsqu'on utilise des compacteurs avec des cylindres plus larges pour décrire des cercles courts, cela peut souvent causer des ondulations et des déformations. Ce phénomène est dû au fait que la circonférence est plus grande à l'extérieur du cercle qu'à l'intérieur. Ce problème est évité avec des cylindres divisés. La construction d'un cylindre divisé est fort complexe, car deux moteurs et deux essieux vibrants sont nécessaires, afin de garantir des vibrations uniformes et des capacités de traction optimales.

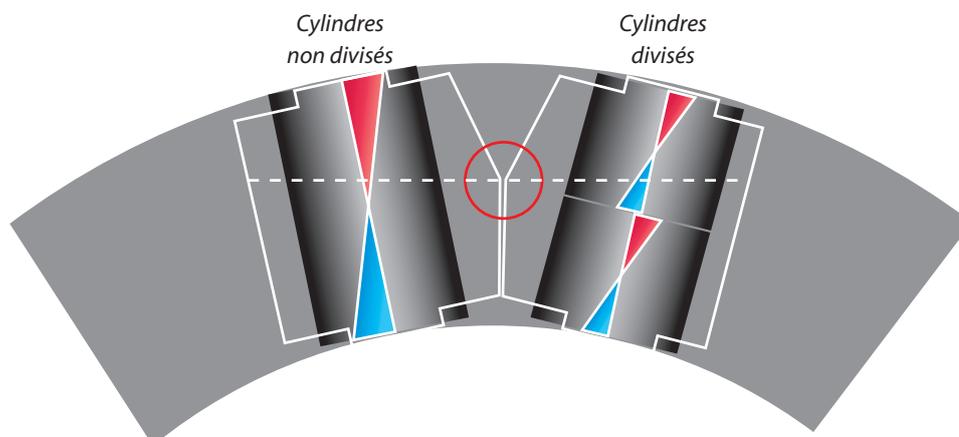


Figure 1.70 – Influence de la division des cylindres

1.6.6 Accessoires

1.6.6.1 Aspersion d'eau

Tous les compacteurs dynamiques ainsi que les compacteurs combinés sont équipés d'un système d'aspersion d'eau fonctionnant par gravité ou sous pression, afin d'éviter que l'enrobé ne colle au cylindre en acier.

Lors de la réalisation de couches plus minces et par temps froid, il est indispensable d'asperger les pneus d'un produit anti-adhérent car la chaleur de ceux-ci n'est pas suffisante pour empêcher que les enrobés ne collent aux pneus dans ces cas.

Il est important que le système de pulvérisation, d'eau ou de produit anti-adhérent, fonctionne correctement. Protéger les têtes d'aspersion contre le vent permet d'éviter que le produit ne s'envole, que le cylindre ne sèche trop vite et que les réservoirs doivent être remplis trop souvent. Il est aussi important que le raclage soit correctement réglé.

1.6.6.2 Scie latérale

La scie latérale sert à faire une découpe parfaitement verticale des abords des enrobés fraîchement posés, par exemple pour la préparation du futur joint entre deux parties du revêtement posées l'une après l'autre.

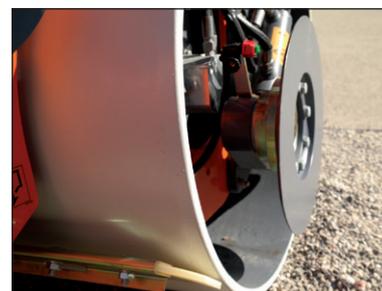


Figure 1.71 – Scie latérale

1.6.6.3 Cylindre latéral

Le cylindre latéral permet de mieux compacter les bords d'un enrobé qui est posé sans bordures de contre butage. Il peut être monté sur le même dispositif que la scie latérale. Il existe des cylindres latéraux avec des angles de 45° et 60°.



Figure 1.72 – Cylindre latéral

1.6.6.4 Cylindre conique

La forme adaptée du cylindre conique permet de bien compacter contre un mur ou un bâtiment. Le système n'est utilisable que sur des rouleaux tandem de moins de 4 t dans la plupart des cas.



Figure 1.73 – Cylindre conique

1.6.6.5 Compteur de compactage

La mesure du compactage informe l'utilisateur à propos de la rigidité du support. Ce dispositif donne une indication du compactage atteint. La méthode de fonctionnement repose sur des mesures à l'aide d'un capteur des vibrations émises renvoyées: une couche sous-jacente souple absorbera un très grand nombre de vibrations, tandis qu'une couche plus rigide renverra la plupart des vibrations. Les vibrations absorbées sont transposées par le capteur en un signal électrique qui fait fonctionner le dispositif de mesure. L'affichage peut être une simple console mais des systèmes sophistiqués permettant de sauver les données et de donner un aperçu graphique complet du chantier existent également.

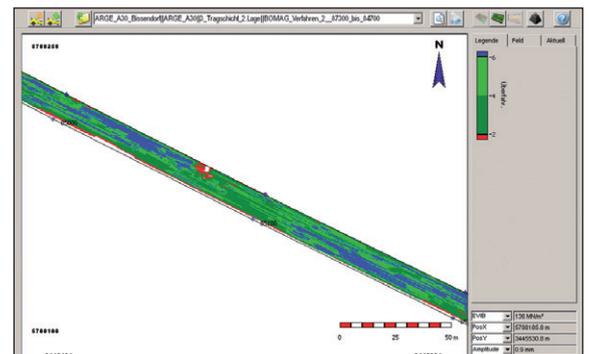


Figure 1.74 – Sortie de données d'un système de suivi du compactage

1.6.6.6 Système GPS avec contrôle du nombre de passes

Les signaux GPS et/ou semblables, sont utilisés pour montrer le nombre de passes des compacteurs sur les enrobés posés. Les systèmes de base montrent à l'opérateur les données de sa propre machine. D'autres systèmes plus sophistiqués permettent aux différentes machines sur chantier de communiquer entre elles, via un signal WIFI par exemple, et donnent donc aux opérateurs ainsi qu'aux responsables du chantier le moyen d'avoir un plan de compactage complet et mis à jour à la seconde.

Chapitre 2

Préparatifs du chantier

2.1 Préparation administrative

Une fois que l'entrepreneur a été chargé de l'exécution du revêtement et a reçu l'ordre de commencement des travaux, il pourra commencer à préparer le chantier.

Il doit contrôler quels sont les produits bitumineux qui sont prescrits dans le cahier des charges. Il examine la dénomination et le type de composition prévus pour toutes les couches d'enrobés prévues. Les documents d'adjudication peuvent prévoir l'utilisation de liants spéciaux: bitume avec additifs, bitume élastomère, etc.

Si les documents d'appel d'offres ne stipulent pas de dates d'exécution précises, on organisera des réunions de coordination avec le client et tous les autres acteurs.

Pour les autoroutes, les différents acteurs sont:

- la police fédérale;
- le centre de la région concernée de la circulation;
- la police locale si les détournements iront sur leur territoire;
- les services d'urgence.

Pour les routes régionales, les acteurs sont:

- la police locale;
- les échevins de travaux publics et/ou les bourgmestres;
- les services d'urgence;
- éventuellement, les sociétés de transport (De Lijn, STIB, TEC);
- éventuellement des sociétés voisines situées dans les zones de chantier ou qui pourraient être affectées par les travaux.

2.2 Etude préalable du chantier

Les points suivants doivent être contrôlés sur le chantier:

- a. Contrôle de la couche de fondation sous-jacente: la couche sous-jacente peut être constituée de pavés en pierre naturelle, de béton maigre, d'une fondation en empierrement, d'empierrement stabilisé.
- b. Si on doit asphalter sur une surface fraisée: est-ce que le fraisage a été fait correctement?
- c. Contrôler si les niveaux de la couche sous-jacente correspondent au niveau du futur revêtement. Est-ce que la planéité est correcte?
- d. Eventuellement corriger le profil de la fondation à l'aide d'une couche de profilage supplémentaire réalisée avec le finisseur. Le profil transversal est-il correct?
- e. Contrôler si tous les avaloirs et les regards de visite sont placés ou peuvent être placés à la bonne hauteur.
- f. La couche est-elle sèche afin de permettre la pose de la couche d'accrochage? S'il pleut, l'eau peut-elle être évacuée?

- g. Faut-il prévoir des protections spéciales pour empêcher de salir les trottoirs et les bordures? En ville, les bordures sont souvent en pierre bleue, et les trottoirs en pierre naturelle et doivent être protégés contre les salissures.
- h. Lors du compactage, éviter d'endommager les bordures en pierre bleue en passant trop près avec le compacteur. La pierre naturelle s'écaille.
- i. Les ralentisseurs préalablement placés doivent être protégés comme il se doit (traces de pneus, etc.).
- j. Détermination de la nature et de la composition des couches à fraiser ou à démonter.
- k. Présence possible de goudron. Un enrobé contenant du goudron ne peut pas être réutilisé dans une application à chaud puisque les vapeurs de goudron sont cancérigènes.

2.3 Préparation logistique

- a. Prendre contact avec la police de la circulation pour obtenir les autorisations nécessaires, en particulier pour les transports exceptionnels. Pour s'assurer de la sécurité du trafic, il faut respecter les mesures prescrites dans l'AR du 01.12.1975 [7], l'AM du 11.10.1976 [8] et l'AM du 07.05.1976 [9].
- b. Vérifier l'accessibilité du chantier. Déterminer un itinéraire pour les poids lourds, en tenant notamment compte de la présence de câbles à haute tension, de pavés, etc. Faire attention de ne pas se perdre dans ses propres files.
- c. Types de poids lourds: pour le transport du matériel, le finisseur et les compacteurs.
- d. Elaboration de plans de signalisation en coopération avec tous les acteurs. Pour les autoroutes les licences sont émises par les maîtres de l'ouvrage et pour les routes régionales les permis sont émis par les pouvoirs locaux.
- e. Veiller à ce que les usagers et les propriétaires adjacents soient informés des travaux. Ceci est possible par le biais de panneaux d'affichage (en particulier sur les autoroutes) et en distribuant des dépliants avec les informations nécessaires sur l'inconfort attendu et la durée du travail. Il est également possible de lancer des communiqués de presse aux médias.
- f. Contacter les services publics pour détecter la présence de câbles et de tuyaux qui pourraient être un problème lors de la mise en œuvre de chantier.

2.4 Organisation du transport des enrobés

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'approvisionnement de l'enrobé doit se faire via un transport adapté, aussi bien au niveau du type de camions que de leur nombre. Il est également nécessaire de mettre sur pied un bon plan de transport pour réduire au maximum le temps d'approvisionnement et le temps d'attente et éviter des problèmes tels que la ségrégation des enrobés et l'écoulement du liant.

2.4.1 Choix du type de camions

Le choix du type de moyen de transport dépend de différents facteurs:

- l'accessibilité du chantier;
- la distance entre la centrale et le chantier;
- la nature et la forme du chantier;
- les éventuels obstacles tels que les canalisations, les arbres et les tunnels;



Figure 2.1 – Danger avec des câbles électriques



Figure 2.2 – Hauteur restreinte



Figure 2.3 – Boîte thermique

- l'éventuelle charge maximale imposée pour la zone où l'enrobé bitumineux doit être mis en œuvre (par exemple ponts, rampes, etc.).

Pour les travaux à accès restreints, pour la réalisation d'entrées résidentielles ou pour des travaux manuels ou de rapiéçage, les camions à deux essieux peuvent être utilisés.

Pour de petits chantiers ou pour des chantiers avec de forts dévers, les camions à trois essieux sont les mieux adaptés.

Pour des chantiers nécessitant un taux d'approvisionnement élevé, les camions à quatre essieux ou les semi-remorques sont généralement choisis même si ceux-ci sont moins manœuvrables que les autres camions.

Lorsque la mise en œuvre se fait dans des tunnels, à des endroits difficilement accessibles ou bien là où se trouvent des obstacles aériens (ponts, lignes de tram, câbles électriques, etc.), il est nécessaire de prévoir des camions plus petits ou des bacs pousseurs (voir § 1.2.3.1)

D'un point de vue économique, il est toujours préférable d'employer des semi-remorques.

Dans les cas où l'on utilise de petites quantités, l'utilisation d'une boîte thermique peut être recommandée (par exemple lors de réparations locales de différentes parties de la route).

2.4.2 Choix du nombre de camions

Le responsable doit veiller à ce qu'il n'y ait ni trop, ni trop peu de camions:

- lorsque les camions ne sont pas assez nombreux, le finisseur doit s'arrêter trop souvent, ce qui nuit au compactage de l'enrobé et à l'uni du revêtement;
- à l'inverse, la présence d'un nombre excessif de véhicules chargés en attente sur le chantier peut mener à un refroidissement de l'enrobé dans la benne et à une réduction de l'espace disponible pour les manœuvres.

Le nombre de camions à utiliser pour un chantier peut être estimé d'une manière simple:



Figure 2.4 – Véhicules en excès sur chantier

$$N_{camions} \approx \frac{M \cdot t_{trajet}}{V_{camions}}$$

Equation 2.1 – Calcul du nombre de camions nécessaires

où

- $N_{camions}$ est le nombre de camions à utiliser;
- t_{trajet} est le temps moyen de trajet aller-retour d'un camion (en heures) pour chaque cycle complet de chargement, de transport vers le chantier, de déchargement et de retour à la centrale;
- $V_{camions}$ est la charge par camion (en tonnes);
- M correspond à la valeur la plus petite parmi les deux valeurs suivantes, exprimées en tonnes par heure:
 - la production de la centrale d'enrobage;
 - la vitesse de mise en œuvre sur le chantier.

Il convient de noter qu'il s'agit ici d'une estimation. Cette formule ne tient pas compte des temps de repos à respecter.

2.4.3 Choix de l'itinéraire de transport

Pour établir l'itinéraire de transport, il sera éventuellement nécessaire de rejeter certaines routes ou lieux posant des problèmes liés au transport de l'enrobé et au temps s'écoulant entre chargement du camion et arrivée sur le chantier de pose. Plus précisément, on tiendra compte de:

- la ségrégation de l'enrobé et l'écoulement du liant lors du transport sur des routes en mauvais état;
- les limitations de charge à l'essieu sur certaines routes;
- les difficultés posées par la largeur de certaines routes ou dans certains centres d'agglomération;
- les ralentissements dus à des passages à niveau, des feux de signalisation et des ponts basculants;
- les routes où des embouteillages peuvent se former;
- les files au niveau du chantier. Il faut veiller à pouvoir accéder au chantier par des itinéraires alternatifs. Par exemple, lors de travaux sur une autoroute, accéder via une voie d'accès qui se situe à hauteur du chantier.

Dans certains cas, il peut être utile de mettre en place une signalisation pour le trafic de chantier à proximité des travaux.

2.4.4 Temps de fourniture

Le temps de fourniture est 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;
- de la période d'attente avant le déchargement en chantier.

Le temps de fourniture maximal à admettre dépend de l'efficacité de l'isolation thermique des camions et des conditions météorologiques ainsi que du type de mélange.

Tant que les mélanges arrivent suffisamment chauds sur le chantier pour pouvoir être mis en œuvre comme il se doit, le temps de fourniture peut être considéré comme acceptable. La mesure de la température avant le déchargement est donc importante afin d'éviter la mise en place d'un enrobé non conforme aux exigences.

Il convient de noter que la température normale de malaxage ne peut pas être dépassée de manière exagérée pour rallonger le temps admissibles pour la fourniture. Seule une meilleure isolation du camion peut être admise pour permettre cet allongement. 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 et à celle indiquée dans le cahier des charges.

2.4.5 Préparation des camions

Avant chargement, la benne des camions doit être nettoyée de tout corps étranger et de tout reste d'enrobé refroidi pour éviter le collage ou la contamination des enrobés.

La benne du camion doit être lubrifiée pour éviter que l'enrobé adhère aux parois. Le mélange doit glisser sur les parois. Le déchargement doit s'effectuer selon un mode de glissement en bloc vers la trémie du finisseur.

La benne doit donc être recouverte d'un produit anti-adhérent adéquat et appliqué correctement. Il est absolument déconseillé d'appliquer trop de produit, car cela nuit aux enrobés. Cette règle est surtout enfreinte lors du dernier chargement de la journée, car on veut être sûr qu'il ne subsiste aucun reste dans la benne après le déversement. Cela a pour conséquence la formation locale de dépôts, qui peuvent par la suite causer des taches grasses.

Ces produits anti-adhérents sont des esters méthyliques à base d'huiles végétales. Il est totalement interdit d'utiliser comme anti-adhérent du gasoil ou d'autres lubrifiants à base d'hydrocarbure ou du sable. Les produits hydrocarbonés sont prohibés pour des raisons de santé des travailleurs et environnementales et parce qu'ils contaminent l'enrobé.

2.4.6 Chargement des camions

Lors du chargement des camions, toutes les précautions nécessaires pour limiter la ségrégation des enrobés doivent être prises. Le chargement, qui est de courte durée, nécessite une bonne coordination entre les chauffeurs des camions et le responsable des commandes d'ouverture et de fermeture des trémies.

Un chargement de camions en une seule opération est à proscrire. Elle entraîne en effet les plus gros granulats vers le bas tout autour du cône de chargement.

Ceci conduirait à l'obtention d'une surface de revêtement présentant de la ségrégation de chaque côté de la bande d'enrobé mise en œuvre au finisseur.

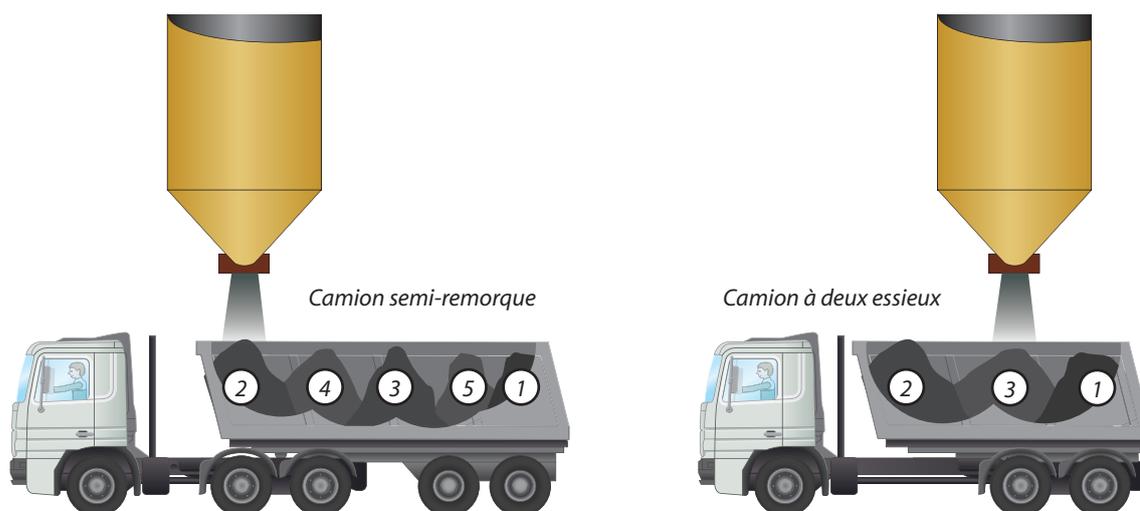


Figure 2.5 – Chargement adéquat des camions

Au cours du chargement, les enrobés doivent être régulièrement répartis par amas dans la benne du camion afin d'éviter la ségrégation granulaire du mélange. Un chargement en plusieurs amas est recommandé. Le premier amas devrait être à l'avant de la benne et le deuxième vers l'arrière.

Lorsque le camion est rempli de cette façon, l'enrobé est plus homogène, notamment au moment du déchargement dans la trémie du finisseur ou celle d'un alimentateur.

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 de camion vers l'arrière.

La bâche équipant chaque camion recouvre la benne dès la fin du chargement et doit y demeurer durant tout le transport et d'attente au chantier jusqu'à la fin du déchargement dans le finisseur.

2.5 Travaux de nuit et de week-end

A l'heure où les infos trafic sont plus présents dans nos radios que le dernier tube à la mode, à l'heure où la productivité est au centre de tous les débats, la mobilité est devenue le souci premier de tous.

C'est pourquoi, les entrepreneurs routiers sont confrontés de plus en plus à l'organisation de leurs travaux la nuit ou les week-ends, afin de limiter au maximum la gêne causée aux usagers de la route, aux clients d'un magasin ou au bon fonctionnement d'une usine.

Lors de travaux de nuit et de week-end, il y a lieu de prévenir l'atelier de l'entreprise et/ou le service après-vente du fournisseur d'engins de la réalisation de ces travaux afin qu'ils prévoient des mécaniciens en stand-by pour le cas où une des machines aurait un souci mécanique. Dans la mesure du possible, avoir des machines en réserve sur le chantier peut également éviter beaucoup de problèmes.

2.5.1 Travaux de nuit

Quelques précautions sont néanmoins à prendre pour l'organisation des travaux de nuit.



Figure 2.6 – *Travaux de nuit*

Pour la sécurité des ouvriers sur le chantier ainsi que pour celle des usagers de la route, la signalisation des travaux doit être clairement visible et les lampes en parfait état.

La luminosité de la zone de travaux est importante pour que les ouvriers puissent voir leur travail. Pour ce faire, il est possible d'installer des phares supplémentaires sur les finisseurs ainsi que sur les rouleaux compacteurs. Il est également possible d'installer des phares ou des ballons lumineux alimentés par groupes électrogènes aux abords du chantier.

Les conditions météorologiques sont également à prendre en compte car il fait toujours plus froid la nuit.

Certaines administrations exigent avant l'exécution de travaux de nuit de faire une étude de nuisance pour les riverains.

Un problème rencontré avec les travaux de nuit est qu'on ne laisse pas à la couche de collage le temps de faire sa rupture (et encore moins de mûrir). L'émulsion est dès lors arrachée dès le passage d'un finisseur ou au passage du premier camion alimentant les finisseurs.

Un autre problème important rencontré avec les travaux de nuit est que le trafic est bien souvent rouvert alors que l'enrobé n'a pas encore eu le temps de refroidir dans la masse (voir § 6.1).

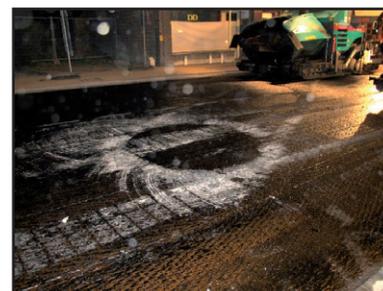


Figure 2.7 – *Arrachage de la couche de collage*

2.5.2 Travaux de week-end

Pour les travaux sur autoroutes ou sur des nationales, le fait de travailler le week-end permet de pouvoir fermer la route et de réaliser la pose avec deux finisseurs en parallèle afin d'éviter les joints de reprises.

Pour les parkings de magasins, le travail le dimanche permet d'éviter les désagréments aux clients.

Pour les usines, les travaux de week-end permettent de moins perturber le fonctionnement de l'entreprise.



Chapitre 3

Exécution du chantier

3.1 Fraisage de la surface

3.1.1 Introduction

3.1.1.1 Objectif du fraisage

Le fraisage constitue la première étape des travaux lorsqu'un revêtement bitumineux existant doit être remplacé. Son objectif est d'éliminer de manière mécanique le revêtement existant sur une épaisseur déterminée, généralement prescrite par le maître d'ouvrage. Une machine spécialement conçue à cet effet parcourt la couche à fraiser et, à l'aide d'un tambour rotatif recouvert de pointes en métal dur, enlève le matériau et l'évacue vers un tapis convoyeur. Via ce tapis, l'enrobé est acheminé vers un camion, ou bien déposé sur le côté ou sur la surface fraisée, selon le souhait du maître d'ouvrage ou la façon dont procède l'entrepreneur.

Le fraisage est nécessaire pour les raisons suivantes:

- cette opération permet de dégager l'espace nécessaire pour poser un nouveau revêtement sur l'épaisseur prescrite;
- il permet de remplacer le revêtement sans modifier les niveaux existants;
- réalisé sur une épaisseur suffisante, il élimine aussi certains types de fissures et permet de limiter les fissures de réflexion.

Selon la fraiseuse utilisée, il peut être possible de fraiser sur une profondeur allant jusqu'à 35 cm et sur une largeur allant de 0,30 m à 3,80 m en un seul passage. Les fraisats peuvent être réutilisés pour préparer un enrobé neuf s'ils répondent à une série de conditions techniques et écologiques.

Le soin accordé au fraisage est essentiel pour la qualité du revêtement à venir. La surface fraisée constitue en effet le support des nouvelles couches bitumineuses; toute non-conformité lors du fraisage peut donc être la cause d'un problème dans le nouveau revêtement.

3.1.1.2 Historique

Avant 1978, le fraisage à chaud était la méthode standard: la couche bitumineuse était chauffée à l'aide d'infrarouges, avant d'être fraisée avec un arbre équipé de ciseaux plats. Ce procédé était très énergivore et dépendait fortement des conditions météorologiques, car par mauvais temps, il était fort difficile d'atteindre la température requise pour permettre un bon fraisage.

L'introduction en 1978 du fraisage à froid fut une vraie révolution. Cette méthode est actuellement la principale technique utilisée pour enlever de l'enrobé. Non seulement elle dépend moins de la météo, mais elle est aussi beaucoup plus rapide grâce à l'utilisation de machines plus puissantes et au fait qu'il ne faille pas attendre que le revêtement soit suffisamment chaud. C'est cette méthode qui est abordée dans les lignes qui suivent.

3.1.1.3 Fraisage standard

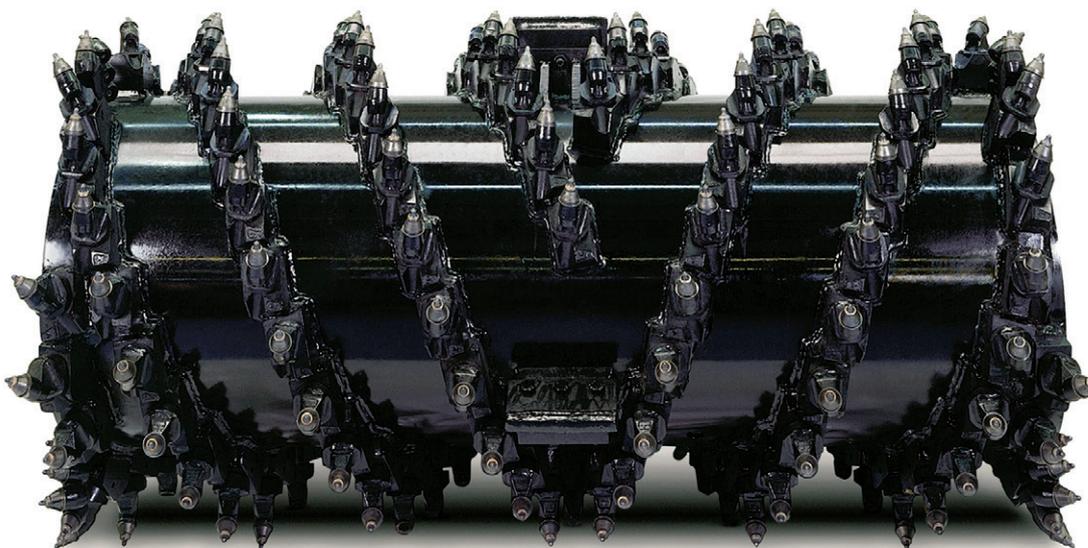


Figure 3.1 – Fraise standard

Par «fraisage standard», on entend l'enlèvement d'une surface bitumineuse à l'aide d'une fraiseuse. Ce type de machine est équipé d'un tambour recouvert de pointes en acier qui assurent le granulage. La distance entre les points détermine la texture superficielle obtenue. Pour le fraisage standard, cette distance varie entre 15 et 18 mm.

Le fraisage standard a pour but d'enlever l'enrobé soit totalement, soit de manière sélective, c'est-à-dire par couche ou sur toute une épaisseur. On peut opter pour le fraisage sélectif parce que certaines couches bitumineuses ou de collage contiennent du goudron, ou bien parce que l'entrepreneur décide d'enlever séparément les couches trop différentes les unes des autres, afin d'en faciliter le recyclage ultérieur.

3.1.1.4 Fraisage fin

Le fraisage fin n'élimine que quelques millimètres du revêtement existant. Ce procédé peut être employé à différentes fins:

- améliorer la planéité générale;
- augmenter la rugosité;
- éliminer les inégalités locales (ornières, tôle ondulée, etc.);
- diminuer le bruit de roulement en créant une texture plus fine;
- préparer un revêtement bitumineux ou en béton pour la pose de couches bitumineuses minces, par exemple. La surface existante est rendue plus rugueuse afin d'améliorer l'adhésion de la nouvelle couche.



Figure 3.2 – Fraiseuse fine

Les tambours spéciaux utilisés à cet effet sont dotés de plus de pointes, qui sont par conséquent plus proches les unes des autres, et permettent donc de réaliser un fraisage plus fin. Cet espacement est généralement de 8 mm. Nous ne nous attarderons plus sur le fraisage fin dans le présent code de bonne pratique.

3.1.2 Préparation du fraisage

3.1.2.1 Essais

Pour préparer le fraisage, il est recommandé de prélever des carottes dans le revêtement. Celles-ci fournissent en effet des informations utiles sur les couches à fraiser :

- l'épaisseur des différentes couches et l'épaisseur totale;
- l'homogénéité de la structure (variation de l'épaisseur des couches) et, par conséquent, la présence éventuelle de zones où, suite au fraisage, la couche restante serait trop mince pour constituer un support solide pour le nouvel enrobé. Ce cas de figure doit être évité à tout prix;
- le type et l'état de l'enrobé existant. Parallèlement à cela, il est déjà possible de se faire une idée des différents types d'enrobés fraisés qui seront obtenus sur le chantier;
- la qualité de l'adhésion des couches constituant la chaussée. Une mauvaise adhésion des couches bitumineuses toujours en place après le fraisage peut mener à une réduction de la durée de vie de la nouvelle structure;
- détection de la présence éventuelle de goudron dans l'enrobé ou dans l'une des couches de collage. Etant donné que par le passé, on a utilisé à grande échelle de l'enrobé ou des couches de collage contenant du goudron, le risque de rencontrer ce produit n'est pas négligeable. Le goudron contient des substances cancérigènes qui se libèrent lorsque celui-ci est chauffé. Réutiliser à chaud de l'enrobé contenant du goudron est donc exclu, et la meilleure solution semble être d'éliminer le goudron de la chaîne en nettoyant ou en stockant l'enrobé. Afin de limiter autant que possible la quantité d'enrobé contenant du goudron, on peut réaliser un fraisage sélectif de sorte à ne devoir évacuer que la couche qui contenait originellement le goudron;
- La présence d'autres matériaux potentiellement dangereux, comme l'amiante. L'amiante était utilisé le siècle dernier surtout en France, en tant que fibre de renforcement. En Belgique, seules quelques cas d'utilisation d'amiante sont connus.

3.1.2.2 Choix du type de fraiseuse

3.1.2.2.1 Fraiseuses de petite taille

Les fraiseuses de petite taille, dont le tambour a une largeur inférieure à 1 m, ont généralement des roues. Elles peuvent fraiser sur une profondeur allant jusqu'à 30 cm environ. Le tambour est placé à l'arrière de la fraiseuse. Les petites fraiseuses peuvent aussi être utilisées sans tapis convoyeur; elles sont généralement employées pour réaliser un fraisage transversal au niveau des joints de ponts et pour obtenir un bord droit au début et à la fin des surfaces fraisées.

Elles sont utilisées à proximité de toutes sortes d'éléments (bordures de trottoir, filets d'eau, trapillons, cadres de regards, joints de ponts, etc.). Elles conviennent également pour préparer les réparations d'ampleur limitée.

3.1.2.2.2 Fraiseuses de grande taille

Les fraiseuses de grande taille ont un tambour dont la largeur dépasse 1 m, les plus grands pouvant même aller jusqu'à 4,30 m, et sont équipées de chenilles. Il s'agit de machines très lourdes, dont le poids à vide varie entre 25 et plus de 60 t.



Figure 3.3 – Fraiseuse de petite taille



Figure 3.4 – Fraiseuse de grande taille

Le tambour est ici placé plus ou moins au milieu de la machine, entre les chenilles avant et les chenilles arrière. Son sens de fonctionnement est inversé par rapport à celui des machines plus petites. Les fraiseuses de grande taille sont utilisées pour fraiser l'enrobé dans le sens longitudinal.

3.1.2.3 *Dépendance aux conditions météorologiques*

Les conditions météorologiques ont une importance non négligeable, pour le fraisage à froid également. La température de la surface à fraiser a un impact sur le rendement de la fraiseuse (plus l'enrobé est froid, plus il est rigide et moins le rendement est élevé), mais pas sur le résultat final.

Etant donné que l'asphaltage a souvent lieu directement après le fraisage, et que les précipitations, les températures basses et le vent peuvent nuire à la qualité de l'enrobé neuf, le fraisage doit néanmoins être indirectement considéré comme dépendant des conditions météorologiques.

3.1.3 Exécution

3.1.3.1 *Guidage de la fraiseuse*

Le guidage des fraiseuses est en grande partie identique à celui des finisseurs. Elles utilisent des capteurs semblables, mais montés différemment (voir § 1.4.4.3). Il s'agit de capteurs qui sentent le revêtement adjacent ou un fil, de systèmes ultrasons ou par laser, de systèmes lasers 2D ou de modèles 3D numériques.

La fraiseuse dispose également de capteurs qui mesurent son déplacement angulaire transversal et longitudinal.

Une distinction est faite entre deux grandes familles de méthodes pour le guidage de la fraiseuse.

- **Fraisage par copiage**

Avec le fraisage par copiage, le revêtement existant, une bordure, un trottoir ou bien encore un fil tendu sert de hauteur de référence. Une certaine profondeur de fraisage est programmée. La mesure automatique de la distance entre un point fixe sur la fraiseuse et le profil de la route est suffisante pour obtenir une profondeur de fraisage constante. La fraiseuse fait disparaître les petites déformations du revêtement existant, mais pas celles d'une longueur d'onde plus importante.

- **Fraisage de profil**

Avec le fraisage de profil, le niveau de la route est de nouveau établi et adapté si nécessaire. Pour cela, on utilise des systèmes lasers 2D ou des systèmes 3D sur base d'un modèle numérique.

3.1.3.2 *Points d'attention pour une bonne exécution*

Le fraisage doit permettre d'obtenir une surface rainurée régulière et égale, ne présentant aucune structure gaufrée. Le bord de la partie fraisée du revêtement doit être vertical, tant dans le sens longitudinal que transversal. Si cela devait ne pas être le cas, le bord doit alors être fraisé transversalement au sens de travail à l'aide d'une petite fraiseuse ou bien scié verticalement.

Les bandes fraisées doivent être parallèles et rectilignes. Avant et pendant le fraisage, il faut veiller à ne pas endommager les obstacles présents tels que les cadres de regards, les avaloirs, les bordures de trottoir, filets d'eau, trapillons, cadres de regards et autres joints de ponts. Après le fraisage, la surface traitée doit être examinée et les éléments détachés doivent être éliminés.

Pour garantir une exécution de qualité, il importe de bien choisir le matériel et de réaliser des réglages corrects.

- **Profondeur de fraisage**

La profondeur de fraisage est généralement imposée par le maître de l'ouvrage. Il est parfois souhaité de fraiser la profondeur totale en plusieurs fois, parce que la couche à fraiser est trop épaisse ou bien que l'on souhaite évacuer certaines couches séparément. La fraiseuse doit dans tous les cas être choisie de manière à pouvoir atteindre sans problème la profondeur demandée.

- **Tambour de fraisage**

Le tambour de fraisage doit être adapté à la taille du chantier et au type de travail attendu. La largeur du tambour et le nombre de pointes, ainsi que leur interdistance, doivent permettre de réaliser le travail dans des conditions optimales. Les pointes doivent être en bon état. Elles sont soumises à une importante usure et doivent être contrôlées régulièrement et éventuellement remplacées.

- **Vitesse de progression de la fraiseuse**

Une vitesse de progression adéquate est importante pour obtenir une surface fraisée conforme. Plus la fraiseuse avance rapidement, plus la surface obtenue sera grossière. De plus, il est possible, si la fraiseuse se déplace trop vite, que des parties du revêtement qui auraient dû rester en place soient arrachées. Dans tous les cas, la vitesse de progression sera limitée à 15 m/min.

La vitesse maximale qui peut être atteinte dépend du modèle et du type de fraiseuse, de l'état d'entretien de la fraiseuse et de ses pointes, de la profondeur de fraisage, de la configuration du chantier (nombre et forme des obstacles) ainsi que de la quantité d'enrobé fraisé qui peut être évacuée par heure du chantier.

La vitesse de progression ne doit pas non plus empêcher une bonne maîtrise de la fraiseuse lors des opérations. Il y a un effet un certain retard sur le réglage, qui joue un rôle non négligeable dans l'obtention d'une surface fraisée de qualité. Ce retard est dû aux causes suivantes:

- la vitesse à laquelle les capteurs réagissent à un changement de la référence. Cette vitesse varie selon le type de capteurs;
- La vitesse de traitement des données envoyées par les capteurs à la centrale de pilotage;
- l'inertie des commandes hydrauliques de la fraiseuse lors d'une réaction aux ordres de la centrale de pilotage et/ou de l'opérateur;
- la vitesse de réaction et le temps de décision de l'opérateur.

- **Vitesse de rotation du tambour de fraisage**

La vitesse de rotation du tambour de fraisage reste en principe constante. La vitesse de progression de la fraiseuse et la profondeur de fraisage déterminent la taille du matériau produit.

- **Aspiration de la poussière**

Les fraiseuses modernes peuvent être équipées d'un dispositif d'aspiration de la poussière qui est produite lors du fraisage. Ce dispositif aspire la poussière et l'eau vaporisée, et transporte l'ensemble via le même tapis convoyeur que l'enrobé fraisé. Bien qu'il n'ait aucun impact sur la qualité finale de la surface fraisée, il permet de rendre l'environnement de travail un peu plus sûr et agréable pour les travailleurs.

3.1.3.3 Nettoyage de la surface

Après le fraisage, la surface fraisée est souvent très poussiéreuse. Il est donc recommandé de la broser, afin que la couche de collage puisse être posée sur un support propre et sans poussière. Dans certains cas, un nettoyage avec de l'eau sous haute pression peut être nécessaire.

3.1.4 Contrôle de la qualité du fraisage

3.1.4.1 Utilité des contrôles

L'utilité de réaliser un contrôle du fraisage est incontestable. La surface fraisée constitue le support de la nouvelle couche d'enrobé à poser et tout problème avec ce support pourrait découler en une diminution de la durée de vie du nouveau revêtement.

Il est recommandé de réaliser ce contrôle avant que les machines utilisées pour mettre en œuvre le nouveau revêtement bitumineux ne soient présentes sur le chantier, afin qu'il soit encore possible de réaliser des corrections avant l'asphaltage.

3.1.4.2 Contrôles à effectuer

Les points suivants sont importants lors du contrôle de la surface fraisée:

- **Profil longitudinal – profondeur de fraisage – pente transversale**

Le profil, la profondeur de fraisage et la pente transversale doivent être corrects pour garantir que le nouveau revêtement puisse être posé sur l'épaisseur requise, sans devoir s'écarter du niveau final souhaité. Le contrôle peut se faire en mesurant la profondeur fraisée ou en réalisant un relevé topographique, selon la méthode de guidage choisie (copiage ou profil).

- **Rectitude et verticalité des futurs joints**

Il est important que les parois des joints soient bien droites afin de pouvoir placer la bande adhésive dans de bonnes conditions, de sorte que la durée de vie et l'étanchéité du joint soient garanties. Ces points peuvent être contrôlés visuellement.

- **Écartement horizontal entre les sommets de lignes de courbes adjacentes**

Dans le cas d'un fraisage standard, cet écartement doit être inférieur à 18 mm. En Belgique, l'exigence maximale est généralement fixée à 15 mm.

Il peut être contrôlé en mesurant la distance entre deux lignes de coupe, mais il existe sur le marché des gabarits pratiques qui permettent de comparer rapidement le profil à la norme.

Un écart peut aussi être observé visuellement: une pointe manquante ou trop usée crée un défaut facilement repérable dans la texture.

- **Variation de hauteur entre le sommet et le creux des lignes de coupe**

La variation autorisée va de 4 à 10 mm selon les maîtres d'ouvrage et l'épaisseur des couches qui seront posées sur la surface fraisée. Cette variation peut être mesurée avec précision à l'aide d'un profilomètre de contact ou laser.

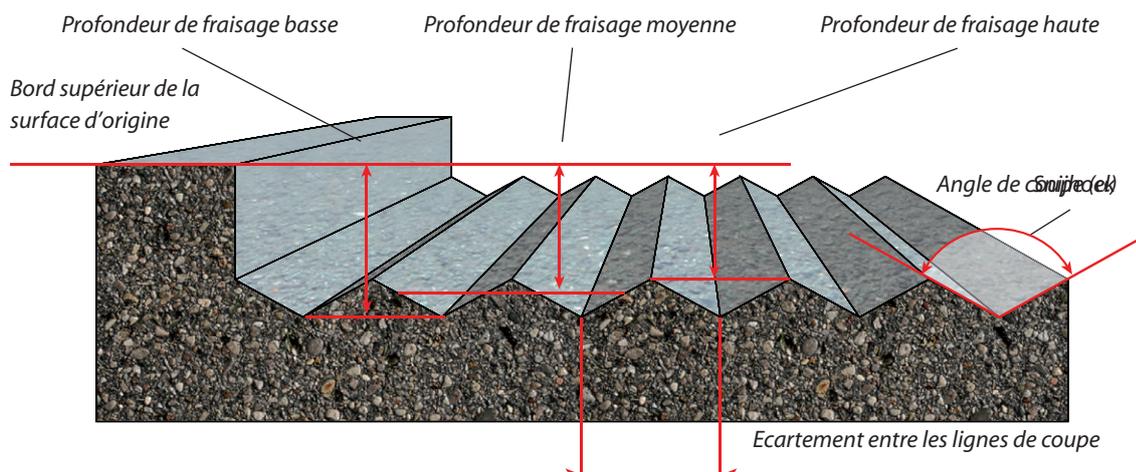


Figure 3.5 – Caractéristiques du profil de fraisage

- Planéité

La planéité de la surface peut être contrôlée à l'aide de la règle de 3 m ou, dans le cas de chantiers de plus grande ampleur, de l'APL.

- Présence de nids de poule

Les nids de poule présents dans la surface fraîsée sont faciles à observer visuellement. Ils doivent être réparés avant de procéder à la pose du revêtement bitumineux.

- Présence de plaques détachées

L'ensemble de la surface doit être contrôlé afin de s'assurer qu'il ne s'y trouve aucune plaque détachée. Celles-ci doivent à tout prix être évitées, et donc immédiatement enlevées. Leur présence peut être le signe que la couche en place après le fraisage est peut-être trop mince pour constituer un support stable.

- Propreté de la surface

La propreté de la surface est un paramètre non négligeable qui peut être contrôlé visuellement. Si nécessaire, la surface sera nettoyée à nouveau avant de procéder à l'asphaltage.

3.2 Couche de collage

Nous référons au Dossier CRR 14 [10] pour une description détaillée des recommandations pratiques de mise en œuvre des émulsions cationiques bitumineuses utilisées en tant que couches de collage dans les voiries.

3.2.1 Fonction d'une couche de collage

La couche de collage a pour but de réaliser l'adhésion entre les différentes couches. Cette adhésion revêt une importance capitale pour la portance et la durée de vie du revêtement. Lorsqu'elle est insuffisante, les couches peuvent glisser les unes par rapport aux autres sous l'effet des forces de frottement horizontales induites par le trafic ce qui a son tour cause un mauvais transfert de charges vers les couches sous-jacentes.



Figure 3.6 – Couche de collage en cours de pose

La couche de collage joue aussi un rôle important lors de la pose de l'enrobé. Sans bonne couche de collage, l'enrobé peut glisser lors du compactage, ce qui cause l'apparition de fissures.

3.2.2 Matériaux utilisés

Pour obtenir une adhésion optimale, on applique des émulsions cationiques bitumineuses en tant que couche de collage. Ces émulsions fines (de faible viscosité) sont faciles à pulvériser, ce qui permet une répartition uniforme sur la couche sous-jacente.

3.2.2.1 Types de couche de collage

En Belgique, on utilise généralement des émulsions rapides et semi-rapides, cette rupture dépendant de la température ambiante, de l'humidité de l'air et du revêtement à traiter. Le tableau 3-1 indique les différents types d'émulsions, en tant que couche de collage, d'application en Belgique et leurs utilisations courantes:

- couche de collage;
- couche de collage sur béton jeune;
- couche de collage visqueuse;
- couche de collage pour RUMG.

Code selon la NBN EN 13808 [11]	Application			
	Couche de collage	Couche de collage sur béton jeune	Couche de collage visqueuse	Couche de collage pour RUMG
C60By	√			
C60By* à pH élevé		√		
C60BPy	√	√		
C60By(AA)**	√			
C60BPy(AA)**	√			
C65BPy***				√
C67By			√	
C67BPy			√	
C69BPy			√	

Tableau 3.1 – Différents types d'émulsions recommandées comme couche de collage en fonction de leur application courante

y: Classe d'indice de rupture, à déclarer par le fabricant conformément à la NBN EN 13808;

*: Pour une émulsion pour couche de collage sur béton jeune, le pH prescrit sera $\geq 4,5$ pour le CCT 2015 et ≥ 5 pour le SB250 version 3.1a;

** : AA : Anti-adhérente;

***: Emulsion au latex pour RUMG.

3.2.2.2 Critères pour effectuer le choix d'une couche de collage

Quatre critères principaux doivent être pris en compte pour effectuer le choix adéquat d'une émulsion comme couche de collage:

- le type de revêtement bitumineux et son épaisseur: plus les enrobés sont minces, plus ils sont fortement sollicités en cisaillement. Il est alors conseillé d'utiliser des émulsions à base de liant résiduel plus cohésif;
- le support: le type (béton ou enrobé bitumineux) et l'état (neuf, fraisé, déjà circulé, etc.) de la surface de la couche sous-jacente conditionnera les caractéristiques des émulsions (pH, teneur et type de liant, etc.). Pour plus de détails, le lecteur peut se référer à [10];
- les conditions météorologiques: la température, le taux d'humidité, l'ensoleillement et le vent détermineront la sélection appropriée de la vitesse de rupture de l'émulsion. En Belgique, on utilise généralement des émulsions rapides et semi rapides;
- l'anti-adhérence aux pneumatiques: elle peut être obtenue principalement par l'utilisation d'émulsions fabriquées à base de bitume plus dur, plus connues sous le nom d'émulsions propres ou anti-adhérentes (AA).

3.2.2.3 Quantité d'émulsion à épandre

Les dosages doivent être donnés en quantité de liant résiduel (en g/m²) de bitume restant à l'interface, c'est-à-dire après élimination de l'eau, plutôt qu'en quantité d'émulsion de bitume puisque la teneur en bitume de celle-ci peut être différente selon le type d'émulsion (voir tableau 3.1).

La quantité d'émulsion à épandre dépend de différents facteurs:

- la texture de la couche à traiter et de la couche à poser;
- la teneur en liant de l'émulsion.

La quantité requise varie généralement entre 200 et 300 g de liant résiduel par m². Il faut éviter l'application d'une quantité insuffisante ou excessive d'émulsion:

- une quantité insuffisante d'émulsion ne permet pas d'obtenir une résistance suffisante en cisaillement et à la traction;
- une quantité excessive d'émulsion augmente la durée du mûrissement et peut permettre un certain déplacement des couches l'une par rapport à l'autre.

3.2.3 Choix du type de répandeuse

On choisira le type de répandeuse de liant à mettre en œuvre sur base de plusieurs paramètres:

- le type de liant à épandre;
- les caractéristiques du chantier: géométrie et taille;
- le rendement attendu;
- la quantité de liant à répandre par m².

3.2.4 Pose de la couche de collage

Le revêtement doit être propre et sec avant la pose de la couche de collage, il ne peut en aucun cas présenter d'eau ruisselante ni d'eau stagnante en surface. Par temps de pluie, il est interdit d'épandre de l'émulsion, car celle-ci serait diluée et il ne resterait plus suffisamment de liant pour assurer une bonne adhésivité. De plus, des risques de pollution se présentent également. En cas de risque d'averse avant que l'émulsion ait eu le temps de rompre, il est alors préférable de retarder la pose de la couche de collage.

Lorsque l'humidité de l'air est élevée (notamment en cas de brume ou de brouillard), il faut parfois plusieurs heures avant la rupture totale de la couche de collage.

Entre la pose de la couche de collage et la pose de la couche d'enrobé, aucun véhicule ne peut circuler sur la couche de collage, et il est préférable de limiter au maximum le trafic de chantier. Il faut également éviter de marcher sur la couche de collage, car l'émulsion de bitume est bien entendu glissante et salit les chaussures. La couche de collage doit rester propre (éviter les feuilles mortes collées ou autre).

Il faut toujours éviter le passage des compacteurs sur la couche de collage, car l'enrobé à compacter pourrait alors coller aux rouleaux et ceux-ci pourraient alors ne pas bien aplanir l'enrobé et laisser une empreinte dans celui-ci.

Il est recommandé de poser la couche de collage le même jour que les couches bitumineuses neuves sous-jacentes, surtout lorsque les conditions météorologiques sont moins favorables. La couche sous-jacente est alors plus sèche et plus chaude, ce qui accélère la rupture de l'émulsion.

La pose de la couche de collage juste avant l'enrobé a pour inconvénient qu'une partie de l'émulsion nouvellement posée peut être éliminée par le trafic de chantier. L'émulsion va fortement adhérer aux pneus des poids lourds et laisser des traces noires sur d'autres revêtements, surtout au niveau des croisements, des ralentisseurs, dans les virages, et surtout sur les pavés en béton. Il est donc recommandé de travailler autant que possible sur une couche de collage suffisamment rompue (voire mûrie) avant de procéder à la pose de l'enrobé. Pour rappel, d'un point de vue plus pratique [10]:

- la rupture se marque par le passage d'une coloration brune à une coloration noire puisque le bitume se transforme en un film continu;
- lorsque le mûrissement est achevé, on ressent une sensation collante lorsque l'on appuie son doigt sur la couche de collage sans que du bitume ne reste adhérent sur le doigt après avoir appliqué cette pression. Ceci n'est pas le cas juste après la rupture.

Si possible, il est préférable de placer les clinkers, les passages piétons, les ralentisseurs et autres dispositifs en pavés de béton après l'asphaltage.

3.2.5 Protection de la couche de collage

Le répandage de l'émulsion réalisé, il est préconisé de protéger la couche de collage. Toute circulation sur la couche recouverte d'émulsion est par conséquent interdite, excepté celle des finisseurs et des camions destinés à les approvisionner. Afin de protéger la couche de collage contre l'arrachement par les roues ou chenilles de ces véhicules de chantier, certaines solutions sont à disposition mais il ne faut en aucun cas sabler une couche de collage, sinon elle perd toute son efficacité:

- employer des émulsions avec des liants résiduels plus durs, émulsions dites «anti-adhérentes», afin de réduire le temps de rupture et l'arrachement du liant par les pneus des véhicules. Leur application

- est généralement conseillée lorsque les conditions météorologiques sont estivales, permettant entre autres effets, d'augmenter la température de ramollissement du liant résiduel;
- appliquer du lait de chaux après rupture complète de l'émulsion. Ce lait de chaux est un mélange homogène de chaux et d'eau. Le lait de chaux est obtenu à partir d'une chaux CL90S (chaux hydratée avec indice de pureté 90) suivant la NBN EN 459-1 [12]. Le lait de chaux comprend 4 à 6 g de chaux par 100 g de produit. Le lait de chaux est répandu avec un dispositif permettant de le répandre de façon homogène à raison de 250 g/m². La pose des enrobés peut être faite immédiatement après. Le lait de chaux n'est pas répandu si des précipitations météorologiques sont prévisibles. La pose de l'enrobé est alors postposée;
 - utiliser sur une émulsion mûrie un brumisateuseur d'eau sur les roues des véhicules de chantier ou entretenir la présence d'un film d'eau à la surface du revêtement par un arrosage fin (dosage préconisé variant entre 400 et 1000 g/m²);
 - gravillonner la couche de collage (généralement des granulats 4/6,3 ou parfois 6,3/10 si le dosage en émulsion est élevé). Il faut cependant que le seuil de gravillonnage permette de remplir les deux conditions suivantes: une bonne tenue des couches d'enrobés entre elles (cela signifie un taux d'épandage en gravillons pas trop élevé) et un collage aux pneumatiques très limité (cela signifie un taux d'épandage en gravillons pas trop réduit). Cette technique est plus couramment utilisée en France (dosage variant entre 2 à 3 kg de gravillons par m²), mais elle est également utilisée en Belgique et au Grand-Duché de Luxembourg (léger gravillonnage en 4/8 prélaqués; le dosage est adapté de manière à avoir un pouvoir couvrant de 50 % de la surface);
 - utiliser un finisseur à rampe intégrée qui permet consécutivement et en un seul passage le répandage de l'émulsion et l'application du revêtement en enrobé.

Le choix entre ces solutions se fera en fonction de la situation rencontrée (prévisibilité du problème, montée brusque en température, quantité de liant épandue, etc.). L'utilisation de sable est exclue, car la couche de collage ne pourrait alors plus remplir son rôle.

3.2.6 SAMI

Les SAMI (*Stress-Absorbing Membrane Interlayer*) sont constitués d'une épaisse couche de liant modifié. Cette couche est gravillonnée puis compactée, afin de permettre la circulation des véhicules de chantier.

Les SAMI résistent aux importantes déformations horizontales qui se produisent dans et autour des fissures et sont en outre totalement imperméables. Ils peuvent diffuser de l'énergie en se déformant soit horizontalement, soit verticalement, ce qui rend plus difficile la propagation d'une fissure vers une couche supérieure. La fissuration réfléctive est ainsi évitée, et le tapis d'enrobé peut éventuellement être plus mince. Grâce à leur perméabilité, ces couches protègent également de manière efficace la structure sous-jacente contre les infiltrations d'eau.

3.3 Pose des enrobés au finisseur

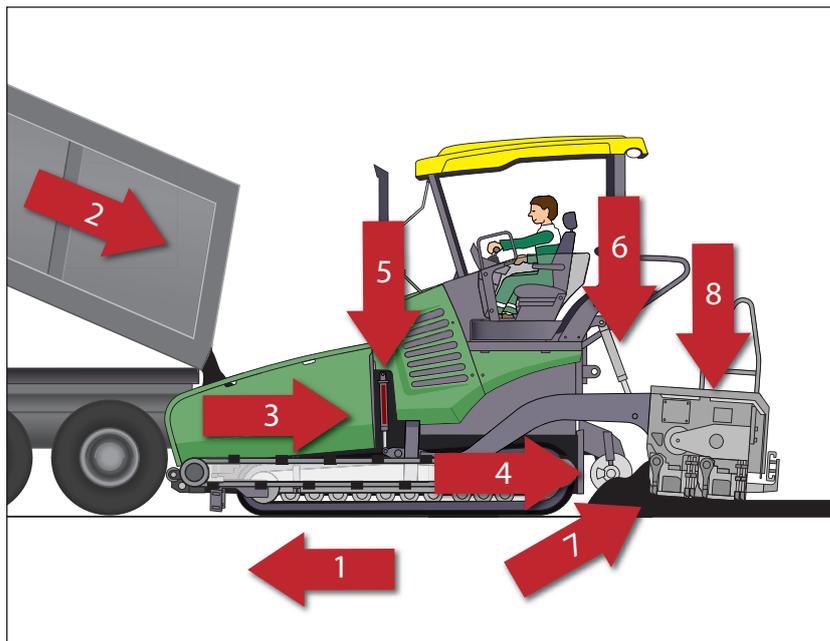


Figure 3.7 –
Coupe schématique d'un finisseur

1. Entraînement de déplacement du finisseur
2. Transfert d'enrobé du véhicule de transport dans la trémie du finisseur
3. Convoiement de l'enrobé à travers l'intérieur de la machine jusque devant la table flottante
4. Répartition de l'enrobé sur la largeur de pose de la table
5. Réglage en hauteur pour ajuster l'épaisseur de pose
6. Verrouillage de la table, relevage de la table, position flottante
7. Chauffage pour chauffer les tôles lisseuses sur le dessous de la table, ainsi que le dameur et les lames de pression
8. Table de finisseur avec dispositifs de précompactage

Pour atteindre le niveau de qualité requis actuellement, il est fortement conseillé de poser les enrobés bitumineux à la machine. Ce n'est que dans des circonstances exceptionnelles ou quand la mise en œuvre à la machine est impossible qu'ils peuvent être posés à la main.

Lors de la pose, le matériau est d'abord déversé par les camions d'alimentation dans la trémie de réception du finisseur, puis amené par les convoyeurs à barrette vers la vis de répartition qui le répartit devant la table de finisseur où se déroule le processus de pose proprement dit.

Pour la facilité de lecture, nous répétons ici la figure déjà présentée au § 1.4.1.

3.3.1 Personnel



Figure 3.8 – *Equipe de pose*

Une équipe de plusieurs personnes est nécessaire pour l'opération de pose. Plus spécifiquement pour la conduite du finisseur, il est nécessaire d'avoir sur place:

- un responsable d'équipe pour la coordination des livraisons et de la pose;
- le conducteur qui commande les déplacements de la machine (guidage en translation), la vitesse d'épandage et le remplissage de la trémie de réception;
- les régleurs qui se déplacent de part et d'autre du finisseur (un sur chaque côté) et commandent l'alimentation et le réglage de la hauteur des points de traction de la table flottante.

La conduite du finisseur est assujettie au temps de réponse de la table de finisseur, aux variations de réglage mais également à la capacité d'anticipation des opérateurs lorsqu'il faut franchir des obstacles. Il est donc très important que le personnel manipulant ces machines soit très bien formé. Beaucoup de fabricants proposent eux-mêmes des formations pratiques sur leurs machines.

3.3.2 Réglage et démarrage du finisseur

3.3.2.1 Contrôles avant la mise en marche

Le démarrage du finisseur doit être soigneusement préparé, surtout lors de la pose des couches de roulement au droit des joints de raccordement.

Avant d'entamer la pose, il est indispensable que le conducteur s'assure du parfait fonctionnement des divers équipements et de la propreté des différentes parties du finisseur. Il pulvérise de l'huile anti-collage sur les parties destinées à être en contact avec l'enrobé bitumineux. Les produits à base d'hydrocarbure sont à proscrire suite, notamment, aux risques de santé des ouvriers et au fait qu'ils dissolvent les liants bitumineux.

Le responsable de l'équipe s'assurera quant à lui que la production d'enrobé a bel et bien commencé et que l'approvisionnement continu est assuré (nombre de camions, fluidité du trafic, etc.).

3.3.2.2 Chauffage de la table

Les éléments de la table de finisseur en contact avec l'enrobé bitumineux (dameurs vibrants et table vibrante) doivent être préchauffés. Le chauffage de ces éléments a pour effet de faciliter le glissement et le lissage du matériau. La pose de l'enrobé ne pourra débuter tant que ces éléments n'auront pas atteint une température de l'ordre de 90 °C, sous peine de voir apparaître des arrachements superficiels dans le revêtement derrière la table.

Ce préchauffage, qui doit être uniforme, est plus long pour les couches de roulement car les exigences sur la texture de celles-ci sont plus élevées que celles qui concernent les couches de reprofilage ou de liaison. Durant la pose, le système de chauffage doit pouvoir maintenir les tôles à une température suffisante en continu et de manière automatique.

3.3.2.3 Réglage de l'épaisseur de pose

Avant de démarrer, on contrôlera que l'épaisseur de pose est au moins trois fois plus grande que le plus gros calibre de granulat contenu dans l'enrobé. Si ce n'est pas le cas, il peut y avoir des fragmentations des granulats et la table commencera à sauter en raison de l'énergie des groupes de compactage. De plus, il existe un risque que la table ne puisse maintenir le niveau souhaité et qu'elle pose une épaisseur trop grande. Les fragmentations des granulats sont reconnaissables au fait que la couleur de la pierre

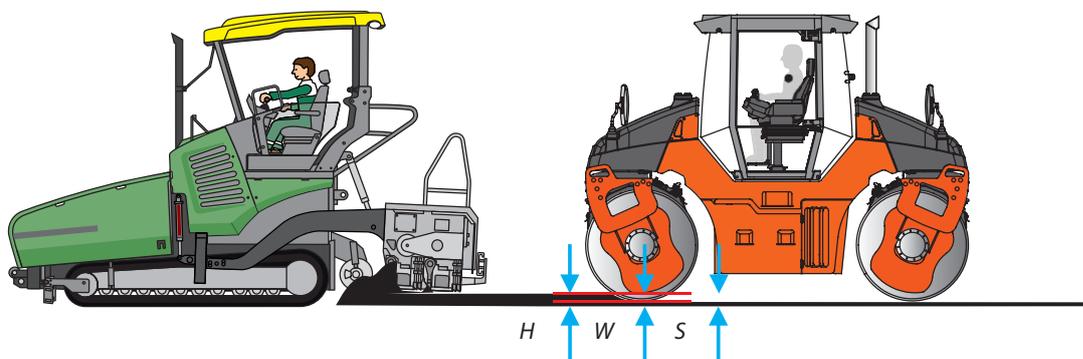


Figure 3.9 – Réglage de l'épaisseur de pose

de l'enrobé apparaît sur la surface. Elles se remarquent rapidement puisque tous les composants de l'enrobé sont généralement recouverts de bitume noir.

Comme la pose est soumise à l'influence d'une multitude de paramètres, il n'a pas été possible jusqu'à ce jour de développer une formule fournissant des valeurs précises pour régler les vérins de nivellement pour une épaisseur de couche donnée. Les réglages sont donc à vérifier sur chantier après les premiers mètres posés et à corriger en conséquence en modifiant la position des vérins de nivellement.

La table n'effectuant que le précompactage, le compactage définitif étant réalisé ultérieurement à l'aide de rouleaux-compacteurs, il faudra se baser sur une compression (marge de compactage «W») du matériau entre «H» et «S» (figure 3.9), dont il conviendra de tenir compte préalablement dans la détermination de l'épaisseur de pose.

«H» est la hauteur de l'enrobé après précompactage par la table flottante, «S» l'épaisseur après compactage et «W» la différence entre les deux. D'habitude «H» est de 20 % supérieur à «S». Pour des mélanges à squelette pierreux, cette différence est un peu moins importante.

Comme la table déposée aurait besoin de parcourir une certaine distance avant d'atteindre l'épaisseur de pose en raison de son comportement de flottaison, elle est déposée, vide, au niveau de l'épaisseur de pose dès le départ. Suivant les cas, ceci peut être réalisé de trois façons:

1. Si on démarre la pose sans devoir se raccorder à un niveau existant

La table est alors posée sur des cales disposées sur le support existant. L'épaisseur de ces cales correspond à l'épaisseur de la couche à poser majorée de la surépaisseur nécessaire (environ 20 %) pour compenser l'écrasement dû au compactage.

2. Si on doit se raccorder à un revêtement existant:

La table doit alors être posée sur des cales disposées sur le revêtement existant. L'épaisseur de ces cales correspond dans ce cas à la surépaisseur nécessaire pour compenser l'écrasement dû au compactage.

3. Si on réalise tout d'abord une bande transversale de référence

Il est parfois intéressant, pour peu que la taille du chantier et la disposition des lieux le permettent, de procéder d'abord à la pose d'une bande transversale qui servira de référence et d'assise pour le démarrage du finisseur et qui facilitera la pose des bandes longitudinales. Le démarrage du finisseur pour cette bande sera réalisé comme décrit au point 1 ci-dessus. Pour les bandes longitudinales il sera procédé suivant le point 2.

Après le passage des rouleaux compacteurs, il conviendra de contrôler si la surface présente la hauteur exigée. En cas de divergence, la hauteur de pose devra être corrigée de nouveau, jusqu'à ce que le résultat obtenu derrière les rouleaux compacteurs soit satisfaisant.



Figure 3.10 – Raccordement au revêtement existant



Figure 3.11 – Contrôles de niveau

3.3.2.4 Réglage de l'angle d'attaque de la table

Une fois le positionnement de la table de finisseur effectué, les régleurs donnent à celle-ci un angle d'attaque, également appelé angle d'incidence, qui permet d'obtenir l'épaisseur à mettre en œuvre.

L'angle d'attaque α est l'angle formé par le fond de la table de finisseur et la surface de pose.

Il est possible d'agir sur l'angle d'attaque par l'intermédiaire d'un mouvement vertical des points d'attache de la table à l'aide des vérins de nivellement pour permettre une modification de l'inclinaison de celle-ci et ainsi la forcer à monter ou descendre. On veillera toutefois à ce que l'angle d'attaque soit positif pour ne pas provoquer de déformations dans la couche posée.

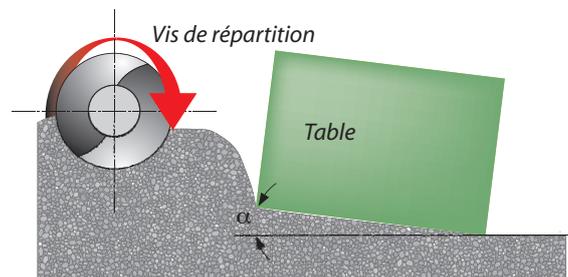


Figure 3.12 – Angle d'attaque de la table

L'angle d'attaque de la table et la vitesse du finisseur ont une influence directe sur l'uniformité de l'épaisseur du revêtement. Si l'angle d'attaque s'ouvre ou si la vitesse diminue, l'épaisseur tend à augmenter. Si l'angle d'attaque se ferme ou si la vitesse augmente, l'épaisseur tend à diminuer.

Il n'existe pas vraiment de relation universelle entre l'angle d'attaque de la table et l'épaisseur puisqu'elle peut varier d'un finisseur à l'autre et qu'elle est fortement influencée par les paramètres propres à la table (poids, paramètres de vibration, etc.) et les caractéristiques de l'enrobé mis en œuvre (portance, compactibilité, etc.). Par exemple, pour une épaisseur de 10 cm, l'angle d'attaque variera entre 0,1 et 0,4°. On tendra vers les valeurs basses pour des enrobés bitumineux standard et vers les valeurs hautes pour les graves bitume.

Le savoir-faire et l'expérience de l'équipe de pose sont très importants pour le choix du bon angle.

Tout ajustement des réglages en cours de pose requiert une distance équivalant à au moins cinq fois la longueur du bras de levier de la table pour que les forces se rééquilibrent et que l'ajustement soit terminé.

3.3.2.5 Réglage de la hauteur de la vis de répartition

Un autre point important à prendre en compte est la hauteur de la vis de répartition. Le système de vis peut se soulever ou s'abaisser pour permettre un débit de matériau adapté suivant l'épaisseur souhaitée de la couche. Si la vis de répartition est positionnée trop bas, le flux de matière sera arrêté et l'enrobé sera trop ouvert. Par contre, si la vis de répartition est trop haute, l'enrobé ne sera pas transporté jusqu'à l'extrémité de la table.

En général, la règle suivante est d'application: la distance entre la surface de la couche précompactée et le niveau inférieur de la vis de répartition est réglée sur cinq fois le diamètre maximal des granulats du mélange. Par exemple, si le diamètre maximal des granulats est égal à 20 mm cette distance sera réglée à 100 mm.

Sur les finisseurs récents, le système d'alimentation par vis est monté sur vérins hydrauliques, ce qui permet un réglage facile et pratique.

3.3.2.6 Mise en route du finisseur

Une fois les réglages réalisés, l'alimentation en enrobé du finisseur peut commencer. On veillera, en début d'alimentation, à ce que la benne basculante du camion ne soit pas relevée trop rapidement afin d'éviter tout débordement d'enrobé bitumineux au-dessus des parois de la trémie.

Les convoyeurs à barrettes et les vis de répartition sont alors enclenchés de manière à amener une quantité suffisante d'enrobé tout le long du déflecteur de la table flottante. Au besoin, une aide manuelle doit être apportée afin que l'enrobé puisse atteindre les extrémités de la table lorsque celle-ci est en position d'ouverture maximale alors que les vis de répartition et les tôles limitatrices du couloir de vis n'ont pu être prolongées.

L'opération consistant à amener l'enrobé devant la table (déversement de l'enrobé dans la trémie, convoyage par les convoyeurs à barrettes et répartition par les vis) doit se réaliser en un laps de temps le plus réduit possible afin d'éviter un refroidissement trop rapide de l'enrobé.

3.3.3 Alimentation en enrobés du finisseur

3.3.3.1 Opération de chargement

L'alimentation du finisseur par les camions n'est pas une banale opération parmi les autres, elle nécessite de la part des chauffeurs et de l'opérateur une attention de tous les instants.

Le chargement du finisseur se fait pendant qu'il continue à avancer. Les camions d'approvisionnement doivent reculer de manière à se positionner centrés sur la trémie du finisseur.

Ils doivent s'arrêter à quelques centimètres des rouleaux de poussage du finisseur sans les heurter de manière à éviter tout choc contre le finisseur. De tels chocs se répercutent en effet directement sur l'angle d'attaque de la table et donc sur l'uniformité du profil du revêtement. Ils causent dès lors des marques dans l'enrobé posé au niveau du bord arrière de la table.

Les rouleaux de poussage doivent être propres et en état de tourner. Le finisseur s'approche alors et vient appuyer ses rouleaux pousseurs sur les pneus du camion.



Figure 3.13 – Chargement du finisseur



Figure 3.14 – Détail des rouleaux de poussage

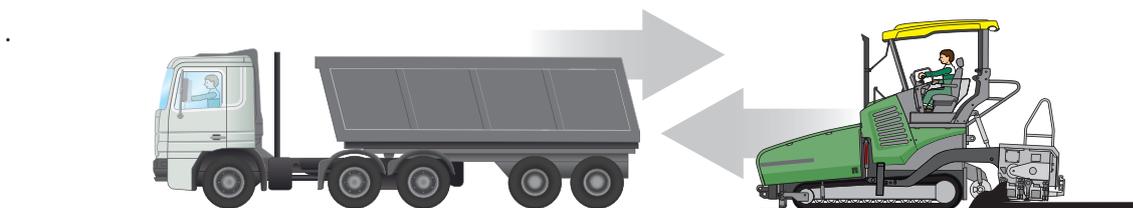


Figure 3.15 – Marche arrière du camion

La boîte de vitesse du camion est «au point mort» mais son chauffeur maintient une légère pression sur les freins pour que le camion ne se fasse pas «chasser» lors du déversement des enrobés dans la trémie. A tout moment, le camion doit rester en contact avec les rouleaux pousseurs du finisseur.



Figure 3.16 – Contact entre camion et finisseur

La benne du camion est basculée lentement de manière à ce que l'enrobé s'écoule lentement dans la trémie, sans débordements et sans créer de ségrégation de gros granulats. Il est important que les bennes des camions aient été bien lubrifiées de façon à décharger le mélange d'enrobés en une seule masse glissant vers la trémie du finisseur. De même, il importe que les bennes de camion n'aient pas été chargées trop près de la porte arrière, afin d'éviter la chute des enrobés sur le support lors de son ouverture. Faute de cela, des amas refroidis seront intégrés dans le revêtement.



Figure 3.17 – Le finisseur pousse le camion durant le déchargement

Il est nécessaire de veiller à ce que la trémie de réception du finisseur soit bien remplie au moment de chaque changement de camion de manière à limiter au maximum le risque d'arrêt du finisseur.

Les parois latérales de la trémie du finisseur doivent être basculées au moins après le déchargement de chaque camion et lorsqu'il y a encore suffisamment d'enrobés sur les convoyeurs à barrettes pour éviter l'accumulation d'une trop grande quantité de matériau refroidi dans les coins.



Figure 3.18 – Parois latérales du finisseur basculées

3.3.3.2 Précautions à prendre lors du déversement

Pendant le déversement de l'enrobé dans la trémie de réception du finisseur ou lors du changement de camion, il arrive que de petites quantités d'enrobé bitumineux s'écoulent devant celui-ci.

Or, pour réaliser un uni de qualité du revêtement, le train de roulement du finisseur doit évoluer sur une surface la plus plane possible. Il est donc nécessaire:

- de limiter la chute d'enrobé devant le finisseur. Pour cela, la benne ne doit pas être relevée trop rapidement, la quantité d'enrobé déversé dans la trémie ne doit pas être excessive et les bavettes souples situées à l'avant de la trémie de réception doivent être suffisamment grandes, entretenues et bien disposées;
- d'éliminer ces petits agglomérats d'enrobés.

A défaut de disposer d'un préposé pour cette tâche, il est conseillé de positionner les chasse-pierres devant les chenilles ou les roues du finisseur. Ceux-ci agiront de manière à ce que le chemin de roulement de la machine soit bien dégagé et exempt de tout dépôt quelconque. Il faudra néanmoins veiller à ne pas oublier de les relever à l'approche de tous les obstacles dépassants (accessoires de voirie, bordures transversales, etc.) ou du joint avec un revêtement existant.

Lors du déversement des enrobés il faut également veiller à ce que le passage ne soit pas obstrué lorsque le camion est poussé avec sa benne en position relevée. Le passage peut, par exemple, être obstrué par:

- des branches basses;
- des câbles croisant la route;
- des ponts et tunnels;
- d'autres constructions temporaires.

S'il y a beaucoup d'obstacles, il est envisageable d'utiliser des camions avec des bennes poussantes au lieu de basculantes.

3.3.3.3 Alimentation du finisseur sur chaussée en forte pente

Il est recommandé de poser l'enrobé dans le sens de la pente montante pour éviter que l'enrobé poussé par la table flottante ne se laisse aller devant celle-ci et pour que les camions restent bien contre le finisseur.

Si cela est impossible, par exemple parce que le finisseur patine en avançant, la pose sera faite en pose descendante. Il est alors indispensable de bien veiller au maintien du contact finisseur-camion. Une attention toute particulière doit être observée par les chauffeurs car les camions, sous l'effet de leur poids, ont tendance à se «laisser décrocher» des rouleaux pousseurs du finisseur, ce qui peut occasionner des déversements d'enrobé importants devant le finisseur.



Figure 3.19 – Enrobé déversé à côté de la trémie



Figure 3.20 – Chasse-pierres monté devant les chenilles



Figure 3.21 – Travail en forte pente

3.3.3.4 Nettoyage des camions

Dès qu'il est déchargé, le camion quitte la zone d'asphaltage avec la benne en position baissée pour éviter tout accrochage aux câbles électriques ou autres obstacles aériens. Il se rendra à l'endroit prévu pour le nettoyage situé en dehors de la zone d'asphaltage pour éviter des dépôts d'enrobé sur le revêtement.

La vidange des bennes doit être complète et le temps de nettoyage des camions le plus court possible.



Figure 3.22 – Nettoyage d'un camion

3.3.4 Vitesse d'avancement du finisseur

La vitesse du finisseur doit être choisie avec soin. En effet, il existe un seuil minimal de vitesse du finisseur pour que la table «flotte» sur l'enrobé. D'un autre côté, un avancement trop rapide du finisseur peut également poser problème. En effet, le précompactage est moins efficace dans ces conditions et, parfois, il apparaît des fissures transversales dans la couche posée, surtout pour des mélanges maigres (avec relativement peu de bitume). Par ailleurs, un angle d'attaque de la table trop grand favorise également les inégalités.

Il conviendra dès lors de choisir une vitesse permettant de réaliser un bon précompactage et de faire flotter la table sur le tapis d'enrobé avec un petit angle d'attaque.

Par ailleurs, la vitesse d'avancement du finisseur doit être maintenue aussi constante que possible de manière à assurer une planéité optimale de la surface et obtenir un précompactage optimal et homogène derrière la table de finisseur. Ceci peut être réalisé par la détermination exacte de la quantité appropriée d'enrobés à fournir par heure. Des variations de vitesse auront en effet pour conséquence la création d'irrégularités de surface du fait que le précompactage réalisé par la table sur l'enrobé ne sera pas uniforme.

La vitesse d'avancement du finisseur doit être fixée sur base de plusieurs paramètres:

- le type de mélange mis en œuvre: on avancera plus lentement si on pose un mélange plus rigide;
- l'épaisseur et largeur de la couche à poser: vitesse plus faible si la couche est épaisse et/ou large;
- la difficulté d'exécution (courbe serrée, élargissement, obstacles, etc.);
- la capacité d'approvisionnement par la centrale et les camions: vitesse plus faible si la capacité d'approvisionnement (capacité de la centrale, nombre de camions, fluidité de la circulation, etc.) est basse. On doit en effet absolument éviter que le finisseur doive s'arrêter en cours de travail par manque de matériaux. Si une certaine vitesse élevée est imposée, il faut augmenter la capacité d'approvisionnement si celle-ci n'est pas suffisante pour permettre d'atteindre cette vitesse;
- les capacités du finisseur (transport de l'enrobé de la trémie de réception vers la vis de répartition, distribution de l'enrobé par la vis de répartition sur la largeur totale de la table, précompactage par les dameurs et la table vibrante);
- l'adéquation entre les ateliers de pose et de compactage (nombres de compacteurs, etc.).

En première approximation, l'estimation de la vitesse du finisseur adaptée au taux de production de la centrale est décrite par la formule suivante:

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

Equation 3.1 – Calcul de la vitesse du finisseur

La vitesse normale d'avancement d'un finisseur varie entre 3 et 12 m/min. Le plus souvent elle est réglée entre 4 et 8 m/min.

Dans le cas particulier de la pose avec deux ou plusieurs finisseurs en parallèle, le finisseur de tête donne le tempo de l'avancement pour les autres machines. Celles-ci aligneront leur vitesse d'avancement sur celle de la première en maintenant une distance maximale entre elles d'une cinquantaine de mètres.

3.3.5 Processus de pose de l'enrobé

3.3.5.1 Répartition de l'enrobé devant la table de finisseur

Une fois livré dans la trémie du finisseur, l'enrobé est amené vers la partie arrière par les convoyeurs à barrettes. Ceux-ci le déposent devant la vis de répartition qui distribue à son tour l'enrobé sur toute la largeur de la table. Deux paramètres sont importants ici pour le bon déroulement des opérations d'asphaltage:

- le niveau de l'enrobé devant la vis de répartition. Ce paramètre est directement lié à la quantité d'enrobés, amenée par les convoyeurs;
- l'homogénéité de la répartition de l'enrobé devant la table.

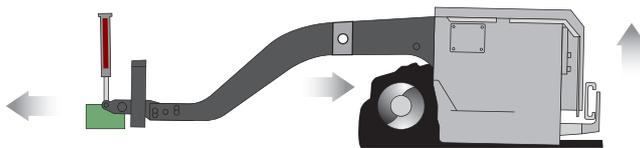
3.3.5.1.1 Surveillance du niveau de l'enrobé devant la vis de répartition

Le matériau doit être maintenu à un niveau constant devant le déflecteur de la table afin d'éviter des variations dans l'uniformité du profil du revêtement. En effet:

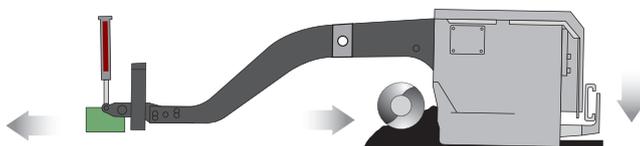
- en cas de diminution de la quantité d'enrobé devant le déflecteur de la table, la force de résistance devant celle-ci diminue et la table a tendance à descendre par manque de portance. Un manque d'enrobé peut aussi provoquer de l'arrachement sur les côtés du revêtement et des déchirements au centre entre les deux vis de répartition;
- à l'inverse, si il y a trop d'enrobé devant le déflecteur de la table, celle-ci a tendance à vouloir monter du fait de l'augmentation de la pression et donc de la densité du mélange. Un surplus d'enrobé peut également faire apparaître des rides à la surface du revêtement.

Dans les finisseurs actuels, des capteurs permettent de détecter toute variation de la quantité d'enrobé devant la table et ajustent automatiquement la quantité d'enrobé par action sur les convoyeurs à barrette et les vis de répartition.

Si la quantité d'enrobé devant le déflecteur de la table augmente, cette dernière a tendance à monter et l'épaisseur de la couche va augmenter.



Si la quantité d'enrobé devant le déflecteur de la table diminue, celle-ci a tendance à descendre (quantité de matériaux insuffisante pour soutenir la table) et l'épaisseur de la couche diminuera.



Si la quantité d'enrobé devant le déflecteur de la table reste correcte et constante, les forces qui agissent sur la table sont en équilibre. La table se maintient au niveau demandé.

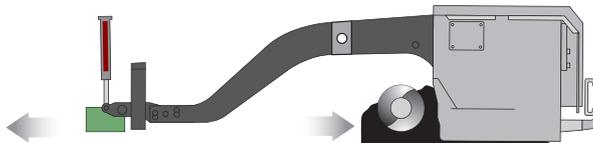


Figure 3.23 – Niveau de l'enrobé devant la roue de répartition

Ces systèmes permettent même une variation dans les deux sens, proportionnelle et indépendante, des deux convoyeurs et des deux vis de répartition. Ils peuvent travailler lentement et en continu, sans aucun à-coup.

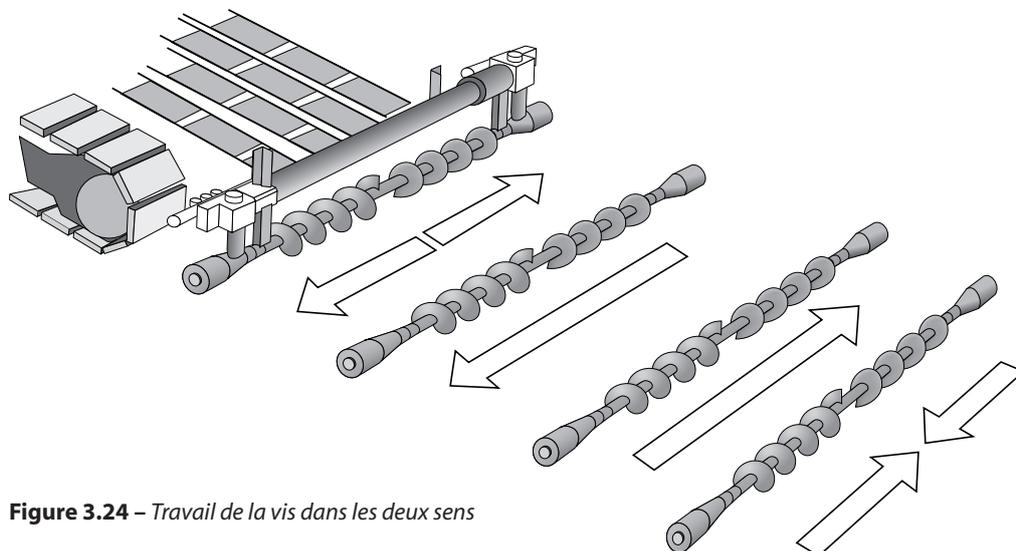


Figure 3.24 – Travail de la vis dans les deux sens

3.3.5.1.2 Homogénéité du niveau de l'enrobé devant la table

Le niveau de l'enrobé n'est pas le seul paramètre important. On suivra également de près sa répartition homogène sur toute la largeur de pose. Il est recommandé d'utiliser les tôles limitatrices du couloir de vis et les prédéflecteurs pour faciliter cette opération. En pratique, l'alimentation des matériaux doit permettre de recouvrir l'axe des vis jusqu'à deux tiers de la hauteur sur toute leur largeur.

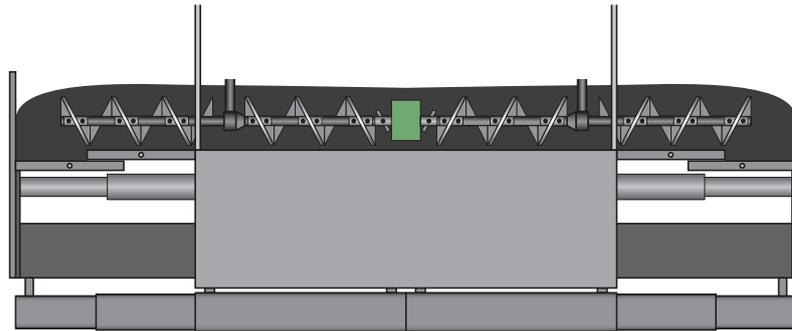


Figure 3.25 – Niveau d'enrobé homogène

Des réglages inadéquats peuvent mener à des situations défavorables de deux types.

1. Trop peu d'enrobé aux extrémités de la table

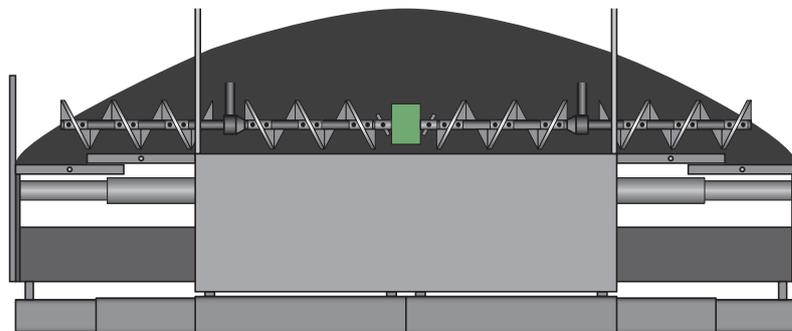


Figure 3.26 – Trop peu d'enrobé aux extrémités

L'enrobé n'est pas transporté en quantité suffisante de l'intérieur vers l'extérieur. Ainsi, il y a beaucoup d'enrobé devant la table de base, tandis que la quantité parvenant aux extrémités de la table est trop faible. Il faudra dès lors:

- augmenter le régime de la vis;
- réduire la vitesse de pose;
- contrôler et éventuellement ajuster la position du capteur qui commande la vis de répartition;
- contrôler et éventuellement ajuster la hauteur de la vis.

2. Trop peu d'enrobé au centre de la table

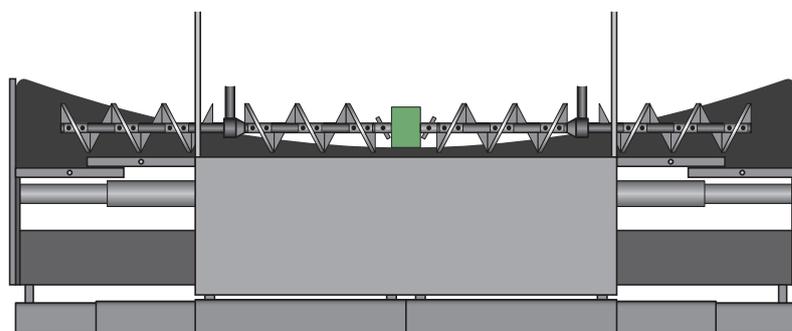


Figure 3.27 – Trop peu d'enrobé au centre

La quantité d'enrobé bitumineux présent devant la table de base est trop faible. Il faudra dès lors:

- augmenter le débit du convoyeur à barrettes;
- réduire la vitesse de pose;
- utiliser les tôles limitatrices de couloir de vis de répartition si ce n'était pas encore le cas;
- vérifier et éventuellement ajuster la position du capteur qui commande la vis de répartition;
- vérifier et éventuellement ajuster la hauteur de la vis.

3.3.5.2 Travail avec la table de finisseur

3.3.5.2.1 Précompactage

La table de finisseur intègre plusieurs tâches importantes:

- elle arase l'enrobé à la hauteur voulue;
- elle maintient l'enrobé sur la bonne épaisseur;
- elle réalise le profil prescrit;
- elle consolide le mélange et en amorce le compactage à l'aide des dameurs vibrants, de la table vibrante et – dans le cas d'une table à haute performance de compactage – des lames de pression;
- elle lisse l'enrobé.

Afin de bien se représenter l'importance de l'étape de précompactage, il faut noter que 80 à 90 % du compactage de l'enrobé mis en place est réalisé lors du passage sous la table de finisseur. Ce précompactage est cependant insuffisant pour permettre la circulation des véhicules et ce, même pour une utilisation temporaire. Le solde de compactage doit être assuré par les compacteurs qui suivent le finisseur.

Un précompactage élevé et uniforme permettra que les variations de l'épaisseur de pose n'influent que peu sur la marge de compactage. Il permettra également d'obtenir la planéité finale et le nivellement souhaités du revêtement. Cette approche est d'autant plus importante si l'uni du support est irrégulier.

Le précompactage doit être obtenu sans briser les gravillons et sans créer de taches grasses. Les paramètres de réglage sont bien évidemment fonction du type d'enrobé mis en place et de l'épaisseur. Pour les couches minces, il faudra par exemple, réduire la puissance du précompactage.

L'essentiel du travail de précompactage est effectué par les dameurs vibrants à la partie avant de la table de finisseur. Ceux-ci ont un mouvement vertical avec une faible amplitude. Leur but principal est de contribuer au passage de l'enrobé sous la table. Ils densifient l'enrobé pour que la table vibrante glisse doucement sur le mélange. La table vibrante complète le compactage et assure un fini lisse. Les lames de pression présentes sur les tables à haut pouvoir de compactage permettent d'augmenter le degré de compactage d'encre 6 à 7 %.

Les paramètres principaux régissant le précompactage sont les suivants:

- le paramètre principal touchant la capacité de précompactage de la table de finisseur est son poids propre. Plus elle est lourde, plus forte sera son action. Il s'agit ici d'un paramètre difficile sinon impossible à modifier lorsque le chantier est en cours d'exécution;
- la vitesse de frappe et la fréquence de vibration des dameurs;
- la fréquence de vibration de la table vibrante qui doit être adaptée à la composition et à l'épaisseur des enrobés posés. Par exemple, si l'épaisseur est faible, la fréquence doit être limitée;
- ces paramètres sont également (et de manière significative) fonction de la vitesse d'avancement du finisseur.

En cours de pose, il est impératif de maintenir les paramètres du tracteur (vitesse d'avancement, quantité d'enrobés dans la trémie, etc.) et ceux de la table (angle d'attaque, alimentation en enrobé, vitesse des dameurs vibrants, etc.) les plus constants possibles.

3.3.5.2.2 Réglage de la table de lissage

Dans le cas d'épaisseurs de pose importantes, la fréquence de vibration n'a qu'une faible influence sur le compactage. La vibration est nettement plus importante lors de la pose de couches de roulement, favorisant une surface fermée et plane derrière la table.

3.3.5.2.3 Réglage des dameurs

Les dameurs doivent être placés, sur toute la largeur de la table, légèrement (environ 0,4 mm) sous le niveau de la table vibrante. Une course trop courte du dameur vibrant rend celui-ci inefficace. Une course trop longue peut provoquer des arrachements en surface.

Plus la course des dameurs est longue, plus le degré de précompactage et la profondeur de compactage seront importants. C'est pourquoi il est recommandé d'ajuster la course des dameurs à l'épaisseur de pose de manière que la table travaille avec l'angle d'attaque positif le plus petit possible. Si la course des dameurs choisie est trop grande par rapport à l'épaisseur de pose, l'angle d'attaque peut devenir négatif. Le résultat peut être une structure de surface ouverte et crevassée ou un comportement de nivellement incontrôlé pouvant causer des irrégularités.

3.3.5.2.4 Interdépendance dameurs/vitesse d'avancement

La vitesse de frappe des dameurs vibrants et la fréquence de vibration de la table vibrante ont des réglages tout à fait indépendants de la vitesse d'avancement du finisseur, mais ces trois paramètres doivent être réglés pour obtenir un équilibre des forces. Si un seul de ces paramètres est modifié, le comportement de la table en est directement influencé.

Si en cours de pose on augmente la vitesse d'avancement du finisseur, cela aura pour conséquence un effet diminué de l'action des dameurs et donc une diminution de la densité de l'enrobé après passage sous la table lisseuse. Un système de nivellement automatique ne remédiera pas au problème. En effet, si le niveau de l'enrobé est bien maintenu constant derrière la table, le degré de précompactage de la couche posée varie de façon inversement proportionnelle à la vitesse.



Figure 3.28 – Influence de la vitesse d'avancement

La vitesse du dameur et la vitesse de pose dépendent fortement l'une de l'autre. Si l'on change la vitesse de pose sans modifier le régime du dameur et la position des vérins de nivellement, cela se répercute sur le degré de précompactage de l'enrobé. Si l'on augmente la vitesse de pose sans augmenter aussi la

vitesse des dameurs de façon synchrone, la portance de l'enrobé diminue et la table pose une plus faible épaisseur avec un plus grand angle d'inclinaison.

En utilisant un dispositif de nivellement automatique lors de la pose de revêtements, on peut certes maintenir le niveau souhaité de la table en augmentant l'angle d'inclinaison, mais le précompactage ne sera pas homogène.

Lors du compactage ultérieur par cylindrage, les différents degrés de précompactage entraînent aussi différentes marges de précompactage qui pourraient, par la suite, causer des irrégularités dans la surface.

L'ajustement de la vitesse de dameur et de la vitesse de pose devra être effectué de façon à ce que la table de finisseur travaille avec un angle d'attaque positif le plus petit possible et que l'usure des groupes de compactage soit la plus faible possible.

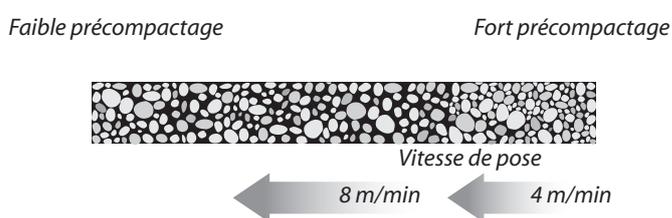


Figure 3.29 – Différence de niveau de précompactage

3.3.5.2.5 Lames de pression

Les lames de pression sont agitées en direction verticale au moyen d'une pression d'huile pulsée. Des ressorts agissant en sens inverse des vérins font revenir la lame de pression dans sa position initiale après la fin de chaque pulsation. Les lames restent toujours en contact avec l'enrobé.

3.3.5.2.6 Recommandations de réglage des groupes de compactage

Type de revêtement	Vitesse de pose	Régime des dameurs		Vibrations		Lames de pression		Température de compactage (°C)
	(m/min)	Course (mm)	Régime (tpm)	Pression (bar)	Régime (tpm)	Pression (bar)	Fréquence (Hz)	
Couche de roulement	>5	2-4	300-800	50-80	1 200-2 000	45-70	58-68	> 100
Couche de liaison	4-10	4	800-1 200	70-90	1 500-2 500	60-90	58-68	> 100
Couche de fondation	2-8	4-7	1 200-1 800	80-100	2 000-3 000	90-110	58-68	> 100

Tableau 3.2 – Réglages des dameurs

3.3.6 Arrêts du finisseur

Les arrêts du finisseur sont à éviter le plus possible car ils peuvent donner des problèmes de planéité du revêtement ou créer des zones trop peu compactées.

Lors d'un arrêt non prévu du finisseur, il peut se passer plusieurs choses:

- la quantité d'enrobé qui se trouve devant la table de finition peut être trop haute ou trop basse selon ce qui est amené par le convoyeur. Ceci peut provoquer des irrégularités de la surface;
- le mélange bitumineux se trouvant en dessous de la table de finition peut être plus compacté que le reste de enrobé. Cela dépend de la température du mélange;
- la zone d'enrobé en dessous de la table de finition refroidit et peut donc devenir difficile à compacter par les compacteurs. Dans ces conditions, il y a danger d'obtenir trop de vides dans la zone concernée.

L'intensité de ces défauts dépend de la durée de l'arrêt, le type et la température du mélange bitumineux, la température extérieure et éventuellement la vitesse du vent.

Le chantier doit donc être organisé de manière à ce que qu'il n'y ait pas d'arrêts intempestifs. Il n'est cependant pas toujours possible de les éviter, par exemple au niveau d'un carrefour où il faut s'aligner à un revêtement existant.

Un arrêt peut être de courte ou de longue durée. La définition des termes «arrêt court» et «arrêt long» n'est cependant pas univoque. Nous pouvons néanmoins considérer qu'au-delà de quinze minutes d'attente, l'arrêt est de longue durée.

3.3.6.1 Arrêt de courte durée

Si le finisseur s'arrête un court instant seulement, il est tout à fait possible de reprendre la pose sans relever la table de finisseur.

Dès l'arrêt de la machine, si le système n'est pas automatique, il faut enclencher le système de verrouillage hydraulique de la table. Ce système permet, en agissant sur les vérins de relevage, d'empêcher la table de s'enfoncer dans la couche nouvellement posée sous la simple action de son poids.

Lors de la remise en marche du finisseur, celui-ci va devoir exercer un effort supplémentaire pour vaincre la résistance de l'amas d'enrobé refroidi devant le déflecteur de la table, et l'équilibre des forces qui existait autour d'elle pendant la pose va être rompu. Pour rétablir cet équilibre, la table va alors se soulever avant de reprendre sa position de travail et une bosse sera créée à la surface du revêtement.

La solution pour éviter l'apparition de ce phénomène est d'utiliser le système de verrouillage anti-soulèvement de la table. En exerçant une pression sur celle-ci par l'intermédiaire des vérins de levage, ce système va s'opposer au soulèvement de la table et lui permettre de se maintenir à son niveau de référence pendant quelques secondes.

Dès que le matériau refroidi est «évacué» sous la table et remplacé par de l'enrobé chaud devant le déflecteur, la pression de lestage est libérée et la table fonctionne alors à nouveau normalement.

3.3.6.2 Arrêt de longue durée

Ce cas se présente, par exemple, en cas d'incident mécanique, de panne de la centrale d'enrobage, de l'arrêt journalier, etc.

Dans ce cas, la seule bonne solution pour pouvoir exécuter un travail de bonne qualité est de relever la table, d'avancer le finisseur, de le vider complètement et de confectionner un joint transversal. Les derniers mètres d'enrobé doivent être enlevés, la faible quantité de mélange bitumineux mis en place ne permettant pas l'obtention des caractéristiques d'un revêtement conforme aux exigences demandées.

En effet, en cas d'arrêt prolongé, l'enrobé laissé devant le déflecteur de la table et l'enrobé en cours de compactage sous la table se refroidit et durcit de telle manière qu'il n'est plus possible de le compacter pour lui donner des caractéristiques demandées. Il est très difficile, voire impossible de redémarrer le finisseur sans créer une bosse.

3.3.7 Guidage du finisseur

3.3.7.1 Guidage dans le sens longitudinal (suivi du tracé)

Pour pouvoir réaliser un tracé harmonieux, l'opérateur doit lors du guidage du finisseur se laisser guider par une référence dans le sens longitudinal.

Un système de guidage tridimensionnel va automatiquement prendre sur lui le guidage de la machine dans le sens longitudinal sur base du GPS et d'un modèle digital du terrain. En l'absence d'un tel système, un élément linéaire de la route (bordure, filet d'eau, etc.) ou le bord du revêtement existant adjacent peut servir de référence. S'il n'y a pas de référence disponible pour le guidage, il faut en créer une. Il y a alors deux possibilités:

- soit un fil correctement tendu en dehors de la voirie, maintenu par des potences et dont l'alignement correspond au tracé de la route;
- soit le traçage, à l'aide d'une peinture adaptée, d'une ligne parallèle au tracé de référence de la route si le support s'y prête (notamment support non poussiéreux).

En utilisant un guide monté à l'avant de la machine, l'opérateur pourra alors se baser sur cette référence pour conduire sa machine précisément et réaliser un tracé conforme.

Lors de la pose en grande largeur, la moindre correction inappropriée de l'alignement du tracteur peut avoir des répercussions importantes sur les bords du nouveau revêtement du fait de l'important porte-à-faux longitudinal de la table qui amplifie toute correction aussi minime soit-elle. Il est alors recommandé de monter sur l'avant du finisseur un dispositif de maintien automatique de direction qui guidera son alignement en continu sur un fil de référence disposé en dehors de la voirie.

3.3.7.2 Guidage vertical (réglage de l'épaisseur)

Pour le guidage vertical, on utilise surtout les vérins de nivellement et des vérins de levage et d'abaissement. Pour une description des systèmes de réglage de la hauteur, référez-vous au § 1.4.4.

Ci-après, les trois fonctionnalités des vérins de levage et d'abaissement sont expliquées. Celles-ci peuvent être réglées manuellement ou activées automatiquement par la machine même.

Les systèmes automatiques les plus sophistiqués commandent ces vérins de manière tout à fait autonome et atteignent une grande précision sans intervention humaine. Ces systèmes sont toutefois onéreux et ne doivent donc être utilisés qu'avec parcimonie sur des chantiers de grande ampleur ou là où les exigences de qualité sont élevées, comme sur des autoroutes ou des aéroports.



Figure 3.30 – Alignement longitudinal du finisseur

3.3.7.2.1 Mode autonivelant (table flottante)

Dans des circonstances normales, l'enrobé est traité avec la table à l'état flottant (voir § 1.4.4.2 pour plus d'explications pour ce réglage). Lors de la pose d'un revêtement sur une surface de travail avec une planéité correcte, cette manière simple d'utiliser le finisseur est même recommandée.

La pose successive de différentes couches avec un finisseur permet d'obtenir un profil toujours plus précis, avec des irrégularités qui diminuent tant en nombre qu'en hauteur.

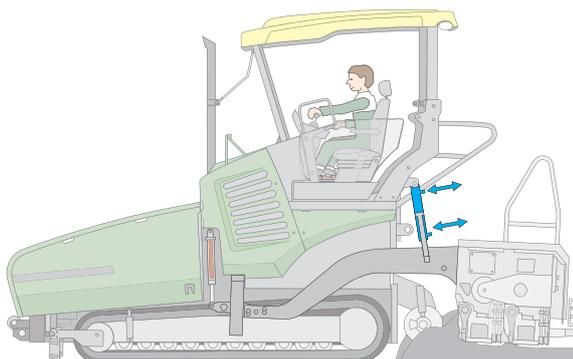


Figure 3.31 – Vérin de levage et d'abaissement en mode autonivelant

3.3.7.2.2 Soulagement de la table

Il se peut que le mélange bitumineux à poser n'offre pas la résistance nécessaire pour maintenir la table de la finisseuse à la bonne hauteur pendant le fonctionnement en mode flottant, ce qui ne permettrait pas de contrôler correctement l'épaisseur de couche.

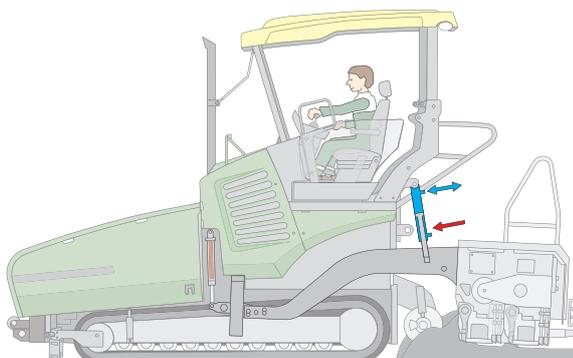


Figure 3.32 – Soulagement de la table

Le soulagement de la table permet de mettre sous pression les vérins de levage et d'abaissement à l'aide de la vanne de régulation de pression inférieure afin de rendre la table plus légère; on déplace ainsi une partie du poids propre de la table vers la partie tracteur, ce qui crée un nouvel équilibre des forces et la table reste à la bonne hauteur.

Cette application permet la pose de mélanges épais et peu portants. Pour des finisseurs sur pneus, cela contribue à une meilleure traction.

3.3.7.2.3 Blocage de la table

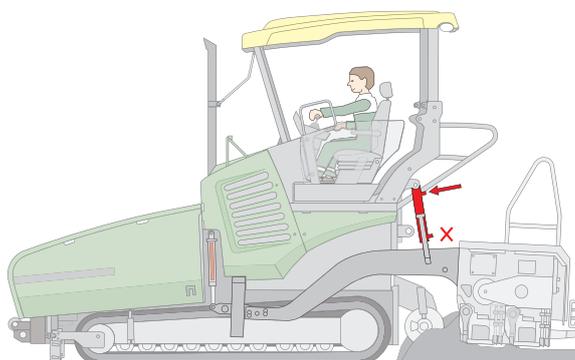


Figure 3.33 – Blocage de la table

La table peut aussi être fixée complètement à une hauteur déterminée en bloquant les vérins de levage et d'abaissement. On parle de blocage de table.

Cet état peut être instauré manuellement, mais aussi activé automatiquement par le finisseur quand il est à l'arrêt pour éviter que la table ne s'enfonce dans l'enrobé encore chaud qui vient tout juste d'être posé. Au redémarrage, la tendance de la table à se soulever est réprimée. On évite ainsi des bosses dans la couche de revêtement aux endroits où on a démarré après l'arrêt.

Ce mode de commande est aussi souvent appliqué pour des couches de roulement sur une sous-couche bien profilée et pour la pose de couches plus fines.

3.4 Compactage

3.4.1 Objectif du compactage

L'objectif du cylindrage est de compléter le compactage déjà partiellement réalisé par le finisseur. Etant donné que le cylindrage est la dernière étape, il influe aussi la qualité et l'aspect du revêtement. Les couches bitumineuses doivent être compactées au mieux, afin d'éviter un postcompactage ou des déformations sous l'effet du trafic et des conditions météorologiques.

Le compactage a plusieurs objectifs:

- éliminer ou diminuer les vides dans le mélange et ainsi conférer à l'enrobé ses caractéristiques définitives;
- assurer une bonne planéité et un bon profil;
- obtenir une plus grande durabilité, notamment en fermant la surface du revêtement ce qui empêche l'eau de pénétrer dans l'enrobé et en ralentit le vieillissement du liant;
- un bon raccordement avec les autres bandes bitumineuses et avec les bordures et les caniveaux.

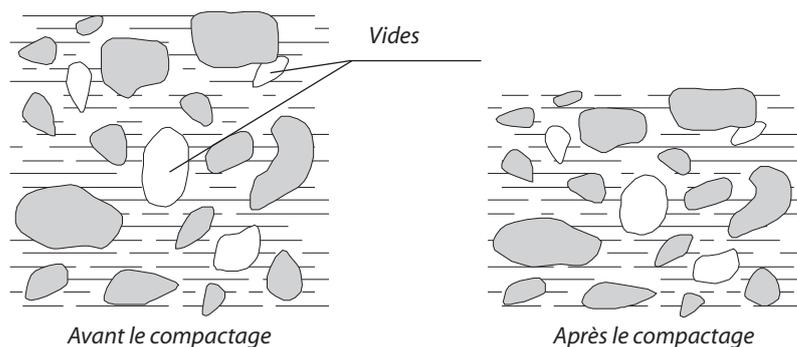


Figure 3.34 – Principe du compactage

Le compactage requis dépend de la compactabilité du mélange ainsi que de l'épaisseur de la couche à compacter. Certains mélanges sont faciles à compacter. Ceux-ci se compactent et se stabilisent rapidement. D'autres mélanges sont eux plus difficiles à compacter, et nécessitent donc plus d'efforts (au niveau du poids et/ou du système de vibration) et de passages du cylindre. L'effet de compactage est également influencé par les machines utilisées ainsi que par la technique appliquée.

3.4.2 Facteurs d'influence

3.4.2.1 Influence de la composition du mélange

Concernant la composition du mélange, les facteurs suivants entrent en jeu:

- propriétés mécaniques des granulats;
- nature du liant et quantité;
- granularité;
- quantités de sable de concassage et de sable rond.

3.4.2.2 Influence de la température du mélange

La température est un facteur très important lors du compactage. Plus la température est élevée, plus le compactage est aisé. L'enrobé doit cependant être compacté dans une fourchette de températures bien précise. Cette température dépend principalement de la courbe de viscosité du liant.

La limite supérieure est choisie de sorte à éviter la ségrégation du mélange sous l'action du compacteur et que le compactage se fasse sans que l'enrobé ne glisse et ne soit repoussé sur les côtés (risque d'apparition de fissures de compactage).

La température ne peut pas non plus descendre sous un certain seuil critique, sous peine de rendre le compactage impossible. Il s'agit d'une des causes de l'apparition des fissures. La température minimale requise est plus élevée pour les mélanges difficiles à compacter que pour les mélanges plus simples à compacter.

Le refroidissement du mélange dépend également de son épaisseur. Plus la couche est épaisse, plus elle refroidit lentement, et plus elle reste compactable longtemps.

Il est recommandé de réaliser le compactage aussi vite que possible après le passage du finisseur. Une fois que la température a chuté sous les 80 à 90 °C (voire 100 à 110 °C dans le cas du SMA et de l'enrobé drainant), le compactage n'est plus possible. Dans le cas du SMA et de l'enrobé drainant, un compactage sous ces températures peut avoir un impact négatif, car les pierres risquent de se morceler. Concernant les couches de liaison, le temps de cylindrage peut être un peu plus long, en fonction du liant utilisé, de l'épaisseur et des conditions météorologiques. Il est par contre possible de réaliser des finitions (aplanissement et effacement des traces laissées par le compacteur) sous les 90 °C.

3.4.2.3 Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques influencent considérablement le refroidissement du mélange et donc le temps de compactage disponible. La vitesse du vent, la température de l'air, l'ensoleillement et la température de la couche sous-jacente sont autant de facteurs qui peuvent changer la donne.

Par temps chaud, le mélange se refroidit moins vite. Ce sont les températures plus basses et le vent surtout qui provoquent une accélération du refroidissement et raccourcissent considérablement le temps où le compactage est possible. Des fissures peuvent apparaître suite à un refroidissement trop rapide d'un mélange exposé à l'air libre. Par temps froid, le cylindrage doit se faire rapidement et immédiatement après le passage du finisseur.

Normalement, par temps estival, un enrobé doit être posé endéans vingt minutes (finitions non comprises), tandis que par plus mauvais temps, ce temps se réduit à dix minutes, le tout naturellement en fonction de l'épaisseur de couche, du type d'enrobé et de la nature du liant utilisé.

3.4.2.4 Fondations et couches sous-jacentes

La stabilité et la planéité du sol influencent la qualité du compactage de la couche bitumineuse. Le problème se pose plus particulièrement avec des couches sous-jacentes non liées et compactées de manière irrégulière. Un compactage optimal ne peut être obtenu que sur une couche de liaison égale, stable et lisse. Les grandes inégalités doivent être évitées et éliminées si nécessaire, car elles peuvent causer d'importantes différences d'épaisseur, et d'éventuelles différences de planéité. La couche de collage a aussi son importance: une adhésivité insuffisante peut résulter en des glissements.

Il est recommandé de contrôler la capacité portante de la fondation avant de poser la première couche d'enrobés.

3.4.2.5 Epaisseur de couche

Le cylindrage est également influencé par l'épaisseur de couche. Celle-ci influence fortement le temps disponible pour compacter l'enrobé. Ainsi, une couche mince refroidit plus vite qu'une couche plus épaisse, ce qui fait que le compactage doit être réalisé plus rapidement.

Pour le compactage d'une couche épaisse, l'opérateur devra veiller particulièrement à éviter de faire des ornières et à obtenir une bonne planéité.

3.4.3 Choix du type de compacteur et du mode de compactage

Le type et le nombre de compacteurs doivent être établis au préalable. Ils dépendent du caractère des travaux, de la nature du mélange, des quantités à mettre en œuvre dans un délai donné et des conditions météorologiques. Le poids du compacteur détermine la pression qui peut être exercée.

Le nombre de passes dépend du type de mélange (type de liant, teneur en liant, etc.) et se détermine aussi avec l'expérience. Dans certains cas, il est utile de suivre le compactage durant l'exécution, par exemple avec une sonde de mesure nucléaire.

3.4.3.1 Choix du compacteur en fonction de l'enrobé à compacter

3.4.3.1.1 Compactage de mélanges à granularité continue

Il s'agit des mélanges AC-20base3, AC-14base3, AC-10base3, AC-6,3base3, AC-10Surf4, AC-6,3Surf4, AC-14Surf1; AB-5D, AC-6,3Surf8, AC-4Surf8 et ABT-B1, ainsi que de l'EME à squelette sableux. Il s'agit ici de mélanges fermés.

Le béton bitumineux est compacté:

- à l'aide d'un compacteur à pneus (pour les couches d'une épaisseur supérieure à 3 cm);
- et/ou grâce au poids du cylindre en acier;
- et/ou par vibration grâce à un cylindre vibrant.

Plus la couche d'enrobé est épaisse, plus l'utilisation du compacteur à pneus est importante.

3.4.3.1.2 Compactage du SMA, du BBTM, du RUMG et de l'EME à squelette pierreux

Ici, il n'est ni possible ni autorisé d'utiliser un compacteur à pneus, car le bitume colle aux pneus. Etant donné que le squelette pierreux est vertical, les vibrations sont totalement déconseillées, car elles peuvent morceler les pierres ou causer l'apparition de taches grasses. Le compactage est donc réalisé avec un rouleau lisse et statique. Si l'on travaille avec un compacteur tricycle traditionnel, on compacte avec les roues de propulsion vers le finisseur (aussi suffisamment lentement).

Les finitions (élimination des dernières ornières) sont effectuées de préférence avec un compacteur tandem.

3.4.3.1.3 Compactage d'enrobés drainants

Ces enrobés doivent rester ouverts et contenir suffisamment de vides. Même avec des cylindres plus légers, on obtient rapidement la finition souhaitée. Il s'agit le plus souvent d'aplanir la surface. C'est pourquoi il faut d'abord utiliser un rouleau tandem. Suffisamment loin derrière le finisseur, on peut éventuellement éliminer les dernières traces avec un autre rouleau tandem ou avec un compacteur tricycle (qui ne laissera plus de traces sur une surface suffisamment refroidie).

Les enrobés drainants ont un squelette pierreux. Les vibrations sont donc fortement déconseillées.

3.4.3.2 Utilisation du compacteur à pneus

Pour un compacteur à pneus, les aspects suivants ont leur importance:

- compactage suffisamment lent (sinon, on perd beaucoup de la force de compactage);
- protection des pneus du compacteur contre le refroidissement avec la bâche prévue à cet effet;
- il est important de chauffer les pneumatiques au début du compactage, sinon l'enrobé peut coller aux roues du compacteur et être arraché de la surface. On peut simplement les chauffer au contact d'un enrobé chaud en aspergeant les pneus d'un produit anti-adhérent ou d'eau et en roulant lentement au début du compactage mais il est plus judicieux et rapide de les chauffer en utilisant un dispositif infrarouge placé sur la machine. De toute façon, on placera des couvertures thermiques autour des trains de roue. L'enrobé ne colle pas aux pneus lorsqu'il est chaud (au moins 60 °C), mais à des températures élevées (supérieures à 160 °C), il risque d'endommager le caoutchouc. Dans de telles conditions, le compacteur ne peut pas s'arrêter sur la couche d'enrobé;
- l'adhérence entre les pneus en caoutchouc et l'enrobé bitumineux a un effet positif sur le degré d'inclinaison de ces machines, ce qui permet aux compacteurs de remplir correctement leur office, même lorsque les degrés d'inclinaison sont plus élevés;
- par temps plus froid, il est nécessaire de procéder d'abord à un compactage partiel avec un rouleau en acier afin d'éviter que l'enrobé ne colle aux pneus (froids);
- il faut que les pneus aient une pression adéquate (entre 2,5 et 4 bars). Avec le compacteur à pneus, il est possible de modifier, par réglage de la pression, la largeur de la surface du pneu ainsi que sa pression sur le revêtement;
- il faut suffisamment «dévier», donc ne pas toujours compacter dans les mêmes ornières, afin que le cylindre lisse suivant puisse égaliser la surface ultérieurement;
- ne pas trop cylindrer, sous risque de ségrégation de l'enrobé et de remontée de bitume à la surface, ce qui cause un aspect gras;
- éviter autant que possible que les pneus ne refroidissent suite à des arrêts. Il est préférable de garder les pneus chauds (si nécessaire) en gardant le compacteur en mouvement sur l'enrobé chaud. La température des pneus est de préférence de ± 65 °C;
- maintenir une vitesse adaptée entre 50 et 130 m/min (3 à 8 km/h).

Pour les enrobés classiques contenant du bitume polymère, il est difficile d'utiliser un compacteur à pneus, car dans ce cas-là, l'enrobé peut coller aux pneus.

Les finitions sont réalisées avec un rouleau lisse en acier.

3.4.3.3 Utilisation des rouleaux lisses

3.4.3.3.1 Compacteur tandem (rouleau vibrant)

Les rouleaux tandem sont des rouleaux ayant une faible charge linéaire. Ils aplanissent la surface de l'enrobé et laissent moins de traces derrière eux. En activant les vibrations, la capacité de compactage augmente considérablement. Lorsqu'on utilise la fonction vibrante, il faut la désactiver lorsqu'on change de direction, et avant de marquer l'arrêt, afin d'empêcher l'apparition d'inégalités et/ou d'irrégularités dans le compactage.



Figure 3.35 – Bâches de protection d'un compacteur à pneus



Figure 3.36 – Compacteur tandem

Des vibrations trop importantes peuvent morceler les pierres, ce qu'il faut éviter à tout prix.

Le rouleau vibrant peut être utilisé sans vibrations lors du précompactage. L'effet vibrant peut ensuite être enclenché pour les passes suivantes de compactage, ainsi que pour la dernière passe. Les vibrations sont interdites sur un enrobé très chaud (risque de décomposition du mélange).

Dans le cas d'un compacteur à vibrations dirigées, les modes de vibrations sont adaptés au cours des différents passages:

- passage 1: compactage statique qui permet un précompactage de l'enrobé;
- passages 2 et 3: compactage en vibrant et avec oscillations (verticales ou sous un angle selon le type d'enrobé et l'épaisseur). Ainsi on obtient la plus grande partie du compactage;
- passage 4: ce passage se fait avec une oscillation horizontale. Ceci compacte encore l'enrobé en surface;
- passage 5: le compacteur est remis en mode statique afin d'obtenir une surface plane.

La vitesse de compactage doit être adaptée en fonction de l'épaisseur: plus la couche est épaisse, plus celle-ci est basse (3 à 5 km/h). On compacte alors avec une fréquence basse et une grande amplitude. La vitesse de compactage est plus élevée quand la couche est plus mince (5 à 7 km/h). La fréquence est alors plus élevée et l'amplitude plus petite.

3.4.3.2 Compacteur tricycle

Dans les cas des tricycles traditionnels, les deux grandes roues donnent le plus de pression et assurent le compactage de l'enrobé. Il s'agit des roues de propulsion. En principe, le compactage doit donc d'abord se faire avec les deux grandes roues dirigées vers le finisseur. Pour des chantiers de moindre ampleur, on peut parfois travailler avec un compacteur tricycle uniquement (et donc pas de compacteur à pneus).

Ici aussi, il faut veiller à dévier suffisamment et à compacter suffisamment lentement.

Les compacteurs tricycles traditionnels laissent plus de traces (en raison de la pression plus élevée et des roues plus petites). Il est donc important de compacter suffisamment longtemps pour que celles-ci disparaissent.

Cet inconvénient est beaucoup moins présent dans les cas des tricycles modernes où tous les cylindres sont motorisés et dont la répartition du poids est beaucoup plus homogène.

3.4.4 Points importants avant et pendant le compactage

Il faut faire attention aux points suivants avant et pendant le compactage:

Avant le compactage:

- placer l'approvisionnement d'eau aussi près que possible (camions-citernes (remplis d'eau));
- les gicleurs doivent toujours être contrôlés et doivent fonctionner correctement afin d'éviter que l'enrobé ne colle aux pneus et ne soit arraché;
- veiller à ce que les rouleaux et les pneus soient propres (surtout pas d'émulsion);
- des grattoirs doivent être positionnés correctement sur les rouleaux.

Pendant le compactage:

- commencer le compactage dès que possible, à condition que le mélange ne soit pas trop chaud car il risquerait de coller. L'enrobé mis en œuvre ne peut pas non plus trop refroidir avant le début du compactage;
- commencer par le côté le plus bas;
- compacter en ligne droite;
- maintenir une vitesse préétablie et constante (rouler moins vite pour chauffer les pneus avec un compacteur à pneus);
- compacter en différentes passes sur toute la largeur de travail aussi vite que possible;
- réaliser la passe dans le sens longitudinal aussi près que possible du finisseur et, pour chaque passe, se décaler d'une longueur de rouleau au minimum (figures 3.39 à 3.41);
- toujours revenir sur la section déjà compactée avant de commencer la passe suivante;
- toujours réaliser des transitions en douceur lorsqu'on va d'avant en arrière;
- avec un compacteur vibrant: couper les vibrations pendant les changements de sens;
- ne jamais stationner avec le compacteur sur de l'enrobé non refroidi;
- à la fin d'une passe de compactage le compacteur doit bifurquer avant d'arrêter et de changer de direction. Ainsi le bourrelet qui se forme lorsque il s'arrête peut être éliminé à la prochaine passe (figure 3.37);
- dans le cas d'un compacteur à essieu simple, toujours compacter avec le rouleau propulseur vers le finisseur (sauf dans les pentes raides);
- dans les virages serrés, toujours commencer par l'intérieur et se déplacer par demi-largeur de compactage;
- toujours éviter de rouler sur de l'émulsion;
- ne pas réaliser de passes trop courtes. Des passes plus longues donnent une surface plus plane (moins d'arrêts, donc moins de risques de déformations);
- à l'approche du finisseur, toujours changer de bande avant de changer de direction;
- il faut toujours avoir à disposition de l'eau propre.

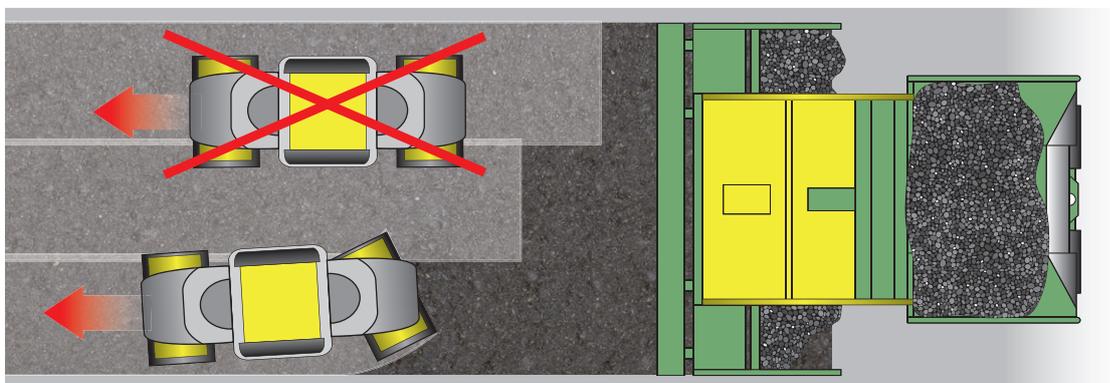


Figure 3.37 – Bifurcation en fin de passe

Sécurité sur et autour du compacteur:

- se tenir à distance des autres compacteurs et du personnel de chantier (par exemple les régleurs).

3.4.5 Quelques exemples de procédures de compactage

3.4.5.1 Introduction

Dans les lignes qui suivent, quelques procédures de compactage sont décrites. On peut dégager les principes généraux suivants:

- on travaille toujours du bas vers le haut, pour éviter les glissements de matériau;
- on commence toujours contre les bordures ou les caniveaux; c'est de la sorte qu'on obtient la meilleure planéité;
- pour des raisons de planéité, on travaille toujours du froid vers le chaud;
- l'enrobé qui n'est pas contrebuté est compacté en dernier lieu.

3.4.5.2 Compactage d'une bande bitumineuse avec une bordure ou un caniveau.

On commence contre le caniveau ou la bordure au point le plus bas (voir 1 et 2 de la figure 3.38). Ensuite, le rouleau se déplace vers l'autre côté par moitié ou deux tiers de la largeur.

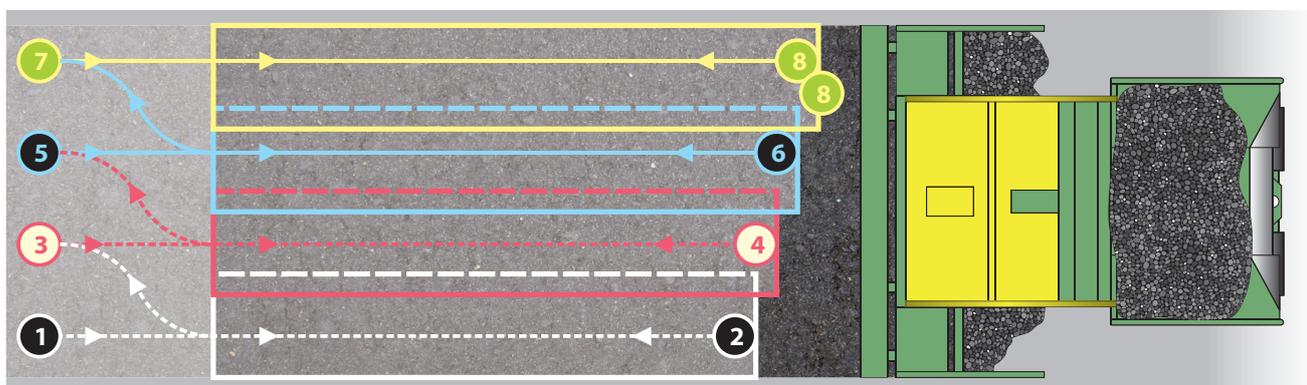


Figure 3.38 – Compactage d'une bande bitumineuse avec une bordure ou un caniveau

3.4.5.3 Compactage d'une bande d'enrobé «chaud contre froid»

On commence par compacter le joint ± 10 cm sur l'enrobé chaud. Ensuite, on poursuit le compactage du bas vers le haut.

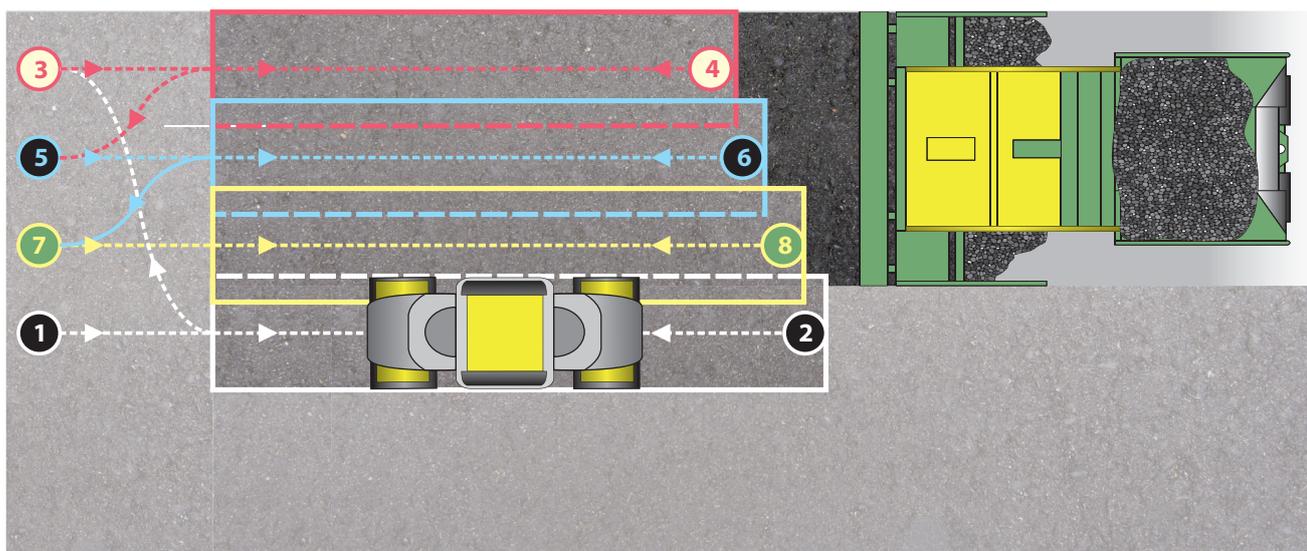


Figure 3.39 – Compactage d'une bande d'enrobé «chaud contre froid»

3.4.5.4 Compactage d'une bande d'enrobé sans contrebutage

Une représentation schématique est donnée à la figure 3.40. Il est important de débuter le compactage à 20 à 30 cm du bord extérieur non contrebuté. Ces bords sont compactés en dernier lieu.

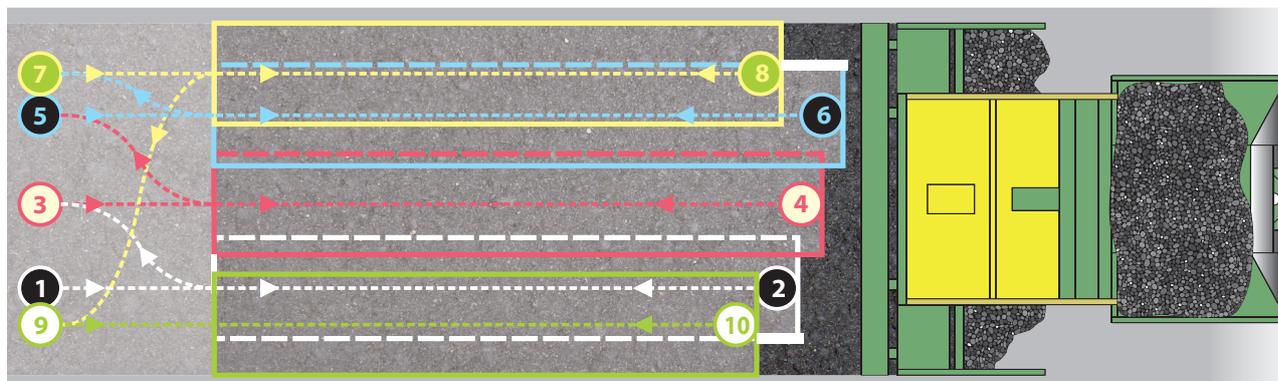


Figure 3.40 – Compactage d'une bande d'enrobé sans contrebutage

3.4.5.5 Compactage lors de la pose simultanée de bandes d'enrobé.

Une représentation schématique du compactage est donnée à la figure 3.41. Il est ici surtout important de rester des deux côtés à 8 cm du joint du milieu, et de ne compacter ce joint que par après.

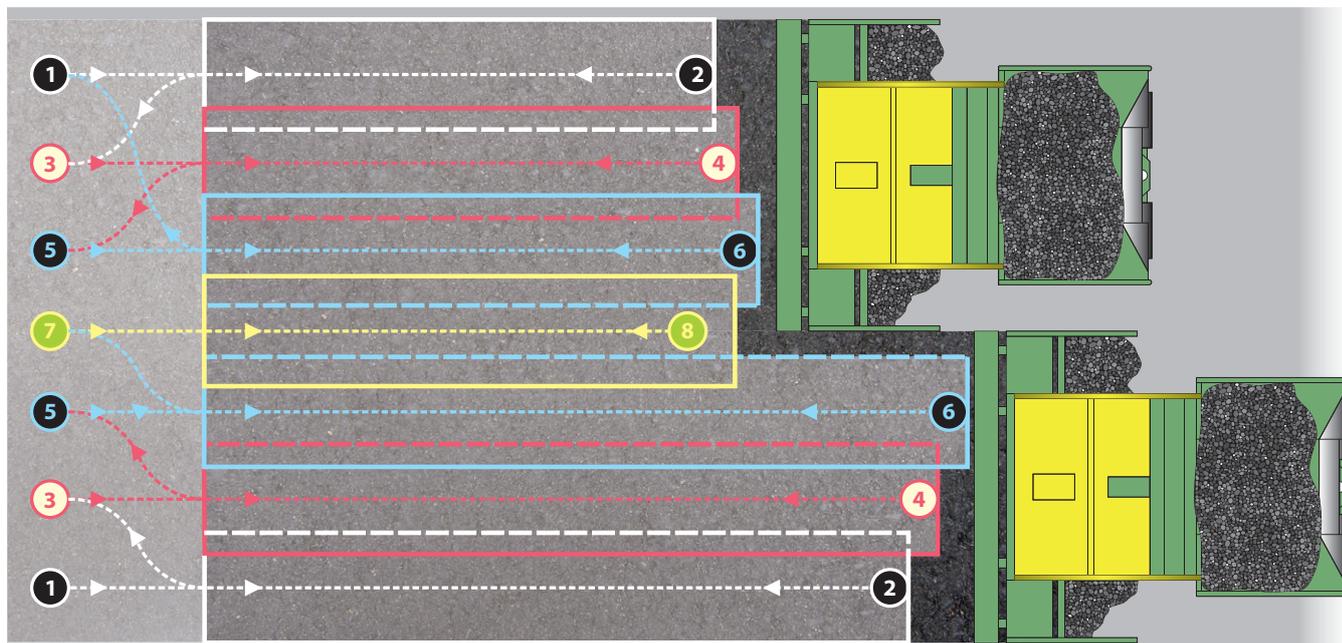


Figure 3.41 – Compactage lors de la pose simultanée de bandes d'enrobé

3.4.5.6 Compactage dans les virages

Lors du compactage dans les virages (figure 3.42), on commence à l'intérieur du tournant (le côté bas). On se déplace ensuite par demi-largeur vers le côté extérieur. Les passes sont réalisées jusqu'au-delà du virage (figure 3.42). Certains rouleaux sont équipés des options de contrôle adaptées aux tournants, comme les rouleaux tandem.

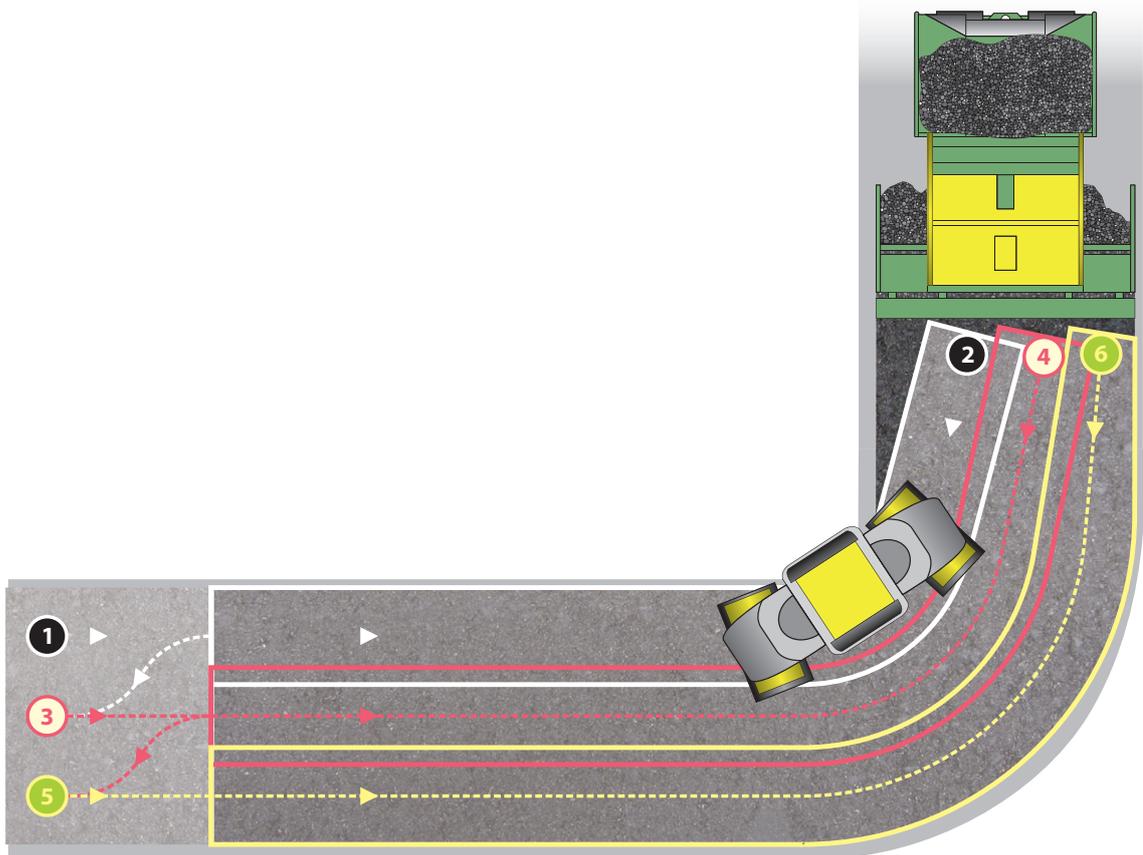


Figure 3.42 – Compactage dans les virages

3.4.5.7 Compactage d'un joint transversal

Il est important d'avoir un recouvrement de 10 cm entre la partie froide et la partie chaude.

3.4.5.8 Systèmes d'aide

Il existe des systèmes qui assistent le conducteur du compacteur avec le suivi du processus de compactage. Nous référons au § 1.6.7 pour plus d'informations.

3.5 Pose d'enrobés bitumineux à la main

Les enrobés ne sont posés à la main que sur de petites superficies et aux endroits où il est impossible d'employer un finisseur. Le résultat final est bien entendu de moins bonne qualité qu'avec l'emploi de machines, car la pose manuelle présente quelques désavantages par rapport à la pose mécanique:

- le compactage est plus léger (pas de précompactage par le finisseur);
- le travail est intense et le rendement est moindre;
- déverser de l'enrobé à la main est plus dangereux. Il est donc nécessaire de bien informer les travailleurs sur les aspects de sécurité y afférents.



Figure 3.43 – Outils pour le travail à la main

3.5.1 Eviter le travail à la main

Le travail à la main n'est pas toujours évitable, mais peut être limité autant que possible grâce à une bonne conception de la route. Il convient donc de veiller à ce que:

- le chantier soit bien accessible, en prévoyant au préalable les accès nécessaires et en enlevant les obstacles présents;
- l'enrobé puisse être mis en œuvre sur une largeur constante;
- le profil vertical de la route ne change pas;
- d'autres obstacles sur la route soient dans la mesure du possible évités.

De plus, une bonne planification des travaux est nécessaire pour minimiser le travail à la main.

3.5.2 Exécution

La pose des enrobés à la main requiert une équipe suffisamment nombreuse et expérimentée. Elle est généralement constituée de personnes qui acheminent l'enrobé avec une brouette, de personnes qui l'étalent avec un râteau, d'une personne qui le compacte et de travailleurs en charge de la finition. Chacun a un rôle spécifique à remplir pour obtenir un revêtement de qualité acceptable.

L'enrobé destiné à être posé à la main doit rester aussi longtemps que possible dans le bac de chargement isolé et couvert du camion. Les boîtes thermiques sont ici recommandées (voir § 1.2.3.3). Il est très important que l'enrobé soit à la température correcte (supérieure à 100 °C et conforme au nomogramme d'Heukelom[17]). Dans le cas contraire, la pose à la main devient très compliquée, voire impossible. Il convient donc de ne décharger qu'une petite quantité à la fois et de la mettre en œuvre dans un délai relativement court, afin de limiter autant que possible son refroidissement.

L'enrobé est étalé avec soin à l'aide d'un râteau, afin d'éviter que le matériau ne se disperse. Il est toujours mis en œuvre sur une hauteur plus importante, qui sera par la suite aplanie. L'outil employé pour étendre l'enrobé est généralement équipé de dents en bois ou en métal. L'aplanissement se fait via un passage avec le râteau ainsi que les traitements nécessaires. Après ce passage, il reste donc un surplus de matériau, pour garantir une surface homogène. Il est exclu de ratisser de manière excessive, car cela provoque une ségrégation de l'enrobé, où les granulats plus gros remontent à la surface. Si cette ségrégation se produit malgré tout, les gros granulats présents en surface doivent être éliminés. Toutes les corrections effectuées à la surface de l'enrobé doivent avoir lieu avant le compactage.

Le compactage doit avoir lieu aussi vite que possible et est de préférence réalisé à l'aide d'un petit compacteur tandem. Pour les endroits inaccessibles à ce type de compacteur, on utilise une plaque vibrante ou une dame d'au moins 10 kg et d'une superficie de 300 cm² au maximum. Le profil de la surface est mesuré avant et pendant le compactage à l'aide d'une règle de 3 m; ceci permet de corriger immédiatement le profil, et d'éviter ainsi les déformations permanentes.

3.5.3 Types d'enrobés adéquats

Il est conseillé d'utiliser des types d'enrobés adéquats. Il s'agit généralement de compositions plus fines, avec de plus petits calibres ($D_{\text{maximum}} \leq 10 \text{ mm}$) et une granulométrie continue. La teneur en bitume peut éventuellement être augmentée pour améliorer l'ouvrabilité, mais cela peut avoir un impact sur les propriétés de l'enrobé. Il faut éviter d'employer du bitume modifié, car ce liant réduit fortement l'ouvrabilité de l'enrobé.

Concrètement, il est donc déconseillé de mettre en œuvre manuellement de l'enrobé drainant ou du SMA. Le béton bitumineux est ici le plus recommandé.

3.6 Réalisation des joints et des bords

Les joints sont les endroits où de l'enrobé est posé à côté d'un revêtement existant (revêtement bitumineux, revêtement en béton, pavage) ou contre un autre matériau (une plaque d'égout, par exemple). Les joints et les bords non contrebutés constituent les points faibles d'un revêtement routier bitumineux. Ils doivent être réalisés avec soin.

Il faut limiter les joints autant que faire se peut, surtout pour les couches de roulement. C'est pourquoi il peut être utile, après concertation avec l'entrepreneur, l'administration et la police, de dévier temporairement le trafic afin de pouvoir éviter la création de joints inutiles et mettre en œuvre l'enrobé sur toute la largeur de la route, à l'aide d'un finisseur de grande largeur ou en utilisant plusieurs machines qui posent en parallèle.

Il y aura toujours des joints, c'est pourquoi il est crucial de réaliser un plan de pose reprenant l'emplacement des joints. Il faut tenir compte de la position des joints dans les couches bitumineuses sous-jacentes. Les joints longitudinaux des couches supérieures doivent être décalés d'au moins 15 cm par rapport à ceux des couches situées directement en dessous.

En outre, il est important, tant pour les couches sous-jacentes que pour les couches de roulement, d'établir la position des joints par rapport au trafic. Il faut ainsi strictement éviter tout joint longitudinal dans une frayée. Il importe que les joints longitudinaux soient parallèles à l'axe de la route et soient bien rectilignes. Il est préférable que les joints de la couche de roulement se trouvent légèrement décalé par rapport au marquage routier.

En fonction du type de matériau jouxtant le revêtement bitumineux et de l'orientation du joint (joint longitudinal ou joint transversal), différents aspects doivent être pris en compte. Ceux-ci sont développés dans les paragraphes qui suivent. Il faut toujours s'assurer que les bords de revêtements sont rectilignes, verticaux, cohésifs, sains, propres et dépourvus de poussières avant de les traiter.

3.6.1 Exécution des joints entre des revêtements bitumineux

Pour la durabilité de la construction, il est crucial que les joints, aussi bien transversaux que longitudinaux, soient correctement réalisés. Dans les paragraphes qui suivent, nous décrivons les différentes méthodes d'exécution en fonction des cas. Il est aussi important que les joints tant longitudinaux que transversaux fassent l'objet d'un post-traitement.

3.6.1.1 Joints longitudinaux le long de revêtements bitumineux

Ces joints sont parallèles à l'axe de la route.

Tout bord longitudinal doit être propre, rectiligne, bien compacté et en bon état, sinon il doit être corrigé en sciant, coupant ou fraisant la partie non conforme.

S'il s'écoule quelques jours/semaines entre le raccordement des bandes, les bords doivent alors être fraisés. Les bords peuvent en effet avoir été abîmés par le trafic. Avant de réaliser la bande contigüe, il faut d'abord traiter la partie sciée, afin que les bords du joint adhèrent bien entre eux.

Il convient de faire une distinction entre les couches de liaison et les couches de roulement. On procède de la sorte:

- dans le cas des couches de liaison, le joint est traité préalablement avec une émulsion de bitume;
- pour toutes les couches de roulement sauf les drainantes, les BBTM et les RUMG, il faut utiliser une bande de joint bitumineuse préformée ou bien une bande de joint extrudée à chaud. Une bande extrudée à chaud satisfait aux mêmes exigences qu'une bande préformée, à la différence près qu'elle est extrudée sur place. La bande a une coupe transversale rectangulaire et sa hauteur correspond à celle de la couche bitumineuse plus environ 5 mm. La largeur recommandée est généralement de 10 mm. Le bord contre lequel la bande de joint est posée doit être rectiligne, vertical, cohésif, sain, sans poussière, propre et sec avant de procéder au jointoiment. Un vernis d'accrochage doit tout d'abord être posé sur le bord. Après séchage de celui-ci, la bande de joint peut être mise en place. Tout trafic est interdit sur la bande de joint. S'il est impossible d'éviter le trafic, il faut alors prévoir une protection suffisante afin d'éviter toute dégradation. Dans tous les cas, les parties endommagées doivent être renouvelées. Après la mise en œuvre de la couche de roulement, la première passe de compactage doit passer sur la bande de joint.

Avec les enrobés drainants, les BBTM, les RUMG et les SME, il est interdit de poser de telles bandes de joint bitumineuses. Ces types d'enrobés sont en effet ouverts ou semi-fermés et doivent permettre une évacuation latérale de l'eau. Une fois que le bord a été fraisé de manière rectiligne, celui-ci doit être nettoyé, après quoi il peut être recouvert d'une émulsion de bitume. Le bord doit toujours rester perméable.

L'exécution doit être d'excellente qualité, si l'on souhaite éviter les dégradations précoces, surtout pour les joints longitudinaux sur lesquels les véhicules roulent.

3.6.1.2 Joints transversaux le long de revêtements bitumineux

Les joints transversaux sont perpendiculaires à l'axe de la route. Ils doivent être évités autant que possible. Il est important d'éviter les arrêts du finisseur, en prévoyant un approvisionnement constant d'enrobé, où la vitesse du finisseur et l'approvisionnement sont coordonnés.

Lors de la mise en œuvre d'une couche bitumineuse, il est important que les joints transversaux soient décalés de 1 m au minimum par rapport à ceux de la couche sous-jacente.

Avant d'entamer la mise en œuvre d'une couche de roulement contre un revêtement bitumineux existant, l'enrobé refroidi est retiré sur une longueur d'au moins 30 cm perpendiculairement à l'axe de la route.

Au niveau des couches sous-jacentes, les joints transversaux sont réalisés de la même manière que celle décrite pour les joints longitudinaux.

Pour les couches de roulement en béton bitumineux et pour les SMA, les joints transversaux sont réalisés avec une bande de joint formée et placée à chaud sur place ou bien avec une bande de joint bitumineuse préformée.

Pour les enrobés drainants, les BBTM et les RUMG (avec évacuation latérale des eaux), cela ne se fait pas puisque cela risque d'entraver l'évacuation des eaux. Pour ces revêtements, il est important que l'eau puisse s'écouler dans l'épaisseur de la couche.

3.6.1.3 Post-traitement des joints longitudinaux et transversaux entre des revêtements bitumineux

La finition du joint se fait via un post-traitement. Celui-ci confère une protection au joint et au revêtement adjacent (là où les vides peuvent être plus importants). On utilise pour ce faire une émulsion cationique (au moins 200 g de liant résiduel par m²), sur laquelle on projette des gravillons 2/4 à un taux de 1,5 à 2 kg/m². Cet épandage se fait de manière rectiligne avec un gabarit sur une largeur de 15 à 20 cm. Ce post-traitement n'est pas réalisé dans le cas des enrobés drainants et RUMG, lorsqu'il risquerait d'entraver l'écoulement des eaux au sein de la couche.

3.6.1.4 Spécificités des joints dans de l'enrobé coloré



Figure 3.44 – Utilisation d'une rampe de réchauffage pour réchauffer les bords de l'enrobé coloré

Pour obtenir un joint étanche entre des bandes en enrobé, qui soit le moins gênant pour un aspect homogène des revêtements bitumineux colorés, il est vivement recommandé de poser l'enrobé «chaud contre chaud» là où cela est possible à l'aide de finisseurs travaillant en parallèle. Une alternative est l'utilisation de la rampe de réchauffage (figure 3.44). On veillera alors à bien maîtriser la température de chauffe pour éviter de dégrader ou de brûler le liant de l'enrobé réchauffé. Si la pose «chaud contre chaud» n'est pas envisageable, il est très important de traiter les joints afin de les rendre étanches. Cela contribuera à la durabilité du revêtement en empêchant les infiltrations d'eau. Afin de diminuer au maximum l'impact visuel des joints, leur teinte doit être la plus proche possible de celle de l'enrobé. Dès lors, il est recommandé de faire un test préalable. Deux possibilités sont envisageables:

- utiliser une émulsion à base de liant clair et répandre du sable 0/2 de couleur appropriée;
- appliquer un produit de scellement, à base de liant synthétique clair, coloré dans la masse.

Il y a lieu cependant de tenir compte du fait que la couleur du revêtement coloré évolue dans le temps. L'utilisation de joints bitumineux préformés n'est, a priori, pas envisageable vu la teinte noire de ceux-ci et la faible épaisseur de la couche de roulement.

Les joints dans de l'enrobé coloré doivent donc être évités autant que possible car le traitement et le post-traitement peuvent difficilement être réalisés dans la même couleur que celle du revêtement réalisé.

3.6.2 Réalisation de bords non contrebutés et de joints entre des revêtements bitumineux et d'autres matériaux

3.6.2.1 Réalisation de bords non contrebutés

Pour le compactage d'un bord non contrebuté d'une bande d'enrobé bitumineux en cours de pose, différentes techniques peuvent être appliquées, par exemple :

- une plaque de profilage est fixée sur le finisseur pour conférer au bord une forme adéquate et un précompactage supplémentaire;
- le cylindre du rouleau-compacteur est équipé d'une cylindre latéral permettant de compacter le bord en biseau (voir § 1.6.7.3);

Après le compactage, la partie de l'enrobé qui n'a pas été compactée comme il se doit est découpée verticalement ou de préférence légèrement de biais sur une largeur d'environ 10 cm. Cela peut se faire pendant le compactage à l'aide d'une scie latérale montée sur le côté du cylindre (voir § 1.6.7.2).



Figure 3.45 – Compactage à l'aide d'un cylindre latéral

Dans certains cas (les routes agricoles, par exemple), il est recommandé de compacter en biseau le bord latéral à l'aide d'un compacteur à pneus.

Scier une bande de matériau insuffisamment compacté constitue toujours la meilleure solution.

Les faces des bords extérieurs non soutenus des couches de roulement sont recouvertes d'une émulsion cationique. Pour les enrobés drainants, les BBTM et les RUMG, seul le bord extérieur situé en bas de pente transversale peut ne pas être enduit. Ce bord doit rester perméable, pour ne pas entraver l'évacuation latérale des eaux.

3.6.2.2 Joints entre un enrobé compacté à chaud et du béton de ciment

Le raccordement longitudinal entre des couches de roulement bitumineuses et des revêtements en béton de ciment (chaussée, piste cyclable, bandes de contrebutage et filets d'eau) et l'amorce transversale contre les revêtements existants en béton de ciment sont réalisés:

- en enlevant le bord du revêtement bitumineux et celui adjacent en béton de ciment, en réalisant une rainure d'au moins 8 mm de largeur et 20 mm de profondeur; cette rainure est ensuite remplie d'une masse de scellement jusqu'à quelques mm de la surface;
- ou bien en plaçant une bande de joint bitumineuse préformée contre le béton avant pose de l'enrobé bitumineux. L'épaisseur de la bande de joint est d'environ 10 mm, et sa hauteur dépasse de 5 mm l'épaisseur de la couche de roulement bitumineuse;
- ou encore en plaçant contre le béton une bande de joint formée sur place à chaud.

Lors d'un raccord transversal entre un revêtement bitumineux et un revêtement en béton (sauf si la longueur de ce dernier est restreinte), on utilise un joint compound. Le revêtement bitumineux est retiré sur toute la longueur du joint, sur une largeur d'environ 0,50 m et sur toute son épaisseur, en réalisant

des traits de scie. Les précautions nécessaires doivent être prises pour s'assurer que le revêtement bitumineux, le revêtement en béton et la fondation ne soient pas endommagés. Les bords ont une finition verticale et le fond et les parois de la découpe doivent être propres et secs. Ensuite, on applique sur les côtés une couche d'accrochage de compound élastomère (au moins 200 g/m²). Pour garantir un bon fonctionnement du joint compound, il est préférable de poser au préalable une couche de glissement (par exemple une plaque en acier). Du gravier rond calibré, présentant une composition appropriée, est épandu et compacté dans l'incision. Le calibre des gravillons est de 6,3/20 pour les couches dont l'épaisseur dépasse 75 mm et de 6,3/14 pour les couches moins épaisses. Le joint compound doit avoir une épaisseur comprise entre 50 et 100 mm. Chaque couche de gravillons est saturée d'un compound élastomère, qui est chauffé dans un fondoir à une température comprise entre 170 et 190 °C. Les gravillons de la couche supérieure sont pré-enrobés d'un compound élastomère. Cette couche est finie à l'aide d'une plaque vibrante et saupoudrée de gros sable (par exemple 0/4).

Le joint ne peut pas être circulé par le trafic de chantier ou être rendu au trafic avant que sa température ne soit descendue jusqu'au niveau de la température ambiante.

3.6.2.3 Joints entre un enrobé posé à chaud et des éléments modulaires

Pour les joints situés entre des revêtements en béton, des pavages (par exemple pavages en béton, pistes cyclables en pavés ou en dalles de béton, filets d'eau en pavés de béton, etc.), des bordures et des revêtements bitumineux, les bords verticaux des éléments doivent être recouverts d'un enduit bitumineux, après quoi le revêtement bitumineux peut être réalisé.

Si les éléments modulaires sont placés après le revêtement bitumineux, ce dernier doit être scié verticalement et un joint étanche doit être réalisé, en utilisant par exemple une masse de scellement. Une bande de joint est placée contre les bords verticaux des couvercles d'égout, notamment.

Chapitre 4

Spécificités relatives aux différents types d'enrobés

4.1 Grave-bitume

4.1.1 Description

La grave-bitume est un mélange bitumineux composé de gravillons, de sables, de filler, et faiblement dosée en bitume (3,8 à 4,9 %) et d'une granulométrie de 0/14 ou 0/20. Ce matériau est destiné à la réalisation de couches de fondation.

De par sa composition et sa destination, elle peut être mise en œuvre en forte épaisseur (de 10 à 15 cm). Cependant, comme elle est épandue en forte épaisseur, il faudra veiller à adapter la conduite du finisseur ainsi que les caractéristiques du matériel de pose et de compactage.

4.1.2 Réglages du finisseur

Afin de permettre à la table de faire son travail de précompactage, il est nécessaire d'adapter la vitesse d'avancement: on se limitera ainsi à des vitesses de pose de 3 ou 4 m/min.

La fréquence des dameurs sera aussi adaptée à la hausse. Leur course sera allongée de manière à augmenter le degré de précompactage. La course des dameurs devrait être comprise entre 4 et 7 mm. Leur fréquence devrait être comprise entre 1200 et 1800 t/min.

Les valeurs recommandées pour les autres éléments des groupes de précompactage sont donnés dans le tableau ci-dessous:

Table de vibration	Pression (bar)	80 – 100
	Régime (tpm)	2 000 – 3 000
Lame(s) de pression	Pression (bar)	90 – 110
	Fréquence (Hz)	58 – 68
Température de compactage	°C	120

Tableau 4.1 – Réglages recommandés de la table

Ces dispositions ont également pour but d'éviter à la table de travailler avec un angle d'incidence trop fort, ce qui se traduirait par l'apparition de marques dues à un enfoncement trop important des extensions de la table.

4.1.3 Organisation du compactage

Au vu des fortes épaisseurs à mettre en œuvre, il est évident qu'un bon compactage ne pourra être obtenu que par l'emploi de matériel lourd.

On préférera des vitesses d'avancement continues et lentes pour favoriser l'effet des compacteurs.

Lors de l'utilisation d'un rouleau vibrant, l'amplitude des vibrations sera réglée proche du maximum. La grave-bitume étant un matériau assez grossier, il est conseillé d'utiliser, en combinaison avec un rouleau vibrant, un compacteur à pneus.

4.2 Enrobé à module élevé (EME)

4.2.1 Description

L'enrobé à module élevé est un enrobé fermé à squelette sableux ou à squelette pierreux et à granulométrie discontinue. Sa granulométrie est de 0/14.

Sa teneur en liant est relativement élevée pour une couche de liaison. Elle est supérieure à 5,2 % (4,6 % pour un AC-14base3). Les liants utilisés sont des bitumes durs ou des bitumes à indice de pénétration positif.

Une fois compacté, un EME comporte (grâce à sa courbe granulométrique particulièrement bien étudiée et à sa teneur en liant) moins de vides qu'un AC-14base3. Son pourcentage de vides est compris entre 2 et 7 % (4 à 9 % pour un AC-14base3).

Outre son module de rigidité élevé, un enrobé à module élevé est essentiellement caractérisé par sa grande résistance à la fatigue et une bonne résistance à l'orniérage.

Il est posé en couche plus épaisse qu'un enrobé pour couche de liaison classique. Les épaisseurs dans lesquelles il peut être posé sont: 70 mm, 80 mm, 90 mm, 100 mm ou 110 mm (à comparer à 40 à 60 mm pour un AC-14base3 et 80 à 120 mm pour une GB-14).

4.2.2 Conditions météorologiques

Le refroidissement lent qui résulte de l'épaisseur des couches fait que les EME peuvent être posés à des températures de l'air assez basses. Une température de 2 °C est, en général, considérée comme limite inférieure, mais cette valeur doit être adaptée en tenant compte notamment de la vitesse du vent (température minimale plus élevée en cas de vitesse du vent élevée) et de l'atelier de compactage et de son organisation (température minimale plus basse si l'atelier de compactage est particulièrement important – nombre de compacteur élevé – et bien organisé).

4.2.3 Réglage du finisseur

L'épandage des enrobés à module élevé se fait de la même manière et avec le même matériel que celui des enrobés classiques de type AC-base3 sauf que les températures des enrobés peuvent être plus élevées au moment de l'épandage eu égard à la viscosité éventuellement plus élevée des EME.

Vu l'épaisseur un peu moindre des couches et la teneur plus importante en liant, la vitesse d'épandage peut être un peu plus élevée que pour une grave-bitume. Elle se situera cependant dans la partie inférieure de la fourchette habituelle des vitesses de pose des couches de liaison. Suivant l'épaisseur mise en œuvre, elle tournera autour de 5 à 8 m/min.

En fonction de l'épaisseur de la couche mise en œuvre, la course des dameurs devrait être supérieure ou égale à 4 mm et leur fréquence supérieure ou égale à 1 500 t/min.

4.2.4 Organisation du compactage

Vu les épaisseurs de pose relativement importantes, du matériel lourd doit être utilisé pour le compactage.

Un minimum de deux compacteurs par finisseur est nécessaire pour assurer une énergie de compactage suffisante eu égard à l'épaisseur de la couche.

Ce nombre doit être augmenté, notamment si la température de l'air est basse ou si la vitesse du vent est élevée.

L'atelier de compactage doit comprendre au moins un compacteur à pneus et un rouleau-compacteur de type tandem vibrant.

Vu la viscosité probablement plus élevée du mélange, il est possible que les températures de compactage des EME soient plus élevées que celles des enrobés classiques du type AC-base3-1.

4.3 Béton bitumineux très mince (BBTM)

4.3.1 Description

Le BBTM est un enrobé bitumineux semi-fermé, à squelette pierreux et à granulométrie discontinue. Sa teneur en liant de minimum 5,2 % peut être considérée comme élevée. D'une granulométrie de 0/6,3 ou de 0/10, il est destiné à la réalisation de couches de roulement très minces. Il est généralement mis en œuvre à l'épaisseur nominale de 30 mm.

Les couches de collage prévues préalablement à la pose d'un BBTM sont fortement dosées (300 à 500 g/m² de liant résiduel).

4.3.2 Conditions météorologiques

Le refroidissement rapide qui résulte de l'épaisseur très faible des couches fait que les BBTM ne peuvent être posés par des températures de l'air basses. Une température de 8 °C est, en général, considérée comme limite inférieure mais cette valeur doit être adaptée en tenant compte notamment de la vitesse du vent (température minimale plus élevée en cas de vitesse du vent élevée) et de l'atelier de compactage et de son organisation (température minimale plus basse si l'atelier de compactage est particulièrement important – nombre de compacteurs élevé – et bien organisé).

4.3.3 Réglages du finisseur

L'épaisseur de mise en œuvre étant assez faible, la force du précompactage pourra être réduite, et on pourra ainsi travailler à des vitesses de pose assez élevées, jusqu'à 10 m/min.

Afin d'éviter une trop grande remontée de liant en surface, ce qui est préjudiciable à la rugosité, il est déconseillé de travailler avec des fréquences de fonctionnement des dameurs et de la vibration (table de vibration) additionnelle trop élevées. La fréquence des dameurs sera donc proche des 300 t/min et celle de la table de vibration sera proche de 1 200 t/min.

4.3.4 Organisation du compactage

Vu la forte teneur en liant, et afin de limiter toutes remontées intempestives de liant en surface, l'emploi de compacteurs à pneus est interdit.

De plus, étant donné les faibles épaisseurs de mise en œuvre et leur granularité, l'utilisation des systèmes vibrants ou oscillants sont déconseillés afin d'éviter de casser les pierres.

Il est donc nécessaire d'utiliser des rouleaux tricycles lourds ayant une charge linéaire (kilogramme par mètre courant) élevée.

4.4 Splitmastikasphalt (SMA)

4.4.1 Description

Le SMA est un enrobé fermé à squelette pierreux et à granulométrie discontinue avec un pourcentage faible de vides. La teneur en liant est élevée. Elle est située entre 6,2 et 7,3 %. Les vides du squelette minéral sont en grande partie comblés par le mastic, ce qui fait que l'on obtient un mélange fermé. La granularité est de 0/6,3 (SMA-6,3), de 0/10 (SMA-10) ou de 0/14 (SMA-14).

L'épaisseur de pose est de 30 mm pour le SMA-6,3, de 40 mm pour le SMA-10 et de 50 mm pour le SMA-14.

Bien exécuté, le SMA se présente de la sorte:

- les 6 à 14 mm supérieurs (selon le plus gros calibre de gravillon) ressemblent à un enrobé drainant et sont très ouverts;
- la zone sous-jacente est relativement fermée et étanche.

Etant donné que le SMA possède un squelette pierreux, il est uniquement mis en œuvre avec le finisseur. Dans le cas du SMA contenant du PmB, tout travail manuel est exclu. Le SMA n'est donc recommandé que pour les grands chantiers importants, et de forme peu complexe en plan. On essayera de toute façon d'éviter les angles aigus – qui ne permettent que le travail manuel – dans le revêtement. Lors de la pose du SMA, il faut pulvériser une couche d'accrochage de 300 g/m² de liant résiduel ou bien un SAMI.

Pour améliorer la rugosité initiale, un épandage de gravillons de type 2/4 est parfois prévu.

4.4.2 Conditions météorologiques

Le refroidissement rapide qui résulte de l'épaisseur faible des couches fait que les SMA ne peuvent être posés lorsque la température de l'air est basse. Une température de 8 °C est, en général, considérée comme limite inférieure mais cette valeur doit être adaptée en tenant compte notamment de la vitesse du vent (température minimale plus élevée en cas de vitesse du vent élevée) et de l'atelier de compactage et de son organisation (température minimale plus basse si l'atelier de compactage est particulièrement important – nombre de compacteur élevé – et bien organisé).

4.4.3 Réglage du finisseur

De par ses propriétés, le SMA ne peut être mis en œuvre sur une épaisseur variable.

Le SMA comporte plus de mastic qu'un BBTM. Ceci nécessite dès lors un précompactage plus important pour bien pousser le mastic entre les gravillons. La vitesse de pose du finisseur sera donc moindre que pour un BBTM. Elle se situe entre 5 et 8 m/min.

Afin d'éviter une trop grande remontée de liant en surface, ce qui est préjudiciable à la rugosité, il est déconseillé de travailler avec des fréquences de fonctionnement des dameurs et de la vibration (table de vibration) additionnelle trop élevées. La fréquence des dameurs sera donc proche des 300 t/min et celle de la table de vibration sera proche de 1 200 t/min.

4.4.4 Organisation du compactage

Les vibrations sont déconseillées. En effet, les vibrations vont faire remonter le liant bitumineux vers la surface et causer l'apparition de taches grasses. Elles vont également augmenter le risque de morcellement des pierres.

Vu la forte teneur en liant, et afin de limiter toutes remontées intempestives de liant en surface, l'emploi de compacteurs à pneus est interdit.

Il est donc nécessaire d'utiliser des rouleaux statiques lourds ayant une charge linéaire élevée.

De manière générale, il est recommandé d'utiliser au strict minimum (suivant les conditions météorologiques) deux compacteurs par finisseur.

4.5 Revêtement Ultra-Mince Grenu (RUMG)

4.5.1 Description

Le RUMG est un enrobé bitumineux à squelette pierreux et à granulométrie discontinue. D'une granulométrie de 0/10 (RUMG-10-1) ou de 0/7 (RUMG-6,3-1), il est destiné à la réalisation de couches de roulement. Il est caractérisé par une faible teneur en liant.

L'utilisation d'une couche de collage au bitume élastomère hautement dosée qui remontera dans la structure de l'enrobé sous l'effet combiné de la chaleur et du précompactage est obligatoire.

Il est généralement épandu à l'épaisseur nominale de 1,5 cm. Il nécessite donc d'être posé sur un revêtement propre, sans déformations (notamment pas d'orniérage) et dégradations.

4.5.2 Conditions météorologiques

Les bonnes conditions météorologiques jouent un rôle dans la réussite de la pose des RUMG, c'est pourquoi on limitera la période de mise en œuvre des RUMG à celle des enduits.

L'épaisseur de la couche étant très faible, la vitesse du vent a une influence très importante sur le refroidissement du revêtement en cours de compactage.

4.5.3 Spécificités et réglages du finisseur

Le RUMG peut être mis en œuvre au finisseur à rampe intégrée:

- pour éviter que les camions alimentant le finisseur n'arrachent avec leurs pneus l'épaisse couche de collage à base de liant bitumineux modifié;
- mais surtout pour que l'émulsion ne soit pas encore rompue au moment de la pose de l'enrobé et qu'elle puisse ainsi remonter dans la couche jusqu'à un niveau légèrement inférieur à la surface de roulement.

Comme la couche de collage est épandue juste devant l'enrobé, il est impossible d'en vérifier la bonne répartition et l'uniformité comme on peut facilement le faire lorsqu'elle est épandue préalablement à la pose. Une précaution très importante à prendre avant de débiter la pose à l'aide de ce type d'engin est donc de s'assurer du parfait fonctionnement de la rampe d'épandage (pas de gicleurs bouchés).

L'épaisseur de mise en œuvre étant très faible, la force du précompactage pourra être réduite au minimum, et on pourra ainsi travailler à des vitesses assez élevées, jusqu'à 15 m/min.

Vu la faible épaisseur (1,5 cm) de la couche et donc son refroidissement rapide, il est impératif que les tôles lisseuses du finisseur soient à température avant de démarrer la pose.

L'utilisation de la rampe d'émulsion n'étant pas toujours très pratique et précis à de telles vitesses d'avancement, il est conseillé d'enduire les bords (par exemple, le long des éléments linéaires) ou les tranches des revêtements adjacents avec le système classique de la lance à émulsion préalablement au passage du finisseur.

Il est conseillé d'utiliser des skis longs afin d'obtenir une bonne planéité du revêtement.

4.5.4 Organisation du compactage

L'emploi de compacteurs à pneus est interdit. En effet, le phénomène de remontée de l'émulsion dans la structure mince de l'enrobé entraînerait un très gros risque de collage des pneumatiques, avec pour effet immédiat des arrachements superficiels très préjudiciables pour le revêtement.

De plus, étant donné les faibles épaisseurs de mise en œuvre et leur granularité, l'utilisation des systèmes vibrants ou oscillants sont interdits afin d'éviter de casser les pierres.

Même si la force de compaction nécessaire n'est pas importante au vu de la faible épaisseur du revêtement, il est nécessaire de bien adapter (à la hausse) le nombre de rouleaux à la vitesse très élevée du finisseur, et aux conditions météorologiques (notamment sensibilité à la vitesse du vent).

4.6 Enrobés silencieux

4.6.1 Description

Les enrobés silencieux sont des mélanges qui ont été conçus pour réduire le bruit de roulement produit par le trafic, par rapport aux mélanges courants.

Il existe différents types d'enrobés silencieux:

- enrobé drainant;
- *Splitmastikasphalt* (SMA);
- couches silencieuses minces.

Le calibre maximal des couches minces est de 6,3 mm ou moins. Leur pourcentage de vides est généralement élevé (10 à 20 %), mais elles n'ont pas de pouvoir drainant comme cela est le cas avec les enrobés drainants. Les couches silencieuses minces sont généralement posées sur une épaisseur nominale de 30 mm ou moins.

Les couches de collage sur lesquelles l'enrobé silencieux est posé doivent présenter un dosage élevé (300 à 500 g/m² de liant résiduel).

4.6.2 Conditions météorologiques

Les couches silencieuses minces ne peuvent, tout comme le BBTM (voir § 4.3.2), être posées lorsque les températures sont basses, car elles vont refroidir très vite en raison de leur faible épaisseur. Une température de 8 °C est, en général, considérée comme seuil minimal. Cette température minimale doit être plus élevée si la vitesse du vent est importante. Elle peut d'autre part être un peu moins haute si les conditions météorologiques sont bonnes lors du compactage, que celui-ci est réalisé avec un important matériel (un grand nombre de compacteurs) et qu'il est bien organisé.

4.6.3 Réglages du finisseur

Etant donné que l'épaisseur de travail est fort restreinte, un précompactage moins intense est requis.

Afin d'éviter une trop grande remontée de liant en surface, ce qui est préjudiciable à la rugosité, il est déconseillé de travailler avec des fréquences de fonctionnement des dameurs et de la vibration (table de vibration) additionnelle trop élevées. La fréquence de vibration des dameurs et de la table de vibration doivent donc être peu élevées.

Pour obtenir une surface aussi égale que possible, il est très important que le finisseur progresse à une vitesse constante, et tout arrêt de celui-ci est totalement exclu.

4.6.4 Organisation du compactage

L'utilisation de compacteurs à pneus n'est pas recommandée.

De plus, étant donné les faibles épaisseurs de mise en œuvre et leur granularité, l'utilisation des systèmes vibrants ou oscillants sont déconseillés afin d'éviter de casser les pierres.

4.6.5 Facteurs ayant un impact sur la production sonore

Des irrégularités dans la surface d'un revêtement ont un impact direct sur ses performances acoustiques. Il importe donc de les éviter autant que possible lors de la pose. Les principaux paramètres ayant un impact sur la production sonore sont:

- la texture du revêtement

La texture donne des informations aussi bien sur la profondeur (amplitude) que sur la longueur (longueur d'onde) des irrégularités de la surface. La recherche a démontré que ce sont les irrégularités d'une longueur d'onde allant de 5 à 8 cm (mégastructure) qui influençaient le plus négativement le bruit de roulement;

- le relief du revêtement

Le relief de la surface est un deuxième facteur essentiel. Deux surfaces présentant un même spectre de texture peuvent néanmoins causer des bruits de roulement fort différents selon que leur texture est positive (concave) ou négative (convexe). Grâce à sa forme typique sans proéminences, une structure négative a de meilleures propriétés acoustiques qu'une texture positive. La figure 4.1 présente à gauche une texture positive (de type *Hot Rolled Asphalt*) et à droite une texture négative (SMA);



Figure 4.1 – Deux spectres de texture identiques mais des propriétés acoustiques différentes

- la porosité du revêtement (enrobé drainant).

Des vides interconnectés dans le revêtement, comme on en trouve dans l'enrobé drainant, contribuent aussi à l'absorption acoustique du revêtement. La réduction sonore est notamment obtenue en contrant le pompage de l'air. Il s'agit d'un phénomène au cours duquel l'air est comprimé entre le pneu et le revêtement, ce qui produit un sifflement. Sur un enrobé drainant, cet air est évacué dans les vides interconnectés. De ce fait, la pression entre le pneu et le revêtement est moins importante, et le bruit produit est par conséquent moindre.

4.7 Enrobés drainants

4.7.1 Description

L'enrobé drainant (ED) est un mélange à squelette pierreux prononcé avec une teneur en liant et une teneur en mastic relativement faible pour un enrobé destiné à des couches de roulement. La teneur en vides est très élevée (22 % en moyenne). Il s'agit dès lors d'un enrobé ouvert.

Les épaisseurs de pose sont de 30 mm (PA-10) et de 40 mm (PA-14).

A plus forte raison encore que dans le cas du SMA, l'enrobé drainant ne peut être mis en œuvre qu'avec le finisseur et uniquement sur des chantiers de grande ampleur.

Pour obtenir une bonne évacuation des eaux pluviales, l'inclinaison transversale doit être au minimum de 2,5 %.

Il est conseillé de prévoir un SAMI avant la mise en œuvre d'un enrobé drainant (voir § 3.2.6).

4.7.2 Réglage du finisseur

Pour l'enrobé drainant, la plus grande partie du compactage est effectuée par le finisseur. La vitesse d'avancement est de préférence comprise entre 6 et 8 m/min.

4.7.3 Organisation du compactage

Les vibrations et les compacteurs à pneus sont totalement interdits.

En effet:

- les vibrations (rouleau-compacteur tandem vibrant) et le pétrissage (compacteurs à pneus) font remonter le SAMI, ce qui fait que les vides de l'enrobé drainant se remplissent de bitume et que le caractère drainant diminue;
- le risque de morcellement des pierres existe. Il est encore plus important que dans le cas du SMA.

Comme mentionné précédemment, l'essentiel du compactage est réalisé par le finisseur, et un seul rouleau par finisseur est donc suffisant.

4.8 Enrobés percolés

4.8.1 Description

La première phase pour la réalisation d'un enrobé percolé est la mise en œuvre d'un enrobé drainant (PA) avec beaucoup de vides (jusqu'à 30 %). Lors d'une deuxième phase, ces vides sont remplis d'un mortier de ciment avec résine.

La couche en dessous de l'enrobé percolé doit être imperméable pour éviter que le mortier ne pénètre trop profondément dans la structure.

L'épaisseur d'un enrobé percolé est généralement de 4 ou 5 cm.

Lors de l'application du mortier, les étapes suivantes ont toutes leur importance.

4.8.2 Contrôle de qualité préalable de l'enrobé drainant



Figure 4.2 – Mortier de résine synthétique

Il faut absolument utiliser un enrobé drainant dont la composition conduit à un pourcentage de vides adéquat (entre 25 et 30 %) malgré un compactage standard. Après la mise en œuvre de l'enrobé drainant, des carottes sont prélevées afin de déterminer le pourcentage de vides. Celui-ci doit être compris entre 25 et 30 %.

Si le pourcentage de vides est inférieur à 22 %, il est impossible de remplir totalement l'ED avec du mortier de résine synthétique. Si le pourcentage se situe entre 22 et 25%, l'ED peut alors être rempli. Le mortier va prendre plus de temps pour pénétrer, ce qui va causer l'apparition de petits trous à la surface. Si le pourcentage est supérieur à 30 %, la surface n'aura plus la souplesse requise, et des fissures vont apparaître.

4.8.3 Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques sur le chantier sont très importantes. La température de mise en œuvre du mortier de résine synthétique doit être comprise entre 5 et 30 °C. La teneur en eau de ce mortier peut être adaptée en fonction de la température.

On ne peut pas travailler par temps de pluie. Une période sèche est nécessaire. En cas d'averse, l'enrobé doit être recouvert et, le cas échéant, l'eau doit ensuite être éliminée des vides.

Il est dès lors important d'appliquer ce mortier de ciment avec résine aussi vite que possible après la mise en œuvre de l'enrobé.

4.8.4 Confection du mortier de ciment avec résines

Le mortier est fabriqué à la centrale à béton ou sur le chantier. Lorsqu'il est confectionné à la centrale, le temps de transport vers le chantier ne peut pas excéder 60 minutes. Lorsqu'il est confectionné sur chantier, on utilise une installation de type continu combinant pompage et malaxage (avec raccordement à l'eau et à l'électricité). Le mortier est pompé systématiquement vers la zone à traiter via un long tuyau.

4.8.5 Application du mortier de ciment avec résine sur le chantier

Pour obtenir un bon résultat final, le mortier ne peut être appliqué qu'une fois tous les préparatifs terminés. La circulation sur l'enrobé drainant avant mise en œuvre du mortier est interdite, car le trafic pourrait fermer la surface et remplir les vides. Il est également strictement interdit de circuler sur le mortier fraîchement posé.

4.8.5.1 Début de l'application

Le mortier ne peut jamais être appliqué sur un enrobé chaud. Il faut que la température de ce dernier soit descendue sous les 30 °C. Tout d'abord, les pierres non adhérentes de l'enrobé sont retirées.

Un plan d'exécution, établissant l'ordre des zones à traiter, est dressé. On pensera également aux éléments suivants:

- les couvercles et les caniveaux doivent être protégés;
- on prendra des mesures pour que le mortier ne coule pas dans les avaloirs.

Les rebords libres doivent être recouverts avec du sable. La consommation de mortier doit être contrôlée en permanence afin de vérifier que les vides sont correctement remplis. Si le pourcentage de vides de l'enrobé drainant est connu, il est facile d'estimer la consommation de mortier à atteindre.

Avant d'être appliqué, le mortier doit être soumis à un essai d'écoulement, au cours duquel on mesure le temps nécessaire pour faire passer un litre de mortier dans un entonnoir standard. Ce temps doit être compris entre 10 et 18 s. Le temps d'écoulement du mortier doit être le plus constant possible pour tout le mortier.

Complémentairement, la zone d'étalement doit aussi être mesurée. Pour une épaisseur de 4 cm, il faudrait obtenir un diamètre compris entre 30 et 38 cm pour un litre de mortier de ciment, avec un temps d'écoulement de 14 à 15 s.

Le mortier de ciment et de résine synthétique doit être mis en œuvre endéans une heure et demie si la température de l'air est comprise entre 15 et 20 °C. Si cette dernière est supérieure à 20 °C on limitera cette durée à 1 h.

4.8.5.2 Mise en œuvre du mortier

Avant de mettre en œuvre le mortier, il est conseillé d'exécuter un essai de perméabilité sur l'enrobé drainant. Si la drainabilité est supérieure à 30 s, il faut utiliser un compacteur léger pour bien faire pénétrer le mortier sur l'épaisseur totale de la couche d'enrobé drainant.

Les camions doivent rouler vers le chantier sur une route revêtue et doivent atteindre le chantier sans passer par du sable, de la poussière ou de la boue. Si nécessaire, les pneus des camions doivent d'abord être nettoyés. Le mortier est déversé depuis le malaxeur sur l'enrobé et est étalé sur la surface à l'aide de raclettes en caoutchouc.

On laisse ensuite le mortier reposer et pénétrer, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de bulles d'air à la surface, ce qui signifie qu'il a rempli les vides jusqu'au fond.

Si nécessaire, il faut rajouter du mortier là où l'enrobé est de nouveau visible. Le mortier superflu est poussé vers l'enrobé encore à remplir. Après répannage, le mortier peut être travaillé pendant une quinzaine de minutes dans des conditions normales.

Il faut prévoir un approvisionnement de mortier constant et adéquat pendant tout le temps de travail.

Si de l'eau se trouve dans l'enrobé, il est préférable de commencer par déverser le mortier de ciment au point le plus haut. Celui-ci va pousser l'eau présente dans l'enrobé vers le bas.



Figure 4.3 – Epannage du coulis



Figure 4.4 – Mesure du temps d'écoulement

4.8.5.3 Finition de la surface

Lorsque l'enrobé est complètement rempli de mortier, il faut gratter la surface avec des raclettes en caoutchouc pour obtenir une surface uniforme sans aucun reste de mortier. Pour les surfaces importantes, ces raclettes peuvent être montées sur un petit tracteur.

La finition de la surface peut débuter dès qu'il n'y a plus aucune bulle d'air à la surface.

Le mortier superflu doit être éliminé afin que sa hauteur ne dépasse pas celle de l'enrobé.

Les zones finies sont ensuite aspergées d'un produit de cure. La finition doit être réalisée à un rythme uniforme et égal du début à la fin. Aucune pause ne peut être faite pendant les opérations. Il faut donc travailler avec plusieurs équipes.

Il est interdit de marcher ou de circuler sur la couche fraîchement traitée car cela laisserait des traces visibles si la surface n'est pas sèche.

Chaque zone doit donc être suffisamment petite pour pouvoir appliquer le produit de cure de façon continue.

Si la rugosité doit être améliorée, il est possible de broser la surface du revêtement ou de le saupoudrer avec du sable grossier (sable de concassage). Après durcissement, la rugosité peut éventuellement être améliorée par un grenailage.

4.8.6 Mise en service



Figure 4.5 – Enrobé percolé après la pose

Un jour après l'application du produit de cure, l'enrobé percolé a déjà atteint 50 % de sa résistance finale, et sera prêt à être mis en service dans la plupart des cas. Il est toutefois préférable d'attendre environ sept jours avant de soumettre la surface à la charge.

Une attention particulière doit être prêtée à la (ou les) couche(s) sous l'enrobé percolé. Celle-ci doit être bien stable et rigide. A défaut, l'enrobé percolé se fissurera et sera poussé dans la couche sous-jacente. Une des (meilleures) possibilités est de réaliser la couche de liaison en EME.

4.9 Enrobés colorés

Nous référons au Dossier CRR 17 [13] pour une description détaillée des recommandations pratiques pour le choix des matériaux, la conception et la mise en œuvre des enrobés colorés et la détermination objective de leur couleur.

4.9.1 Description

Les enrobés colorés sont fabriqués en centrale et sont constitués de gravillons, de sable, de pigments, de filler et de liant bitumineux ou synthétique. Ils doivent être compactés lors de leur mise en œuvre. Les enrobés colorés se distinguent des enrobés ordinaires noirs par leur couleur. Celle-ci peut être obtenue

grâce à l'utilisation de certains composants spécifiques tels que des granulats de couleur, des pigments et des liants synthétiques clairs. L'impact de ces matériaux sur les performances des enrobés n'est pas négligeable et doit donc être pris en compte afin d'obtenir des enrobés performants et durables. De même la fabrication et la mise en œuvre des enrobés colorés doivent faire l'objet d'une attention particulière (voir § 4.9.3).

4.9.2 Couleurs

Nous référons à la Méthode CRR MF 90/15 [14] pour une description détaillée de la méthode de mesure de la couleur des revêtements bitumineux colorés et plus spécifiquement dans le cas de la détermination sur des carottes bitumineuses de la pré-étude.

Étant donné que la perception de la couleur varie d'un individu à l'autre, cela peut souvent mener à des discussions dans le cas des revêtements colorés. Cette perception dépend de toute une série de facteurs tels que l'observateur, la source lumineuse et la distance entre l'observateur et l'objet.

Le CRR a développé une méthode plus objective pour déterminer/mesurer la couleur des enrobés colorés. Cette méthode utilise un spectrophotomètre (type 45°/0°) qui peut exprimer la couleur à l'aide des trois coordonnées colorimétriques L^* , a^* et b^* .

A l'heure actuelle, quatre classes de couleur ont été fixées et exprimées en termes de coordonnées colorimétriques:

- rouge;
- bordeaux-brun;
- beige;
- ocre.

Ces quatre classes de couleur ont également été introduites dans les cahiers des charges. Des tolérances acceptables pour les coordonnées colorimétriques des carottes d'enrobés bitumineux colorés de la pré-étude ont également été établies. Le CRR a développé une application dans laquelle les coordonnées colorimétriques peuvent être introduites et qui indique automatiquement si la couleur appartient bien à une classe donnée. Cette application est disponible sur le site web CRR: <http://coloursphalt.brrc.be>.

4.9.3 Points d'attention

En termes de couleur, la qualité de la mise en œuvre influencera l'aspect initial de l'enrobé coloré, son évolution future et sa durabilité. Il est dès lors primordial de mener une réflexion préalable sur les différents aspects développés ci-dessous.

4.9.3.1 Plan et méthodologie de pose

En fonction de la forme des surfaces à revêtir et des obstacles présents, il est recommandé:

- de limiter le nombre et la longueur totale des joints. L'utilisation d'un finisseur de largeur optimale est dès lors préconisée (pour travailler sur toute la largeur en une seule passe de finisseur). Si la largeur de la surface à revêtir est plus grande que la largeur du finisseur, il est vivement recommandé de poser l'enrobé «chaud contre chaud» là où cela est possible à l'aide de finisseurs travaillant en parallèle;

- de limiter le nombre et la surface des zones mises en œuvre manuellement en ayant à disposition un finisseur de faible largeur.

Lorsqu'une partie de la route est réalisée en enrobé coloré, il faut planifier la mise en œuvre afin que l'enrobé coloré ne soit pas sali lors des travaux; la chronologie de cette mise en œuvre est primordiale pour assurer un résultat de qualité technique et esthétique optimale.

4.9.3.2 Préparation du support et choix de la couche de collage

Il est primordial que le support soit uniforme, propre et sec (comme pour les enrobés bitumineux ordinaires).

Une couche de collage, de type émulsion cationique bitumineuse (couleur noire), peut être appliquée sur le support puisqu'elle sera recouverte ultérieurement par l'enrobé coloré. Il est tout de même conseillé d'utiliser une émulsion anti-adhérente (voir § 3.2.2.2), avec idéalement une température anneau et bille qui soit supérieure à la température du support, car cela permet de réduire le risque de salissures de l'enrobé coloré. L'utilisation d'une émulsion claire à base de liant synthétique peut également être envisagée, mais elles sont à ce jour peu disponibles, onéreuses et elles nécessitent de disposer d'une répandeuse qui leur soit entièrement dédiée, raisons pour lesquelles elles sont très rarement utilisées en Belgique.

4.9.3.3 Propreté du matériel et règles de circulation sur chantier

Afin d'éviter toute salissure sur le revêtement coloré, il est indispensable de:

- veiller à ce que tout le matériel (camion, finisseur, compacteur, brouette, raclette, balai, etc.) utilisé pour la mise en œuvre ait été préalablement nettoyé;
- s'assurer de la propreté des chaussures des ouvriers (il existe des produits dégraissants permettant de nettoyer les semelles). L'utilisation de semelles sans profil est à recommander.



Figure 4.6 – Utilisation de plaques en bois

Il faut masquer/protéger les zones à ne pas revêtir (trapillons, clinkers, pavés, etc.) avec un support dédié et adapté:

- si on utilise des couches «anti-adhérentes» pulvérisées en couche très mince, il faut éviter de marcher dessus car des traces d'empreintes de chaussures seront présentes sur l'enrobé coloré. Il est interdit d'utiliser du gasoil comme couche anti-adhérente car celui-ci peut dégrader l'enrobé coloré;
- l'utilisation de sable comme couche de protection n'est pas réellement adaptée car il y a des risques de contamination de la couleur en surface des enrobés colorés.

Lorsqu'il s'avère nécessaire de marcher sur un enrobé coloré non refroidi, il est préconisé de protéger l'enrobé en plaçant par exemple une plaque de bois (figure 4.6).

4.9.3.4 Approvisionnement du chantier

Une attention particulière doit être portée à la distance entre la centrale d'enrobage et le chantier à réaliser. Le temps nécessaire aux camions d'approvisionnement pour atteindre le chantier doit être le plus court possible afin d'éviter un phénomène qui pourrait nuire à l'aspect esthétique du revêtement coloré: la «cuisson» de l'enrobé qui impliquera, plus particulièrement dans le cas des enrobés à base de liant synthétique clair, non seulement une dégradation de ce liant (modification possible de la couleur et/ou des propriétés intrinsèques du liant) mais également une réduction de la maniabilité de l'enrobé.

4.9.3.5 Compactage

L'épaisseur des couches d'enrobés colorés étant généralement faible, il faut éviter d'utiliser un compacteur à pneus car ce compactage par pression statique et pétrissage pourrait engendrer des sillons et nuire à l'esthétique du revêtement coloré. Si un compacteur à pneus est malgré tout nécessaire, il est alors préférable de le faire passer après le compacteur vibrant.

Il faut être particulièrement attentif à la méthode de compactage de l'enrobé coloré aux abords des éléments localisés (trapillons, plaques métalliques, etc.). Si une couche de collage a été utilisée pour enduire ces éléments (ou tout autre produit «coloré» à but anti-adhérent), il est alors impératif de racler l'enrobé subjacent et de ne pas le redéposer aux abords de ces éléments. En effet, cet enrobé coloré mélangé au produit anti-adhérent pourrait contaminer la surface de l'enrobé jouxtant les coloré localisés.



Figure 4.7 – Contamination après compactage

4.9.3.6 Traitement des joints

Pour le traitement des joints dans de l'enrobé coloré, veuillez-vous référer au § 3.6.2.4.

4.9.3.7 Mise en circulation

Le plus souvent, le délai de mise en circulation est proche de celui des enrobés classiques. Celui-ci est aussi fonction du type de circulation (piétonne ou automobile).

Avant la mise en circulation au trafic, il est important d'attendre le refroidissement complet des enrobés colorés pour éviter:

- d'une part, le risque de formation de bosses ou d'ornières à la surface du revêtement en enrobé coloré. Cela aurait en effet pour conséquence d'altérer le côté esthétique et de diminuer le confort des usagers;
- d'autre part, le collage, sur l'enrobé, de la gomme de pneus ou des poussières qui s'y trouvent. Cela aurait en effet pour conséquence de ternir la coloration.

Une attention particulière doit être portée aux éventuels travaux ultérieurs (marquages routiers, mise en place de poteaux, de plaques métalliques, etc.) qui pourraient nuire à l'aspect esthétique du revêtement coloré.

4.10 Enrobés imprimés

Avec ce type d'enrobé, il est possible d'imprimer des motifs et des structures. Il est le plus souvent utilisé pour représenter des pavés.

Le revêtement ne doit pas être spécialement plus épais pour pouvoir réaliser une impression. Cependant, il faut choisir le mélange qui conviendra le mieux aux conditions d'utilisation.

4.10.1 Techniques

4.10.1.1 Impression juste après la pose de l'enrobé au finisseur

Le revêtement bitumineux est mis en œuvre avec un finisseur. Immédiatement après la dernière passe de compactage, des panneaux en acier intégrant le motif souhaité sont appliqués sur l'enrobé encore chaud. Dans le cas d'enrobés colorés, il est conseillé d'utiliser des panneaux en acier inoxydable.

Ces panneaux sont ensuite enfoncés dans l'enrobé à l'aide de plaques vibrantes lourdes. Les vibrations s'arrêtent lorsque les panneaux sont suffisamment enfoncés.



Figure 4.8 – Impression après la pose

4.10.2.2 Impression après avoir réchauffé l'enrobé (reheat)

La machine utilisée à cet effet réchauffe de manière sûre et contrôlée l'enrobé jusqu'à une température d'environ 110 °C.

Lorsque l'enrobé est suffisamment réchauffé, les panneaux avec le motif souhaité sont placés sur l'enrobé. Les panneaux sont enfoncés par vibration jusqu'à la profondeur souhaitée.



Figure 4.9 – Machine de réchauffement des enrobés

4.10.1.3 Avantages et inconvénients des deux méthodes

Un gros avantage de la méthode d'impression directement après le finisseur est la production quotidienne. Celle-ci est environ de 1000 à 1200 m² par jour. Avec l'autre méthode, la production quotidienne maximale est d'environ 300 m².

Un avantage de la méthode de réchauffement est qu'elle permet de réchauffer de manière ciblée certaines zones de l'enrobé. Il est donc possible de réaliser des motifs plus complexes sans que l'enrobé ne refroidisse trop.

Pour chaque chantier, il faudra établir à l'avance quelle est la méthode la plus adéquate.

Les panneaux sont constitués de gabarits préfabriqués en acier inoxydable, qui sont soudés de manière indéformable selon le modèle désiré. Les câbles ont une épaisseur standard de 9 mm, ce qui permet d'obtenir un joint suffisamment profond après insertion par vibrations. Cette insertion est réalisée à l'aide de plaques vibrantes spéciales à haute fréquence. Le panneau est ensuite retiré et déplacé vers la partie suivante.

4.10.2 Type d'enrobé et couleur

L'enrobé qui se prête le mieux à l'impression est l'enrobé fermé. Pour obtenir la couleur souhaitée, on peut utiliser de l'enrobé coloré. Sur du béton bitumineux fermé et de l'asphalte coulé, on peut éventuellement appliquer un enduit.

L'utilisation d'un liant modifié allonge la durée de vie de l'effet d'impression.

Néanmoins, l'enduit s'use sous l'effet du trafic. Cela ne pose pas trop de problèmes pour une zone piétonnière mais peut être un problème sur des voiries sous trafic.

4.11 Enrobés à basse température

4.11.1 Description

Les enrobés à basse température ne diffèrent pas des enrobés à chaud au niveau de leur composition minérale (granulats, sable, filler, etc.) Ils sont toutefois produits à une température plus basse, ce qui fait que la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre lors de la préparation s'en voient réduites.

La production à des températures plus basses présente également d'autres avantages:

- d'autres émissions nocives (CO, NO_x, SO₂ et composants organiques volatils) sont également réduites;
- les rejets sous la forme d'aérosols, de vapeurs de bitume et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques sont réduits;
- les conditions de travail des ouvriers sont améliorées grâce à la chaleur et aux émissions moins importantes;
- plus de confort pour les riverains, grâce à la réduction des nuisances olfactives;
- le vieillissement à court terme du liant lors de la fabrication est limité.

Il existe à travers le monde différentes définitions des intervalles de température de production permettant de distinguer les enrobés à froid, les enrobés tièdes et les enrobés à chaud. Dans le présent code de bonne pratique, nous utilisons les intervalles suivants, d'usage en Belgique:

Dénomination	Température de fabrication
Enrobés à chaud (<i>Hot Mix Asphalt</i>)	> 150 °C
Enrobés à basse température (<i>Warm Mix Asphalt</i>)	110 °C – 130 °C
Enrobés semi-tièdes	60 °C – 110 °C
Enrobés à froid	< 40 °C

Tableau 4.2 – Dénominations des types d'enrobés selon leur température de fabrication

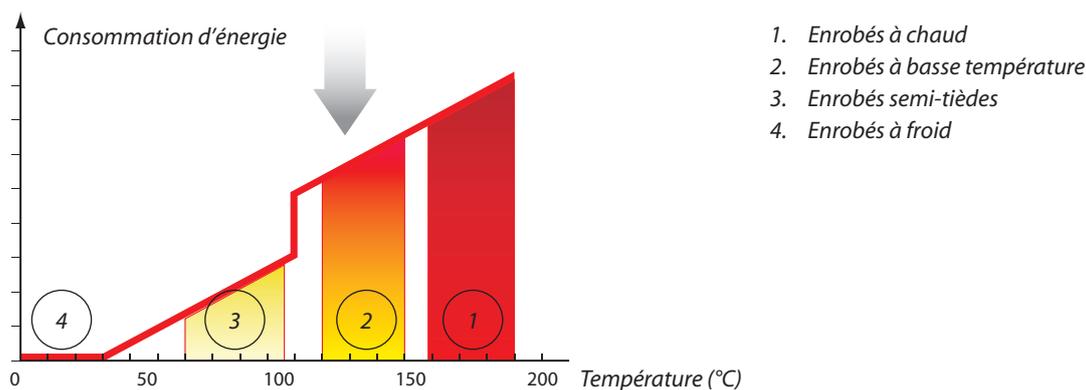


Figure 4.10 – Dénomination des enrobés selon leur température de fabrication

Pour pouvoir travailler à une température de production réduite, il est nécessaire que la viscosité du liant soit adaptée de sorte que les granulats soient bien totalement enrobés. Différentes méthodes pour ce faire sont disponibles:

- ajout d'additifs organiques, principalement des cires;
- ajout d'additifs chimiques;
- techniques de la mousse, où l'on fait mousser le bitume en ajoutant de l'eau.

En principe, chaque enrobé peut être produit à basse température, mais il est nécessaire de choisir une méthode adaptée au type de liant.

4.11.2 Conditions météorologiques

L'impact des conditions météorologiques sur la pose des enrobés à basse température est plus important que pour les enrobés classiques à chaud, en raison de leur température de fabrication plus basse et donc de l'intervalle de température plus limité qui en découle. L'exécution du chantier doit donc être soigneusement préparée, en tenant compte de la température ambiante et de la vitesse du vent.

Le transport doit, plus encore que pour les enrobés à chaud, avoir lieu avec toute la prudence requise pour éviter autant que possible les pertes de chaleur.

4.11.3 Organisation du compactage



Figure 4.11 – Arrachement de l'enrobé dû à un compacteur dont les pneus sont trop froids

Le compactage peut être organisé de la même manière que celui des enrobés à chaud. Néanmoins, il convient de prêter attention à quelques différences importantes.

- étant donné que l'enrobé est produit à une température maximale de 130 °C, l'intervalle de temps disponible pour le compacter est donc moindre. Le compactage doit en effet se faire entre 130 et 80 °C au lieu de 160 °C et 90 °C;
- un compactage avec un compacteur à pneus est exclu car en raison de la température plus basse de l'enrobé, les pneus ne peuvent pas être suffisamment chauffés. De ce fait, l'enrobé colle aux pneus pendant le compactage et est arraché, ce qui mène à des dégradations dans la couche posée.

Les compacteurs doivent suivre rapidement le finisseur et rouler juste derrière la table lisseuse.

Chapitre 5

Contrôle de la qualité

Les essais réalisés pendant l'exécution ont avant tout pour but de vérifier si l'on peut continuer à travailler de la sorte ou bien si des adaptations sont nécessaires.

Il est donc très important que l'entrepreneur procède à un autocontrôle, mais aussi que les autorités réalisent des sondages, pour s'assurer que les contrôles de qualité sont réalisés correctement.

Un plan qualité peut s'avérer un outil utile.

5.1 Mesures de température

Idéalement, la température sera mesurée lorsque l'enrobé arrive sur le chantier, pendant la mise en œuvre et lors du compactage.

Mesurer la température de l'enrobé lors de son arrivée sur le chantier permet de déterminer si celle-ci est suffisante. Cette information peut être transmise à l'unité de production pour une éventuelle correction. On peut également corriger le compactage soit en se rapprochant, soit en s'écartant quelque peu du finisseur.

Les mesures de température sont simples à réaliser, sont peu onéreuses et sont riches en informations. Leur importance est souvent sous-estimée.

Les mesures de température dans la masse peuvent de préférence être effectuées à l'aide d'un thermomètre digital équipé d'une sonde. Les thermomètres infrarouges (qui mesurent la température en surface) peuvent être utilisés, mais avec toute la prudence requise. Étant donné qu'ils mesurent la température à la surface, celle-ci est souvent sous-estimée. Il est également important de mesurer une température représentative dans la masse et de ne pas tirer trop vite de conclusions à partir de mesures effectuées par exemple sur les côtés du bac d'approvisionnement du finisseur, où la température n'est certainement pas représentative de la température moyenne du mélange.

La température peut être mesurée en continu par un analyseur infrarouge qui est monté sur le toit du finisseur. Le scanner mesure la température de la surface sur toute la largeur du finisseur. Le scanner IR fournit une vue en direct de la température de la bande qui permet à l'opérateur de rouler d'adapter le processus. En utilisant des scanners infrarouges, il est possible de détecter la ségrégation thermique.

5.2 Mesures d'uni

Des mesures d'uni avec la règle de 3 m sont effectuées pendant l'exécution, au niveau des joints d'amorce, des joints de ponts, des couvercles d'égouts, des endroits où il a fallu s'arrêter, etc.



Figure 5.1 – Mesure de la température avec un thermomètre à sonde



Figure 5.2 – Mesure à la règle de 3 m

Il est important de poser immédiatement la règle de 3 m lorsque l'enrobé est encore chaud, afin de pouvoir apporter les éventuelles corrections nécessaires ou bien réaliser un compactage (transversal) supplémentaire, etc.

La règle doit aussi être utilisée sur les couches de liaison.

5.3 Mesures de profil

Durant l'asphaltage, il est recommandé de contrôler régulièrement le profil tant transversal que longitudinal. Il peut s'agir de mesures optiques, mais il est souvent plus facile de tendre un fil sur toute la largeur de la route.

Pour les travaux de plus grande ampleur, il peut être envisagé de réaliser une mesure APL du profil longitudinal sur les couches de liaison avant de mettre en œuvre la couche d'usure.



Figure 5.3 – Utilisation d'un fil pour contrôler le profil et le niveau

5.4 Mesures d'épaisseur

Il importe d'utiliser pendant l'exécution les moyens nécessaires pour vérifier et corriger l'épaisseur de la couche bitumineuse mise en œuvre.

Cela peut se faire de différentes manières:

- contrôler et vérifier régulièrement la consommation d'enrobé bitumineux;
- mesurer l'épaisseur de l'enrobé immédiatement après le finisseur et aussi lors du compactage à l'aide d'une pique et/ou d'un mètre et d'une mesure de distance parcourue;
- réaliser des carottages intermédiaires (de préférence avant la mise en œuvre de la couche d'usure) pour avoir l'opportunité, le cas échéant, de réaliser les corrections nécessaires avant la mise en œuvre de la ou des couches suivantes. Bien entendu, cela n'est recommandé que dans le cas de travaux de grande ampleur et de longue durée;
- mesure d'épaisseur automatique et sans contact installée sur la table de finition. Deux capteurs mesurent devant et derrière la table. L'épaisseur mise en place est calculée et indiquée en temps réel sur un écran;
- mesures non destructives de l'épaisseur utilisant un appareil de mesure électromagnétique (MIT-SCAN). Le principe du MIT-SCAN est basé sur l'induction de pulsations électro-



Figure 5.4 – Roue de mesure de la distance parcourue, accrochée au finisseur

magnétiques. La méthode consiste à placer de petites plaquettes en aluminium sous chaque couche d'enrobé à contrôler avant de poser cette dernière. Les plaquettes font office de réflecteur. Après coup, elles doivent être retrouvées à l'aide de l'appareil de mesure. Cette opération est alors suivie de la mesure de l'épaisseur proprement dite. Il est déconseillé de placer des plaquettes sur un support fraisé car celles-ci peuvent alors basculer lors de la pose des enrobés et fausser les résultats. Les prescriptions pour les réflecteurs, les diamètres et la manière de les poser sont décrits dans le *Standaardbestek 250* (à partir de la version 3.1).

Toutes ces mesures n'ont pas seulement pour but de s'assurer que les exigences établies sont bien respectées, elles servent également à contrôler les quantités d'enrobé utilisées.

5.5 Mesures de compactage

Sur les carottes prélevées pour contrôler l'épaisseur, on peut aussi déterminer le pourcentage de vides et la compacité relative (rapport entre le compactage réel et le compactage obtenu en laboratoire via un recomptage à la presse à compaction giratoire ou la dame Marshall).

Le compactage peut également être suivi de façon continue avec des appareils de mesure non destructifs. Il existe des sondes nucléaires (par exemple Troxler 3450™ ou CPN MC-3™) et des sondes électromagnétiques (par exemple PQI 380™ ou Troxler PaveTracker™). Il est nécessaire de prendre quelques préparatifs avant de mettre en œuvre ces appareils. Il faut en effet les calibrer pour les produits à contrôler. Idéalement, on mettra en œuvre une aire d'essai par produit. Bien entendu, cela ne peut se faire que sur les chantiers de grande taille. Les résultats des mesures électromagnétiques sont influencés par la température. Le calibrage et les mesures devraient se faire à la même température.

Le compactage renseigné par les «compacteurs intelligents» donne une indication du compactage encore potentiellement réalisable du mélange à la température donnée. Il s'agit d'une mesure relative sur laquelle la rigidité des couches sous-jacentes a aussi un impact. Cette mesure ne peut être réalisée que lorsqu'on applique des vibrations.



Figure 5.5 – Mesure de la densité au gammadensimètre

5.6 Pouvoir drainant des enrobés drainants

Lors de la mise en œuvre d'enrobés drainants, le pouvoir drainant peut être mesuré de manière systématique à l'aide d'un essai au cours duquel une colonne d'eau contenue dans un tube en verre est placée sur la surface de l'enrobé et le temps nécessaire à cette eau pour s'écouler jusqu'à un certain niveau est mesuré.

5.7 Contrôle de la composition

Malgré le fait qu'on travaille avec des enrobés certifiés, il est toujours possible de prélever des échantillons de vrac afin de réaliser des contrôles supplémentaires en laboratoire en cas de doute. Les échantillons sont prélevés conformément aux normes et cahiers des charges de manière à obtenir un échantillon représentatif.



Figure 5.6 – Mesure du pouvoir drainant

5.8 Contrôle de l'adhésion intercouches

L'adhésion entre les couches constitutives d'une chaussée peut être évaluée à l'aide d'essais d'adhésion inter-couches, décrits dans la norme NBN EN 12697-48 [15], sur des carottes prélevées au cours ou en fin d'exécution.

Deux méthodes d'adhésion intercouches normatives, reprises dans la norme NBN EN 12697-48, peuvent être classées en deux catégories selon le mode de sollicitation utilisé pour simuler les principales contraintes induites par le trafic:

- l'essai de cisaillement direct qui va évaluer la résistance aux contraintes tangentielles générées par le freinage, l'accélération et les virages des véhicules, les mouvements thermiques quand les couches sont de nature différente;
- l'essai de traction directe qui va évaluer la résistance aux sollicitations normales induites par le trafic véhiculaire et plus particulièrement le trafic lourd.

5.8.1 Essai de cisaillement direct

Le principe de cet essai est de générer des contraintes de cisaillement à l'interface de deux couches de matériaux, un peu à la manière d'une guillotine. Le dispositif de cisaillement direct est illustré à la figure 5.7. Au niveau des conditions opératoires, on applique une contrainte de cisaillement avec une vitesse de 50 mm/min sur l'interface des carottes d'un diamètre de 150 mm qui ont été pré-conditionnées à 20 °C.



Figure 5.7 – Illustration de l'appareillage de cisaillement direct

5.8.2 Essai de traction directe

Le principe de cet essai est de générer des contraintes de traction sur les différentes couches constitutives de la carotte à tester. Il s'agit d'une méthode évaluant aussi bien la force de liaison entre deux couches de chaussée (si la rupture a lieu à l'interface) que la cohésion interne des deux couches impliquées (si la rupture a lieu au sein des couches). Le dispositif de traction directe disponible au CRR est illustré à la figure 5.8. L'essai est réalisé au CRR sur des éprouvettes cylindriques (diamètres externe de 150 mm et interne de 100 mm jusqu'à une profondeur de 10 mm sous l'interface) par l'intermédiaire d'un tampon métallique, à une température d'essai de 10 °C et une vitesse de traction de 200 N/s jusqu'à la rupture.



Figure 5.8 – Illustration de l'appareillage de traction directe

Chapitre 6

Ouverture au trafic

6.1 Temps de mise en service après la pose

La réouverture d'une voirie trop rapidement après la pose de l'enrobé bitumineux est susceptible de provoquer des dégradations prématurées, notamment de l'orniérage et du plumage. Il est donc important d'attendre le temps nécessaire pour que la température au sein de la couche d'enrobé descende en dessous d'une certaine limite.

Le Compte rendu de recherche CR42/06 – Evolution de la température d'une couche d'enrobé bitumineux nouvellement posée [16] – du CRR décrit en détail le processus de refroidissement des enrobés et présente des abaques détaillés et un logiciel qui permettent de calculer précisément les périodes de refroidissement, avec prise en compte de divers facteurs, comme la période de mise en œuvre, la vitesse du vent, etc.

Il existe cependant quelques règles de base simples que l'on peut appliquer pour une première estimation. Celles-ci sont développées au § 6.1.2 et au § 6.1.3.

6.1.1 Estimation rapide du temps nécessaire au refroidissement

Idéalement l'enrobé doit refroidir pendant douze heures. C'est à fortiori toujours le cas lorsque deux couches ont été réalisées «chaud sur chaud». Etant donné que cela n'est pas toujours possible pour toutes sortes de raisons, la règle suivante peut être appliquée pour estimer le temps nécessaire au refroidissement de la couche.

Température ambiante mesurée après la mise en œuvre de la couche	< 10 °C	< 20 °C	< 30 °C
Période de refroidissement en heure, par cm d'épaisseur	0,5	1,0	1,5

Tableau 6.1 – Temps de refroidissement

Il existe une méthode de calcul plus exhaustive pour le calcul du temps de refroidissement d'une couche d'enrobés bitumineux. Cette méthode et le logiciel correspondant, sont décrits dans le Compte rendu de recherche CR42/06 [16].

6.1.2 Estimation rapide de la température pour la remise en circulation

La température de remise en circulation peut être estimée de la façon suivante:

$$T_{\text{circulation}} = \frac{2}{3} T_{\text{A\&B}}$$

Equation 6.1 – Température de remise en circulation

où $T_{\text{circulation}}$ est la température de remise en circulation (°C);

$T_{\text{A\&B}}$ est la température de ramollissement anneau et bille du bitume utilisé (°C).

Attention, la température $T_{\text{circulation}}$ est à comparer à la température mesurée à mi-épaisseur de la couche concernée. Cette dernière est supérieure à la température mesurée à la surface, par exemple avec un thermomètre à infrarouge. La différence peut être notable, comme l'illustre la figure ci-dessous, qui présente l'évolution de la température d'une couche d'enrobés de 5 cm en fonction du temps.

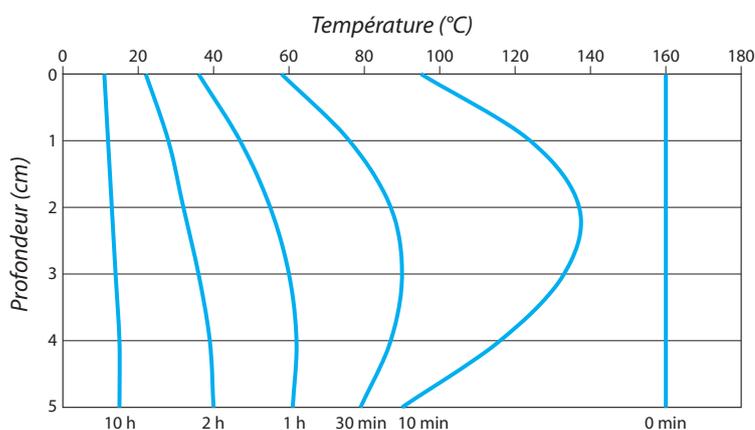


Figure 6.1 – Evolution de la température

Le tableau ci-dessous reprend à titre indicatif les températures de ramollissement anneau et bille, ainsi que les températures de remise en circulation, de quelques bitumes couramment utilisés en construction routière.

	Bitume routier				Bitume polymère neuf		
Classe	20/30	35/50	50/70	70/100	45/80 – 50	45/80 – 65	75/130 - 75
$T_{\text{A\&B}}$	55 – 63	50 – 58	46 – 54	43 – 51	50	65	75
$T_{\text{circulation}}$	39	36	33	31	33	43	50

Tableau 6.2 – Température de remise en circulation en fonction du type et de la classe de bitume

6.1.3 Facteurs qui influencent le refroidissement

Les règles développées ci-dessus ne donnent qu'une estimation grossière du temps de refroidissement. Arriver à déterminer exactement quand l'enrobé a suffisamment refroidi pour pouvoir être ouvert au trafic dépend en fait de toute une série de facteurs. C'est la raison pour laquelle ce moment est difficile à établir de manière univoque.

Les facteurs ayant une influence sont notamment:

- le type et l'épaisseur de l'enrobé;
- le nombre de couches;
- la température ambiante;
- la vitesse du vent;
- la température du mélange au début de la mise en œuvre;
- la largeur des bandes de circulation;
- le type et la vitesse du trafic attendu.

6.1.3.1 Type d'enrobé

Naturellement, le type d'enrobé joue un rôle: un squelette pierreux résistera plus à une ouverture précoce qu'un squelette de sable. L'enrobé drainant sera aussi plus résistant que le SMA (qui contient beaucoup plus de mortier), bien qu'ils aient tous les deux un squelette pierreux.

6.1.3.2 Nombre de couches et épaisseur

Si plusieurs couches sont posées «chaud sur chaud», l'épaisseur totale ralentira le refroidissement de l'enrobé. Plus l'épaisseur sera importante, plus le refroidissement sera long. De même, quand une couche de roulement est coulée à chaud sur une couche encore chaude, cette dernière restera chaude bien plus longtemps, ce qui augmente le risque de déformation. À l'inverse plus la couche sous-jacente est froide, plus l'enrobé refroidira rapidement.

6.1.3.3 Température ambiante et vitesse du vent

La température ambiante joue aussi un rôle important dans le processus de refroidissement. En été, si la température ne baisse pas suffisamment la nuit, le refroidissement prendra bien entendu plus de temps. La vitesse du vent a également un impact important sur le refroidissement. Le vent fait refroidir la surface de l'enrobé assez rapidement, ce qui fait que l'on peut avoir une idée erronée du refroidissement si l'on ne se base que sur la température superficielle.

6.1.3.4 Température du mélange au début de la mise en œuvre

L'utilisation d'un enrobé produit à une température moins élevée aura aussi un impact considérable sur le temps de refroidissement.

6.1.3.5 Largeur de bandes de circulation

Si la bande de circulation a une largeur suffisante pour pouvoir dévier le trafic, c'est-à-dire que l'ensemble du trafic ne doit pas circuler sur une même bande, cela a un impact sur la température à laquelle la route peut être ouverte au trafic.

L'ouverture peut avoir lieu plus rapidement quand la largeur de la bande est importante.

6.1.3.6 Type et vitesse du trafic

Le type de trafic et le type de route ont un impact sur le moment de l'ouverture. Une autoroute très fréquentée, où circulent de nombreux poids lourds, devra refroidir plus longtemps qu'une traversée où seules circulent des voitures particulières.

La vitesse des véhicules joue également un rôle: plus on roule lentement, plus les déformations engendrées sont élevées. Ceci est d'autant plus important avec les poids lourds.

6.2 Rugosité

Il faut faire attention au fait que la rugosité de départ est moins élevée lors de l'ouverture au trafic, car le film de bitume n'a pas encore disparu des gravillons sous l'effet de celui-ci. Ceci peut provoquer des accidents et il est recommandé de prendre des mesures, comme par exemple aux Pays-Bas, où sont placés des panneaux indiquant «Route neuve – Distance de freinage plus longue».

Si on remarque un ressuage local de bitume lors de la pose, une solution peut consister à épandre un gravillon fin sur cette partie.

6.3 Post-traitement des joints

Le post-traitement des joints doit avoir lieu avant l'ouverture du chantier au trafic. Lors de cette étape, il faut s'assurer que l'on a bien attendu la rupture de l'émulsion avant l'ouverture au trafic.

Chapitre 7

Points d'attention particuliers

7.1 Température des enrobés bitumineux

La température d'un mélange bitumineux influence le comportement de celui-ci aux différentes étapes, de la fabrication à l'ouverture au trafic. Ces différentes étapes sont détaillées ci-après.

7.1.1 Fabrication

Les températures d'épandage et de compactage sur chantier peuvent être respectées pour autant qu'au départ de l'installation d'enrobage, le mélange bitumineux ait une température correcte et qu'il n'y ait pas de perte de chaleur excessive entre la fabrication et l'épandage.

La température du mélange lors du malaxage doit être telle que le liant ait une viscosité suffisamment faible pour permettre un enrobage rapide et complet du granulat, et qu'elle soit suffisamment élevée pour empêcher la ségrégation du mélange lors du transport et de la mise en œuvre.

La température de fabrication correcte dépend de la nature du liant, de celle de l'enrobé et des températures exigées sur chantier. Les normes de la série NBN EN 13108 stipulent les températures admissibles lors de la production. Les prescriptions varient entre 140 et 200 °C en fonction du type d'enrobé et du bitume utilisés.

7.1.2 Importance de la protection des enrobés lors du transport

La température du mélange bitumineux ne peut pas trop diminuer pendant toute la durée du transport. Elle doit rester suffisamment élevée pour permettre une mise en œuvre efficace. La durée maximale du transport dépend donc de la qualité de l'isolation thermique des camions et de leur recouvrement par une bâche ou un autre système similaire.

Le risque de formation d'une couche froide (croûte) existe, surtout sur de longues distances. Si des morceaux refroidis se forment, il faut les éliminer aussi vite que possible. 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 les plus froides sont généralement moins denses, plus poreuses et par conséquent peuvent se dégrader de façon prématurée. La figure 7.1 illustre le phénomène.

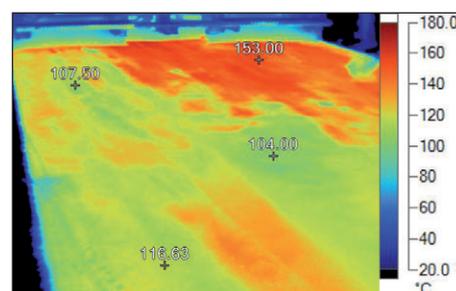


Figure 7.1 – Températures hétérogènes d'une couche fraîchement posée

7.1.3 Epandage

L'épandage doit être réalisé suffisamment tôt afin que l'on puisse compacter l'enrobé à la température nécessaire pour la mise en place correcte de la couche d'enrobé bitumineux.

7.1.4 Compactage

La température de compactage est un paramètre essentiel. C'est lorsque la température des enrobés est dans l'intervalle de température correct que les compacteurs parviennent à réduire le pourcentage de vides. En dehors de cet intervalle, tout compactage devient inutile et risque même d'engendrer une microfissuration. Le compactage à température trop élevée peut engendrer des déformations par le passage des compacteurs à pneus, les enrobés peuvent être déplacés devant les jantes des compacteurs ou une remontée de liant peut se produire ainsi que des fissures transversales.



Figure 7.2 – Microfissuration d'un enrobé compacté à température trop basse

De trop nombreux passages sur un enrobé encore fort chaud peuvent mener à la formation d'un «mortier» qui rend la surface très lisse.

L'intervalle de température idéal de compactage dépend de nombreux éléments, notamment:

- le type et la composition des enrobés bitumineux;
- l'épaisseur de la couche;
- les conditions météorologiques: vent, humidité, température de l'air et du support;
- la composition de l'atelier de compactage.

Dans des conditions normales d'exécution, on peut considérer comme règle générale que le compactage peut commencer lorsque la température de la couche d'enrobé bitumineux se situe entre 160 °C (170 °C pour les EME et les enrobés fabriqués à base de bitume 20/30) et 140 °C, et doit être terminé à 100 °C.

7.2 Influence des conditions météorologiques

7.2.1 Mise en œuvre par temps froid

Il faut éviter de mettre de l'enrobé bitumineux en œuvre par temps trop froid. Surtout lors de la pose de couches minces (≤ 4 cm) il y a risque de désagréments liés au temps froid.

A côté de la température, le vent joue également un rôle très important; voir § 7.2.4.

7.2.1.1 Fabrication

On pourrait éventuellement tendre à chauffer plus fort l'enrobé lors de la fabrication mais il faut à tout prix éviter la surchauffe de celui-ci. A partir d'une certaine température, en effet, le liant est «brûlé» de manière à ne plus pouvoir jouer son rôle de liant. Mais bien avant cette température le liant est «vieilli» par l'exposition à une température supérieure aux températures autorisées. Le résultat est l'inverse de ce que l'on souhaitait obtenir. L'enrobé bitumineux est durci. Il sera dès lors plus difficile à mettre en œuvre une fois refroidi. De plus la durabilité du revêtement sera moindre suite au vieillissement prématuré.

7.2.1.2 Pose

Par temps froid:

- il faut absolument éviter toute pose manuelle, même partielle;
- on peut utiliser la chaleur de la couche précédemment posée pour placer la couche de roulement dans des conditions plus favorables. Bien entendu, il faut attendre que la couche inférieure ait suffisamment refroidi, faute de quoi, la couche de liaison se déformerait et ne fournirait pas une réponse suffisamment rigide pour permettre un compactage efficace de la couche de roulement;
- il est encore plus important que le timing de la fabrication, organisation du transport et vitesse de pose soient bien accordées;
- il faut éviter de poser deux bandes successivement avec un seul finisseur. L'enrobé bitumineux au droit du joint de reprise serait en effet trop refroidi. Il est nécessaire d'utiliser deux finisseurs travaillant en parallèle et qui se suivent de très près.

7.2.1.3 Compactage

Par temps froid:

- l'atelier de compactage devra éventuellement être renforcé (compacteurs en plus) et, de toute façon, être organisé de façon optimale;
- il faudra compacter plus près du finisseur afin de limiter le refroidissement de l'enrobé bitumineux entre la pose et le compactage;
- dans le même but les différents compacteurs devront aussi être plus rapprochés;
- la température lors du compactage doit être contrôlée d'une façon encore plus assidue que par des circonstances météorologiques plus favorables.

7.2.2 Mise en œuvre par temps chaud

7.2.2.1 Fabrication

La température de fabrication peut être adaptée et on peut travailler à la température minimale autorisée.

7.2.2.2 Pose

Si le délai d'exécution est restreint par une limite de temps au niveau de l'ouverture au trafic (avant l'heure de pointe du matin, par exemple), il est déconseillé de mettre l'enrobé bitumineux en œuvre lors d'une nuit d'été chaude afin d'éviter les problèmes de refroidissement. Durant cette nuit chaude, il est préférable de réaliser le revêtement bitumineux sur un autre chantier où la problématique du délai est moins contraignante.

Lorsque la pression pour rouvrir la voirie est grande, il est possible de refroidir l'enrobé avec de l'eau, surtout en cas de superficies plus petites. Maintenir l'enrobé humide est assez efficace car une partie de l'énergie calorifique est alors utilisée pour permettre l'évaporation de l'eau.

7.2.2.3 Compactage

La température de l'enrobé à compacter derrière le finisseur doit être suivie avec plus d'attention que dans le cas de conditions météorologiques plus classiques.

Les compacteurs devront rouler un peu plus loin du finisseur que d'habitude.

Une distance plus importante sera laissée entre les compacteurs.

7.2.3 Mise en œuvre après ou pendant des précipitations

Il est absolument indispensable d'étudier les prévisions pour la météo du jour avant de lancer la fabrication de l'enrobé et ce afin d'éviter toute production inutile qui ne pourra être posée suite aux intempéries. Les divers outils de communications modernes permettent une prévision assez fiable de cette météo du jour.

7.2.3.1 Après des précipitations

Si la pose a lieu sur une fondation de type empierrement, il y a lieu de révéifier la portance avant d'y poser les enrobés. Le support doit en effet offrir une réponse suffisamment rigide pour que la compacité exigée puisse être obtenue.

Préalablement à l'application de la couche de collage, les flaques d'eau doivent être éliminées (par exemple au moyen d'une brosse aspiratrice), car l'eau retarde, voire empêche la rupture de l'émulsion avec le risque de voir celle-ci s'écouler suivant la pente de la chaussée. Cette eau nuit également au collage d'une couche d'enrobé bitumineux sur une autre (même en présence d'une couche de collage conforme).

Dès que l'eau stagnante ou ruisselante a été éliminée, la pose de l'émulsion peut démarrer même sur support humide, sauf si la couche de collage prévue est un SAMI. Dans ce dernier cas, le support devra être parfaitement sec.

7.2.3.2 Pendant des précipitations

La pose d'enrobé bitumineux durant les précipitations est toujours déconseillée. La présence d'eau sur le support et/ou des précipitations durant la pose peut poser plusieurs problèmes:

- si la couche de collage n'est pas rompue ou pas suffisamment mûrie, l'émulsion risque d'être emportée par les eaux ruisselantes;
- la présence d'eau sur le support va limiter voire empêcher le collage de la couche posée sur le support. L'efficacité de la couche de collage sera limitée ou réduite à zéro;
- les précipitations vont conduire à un refroidissement de l'enrobé plus rapide qu'habituellement;
- de l'eau peut éventuellement être piégée entre la couche support et la couche de roulement. Cela risque d'entraîner le développement de cloques lorsque la température monte.

Si la couche d'accrochage est rompue et suffisamment mûrie, il est éventuellement possible (en fonction des circonstances et conditions) de commencer l'application d'enrobés si les précipitations restent d'intensité limitée et moyennant les précautions suivantes:

- si possible, réaliser la pose dans le sens descendant et commencer par la bande du point haut du profil en travers et ce afin d'éviter que l'eau de ruissellement s'accumule dans la table de finisseur;
- demander aux rouleaux de serrer au plus près le finisseur, car la pluie accélère le refroidissement de la couche à compacter;
- évacuer l'eau de la bêche des camions afin d'éviter que celle-ci ne se déverse dans le bac du finisseur;
- éliminer les flaques d'eau stagnante.

La plus grande prudence est à recommander pour les véhicules circulant sur la couche d'accrochage car l'humidité rend cette dernière extrêmement glissante.

Lors de la pose des couches minces et de roulement, l'intensité de la pluie doit être limitée car l'eau peut créer, par évaporation, des cloques sous la couche fraîchement posée.

En cas de fortes précipitations, l'application des enrobés sera toujours arrêtée avec, au besoin, la réalisation d'un joint transversal. L'eau stagnante sera évacuée par brossage avant le redémarrage de la pose.

7.2.4 Influence de la vitesse du vent sur la mise en œuvre

La qualité de la mise en œuvre et plus particulièrement celle du compactage, sont influencées par la vitesse du vent. Celle-ci, souvent négligée, peut conditionner la durée de la période disponible pour le compactage. En effet, plus cette vitesse augmente, plus le refroidissement de l'enrobé posé est rapide, et donc plus le temps disponible pour le compactage est court.

A titre d'exemple, le refroidissement d'une couche d'enrobé bitumineux de 5 cm d'épaisseur, posée à 10h du matin en été par ciel serein est présenté à la figure 7.3 pour différentes vitesses du vent:

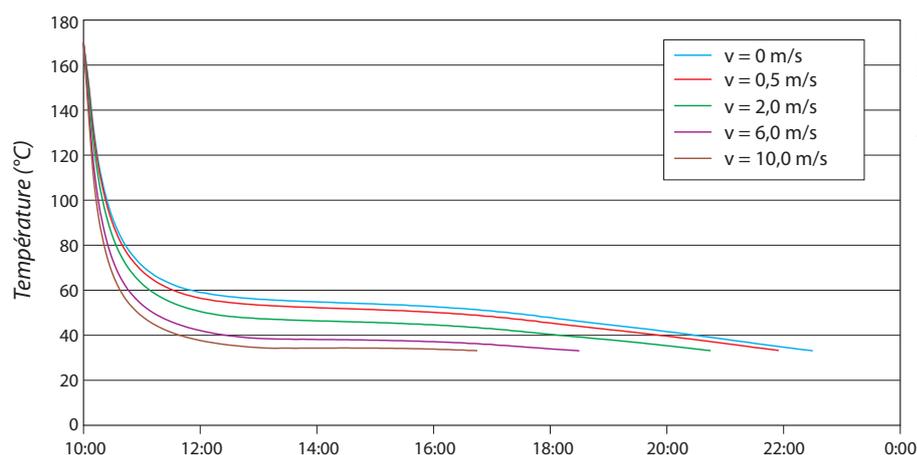


Figure 7.3 –
Influence de la vitesse du vent sur le refroidissement de la couche d'enrobé

On constate que l'heure de réouverture de la chaussée au trafic (temps nécessaire pour que la couche atteigne une température de 33 °C au centre de la couche) varie entre 17 h et 23 h en fonction de la vitesse du vent.

Pour montrer l'impact de la vitesse du vent sur le temps disponible pour le compactage, le refroidissement a été étudié jusqu'à une température au sein de la couche de 100 °C (température considérée comme limite inférieure pour le compactage) et pour une température de l'air (T_{air}) comprise entre 0 et 10 °C.

Ont été considérées également plusieurs températures de l'enrobé au moment de la pose (140, 150 et 160 °C), plusieurs vitesses de vent (1, 7 et 15 m/s), plusieurs épaisseurs (de 1 à 8 cm) et une température du support comprise entre « $T_{\text{air}} - 5^{\circ}\text{C}$ » et « T_{air} ». Le Compte rendu de recherche CR 42/06 du CRR [16] montre que l'influence des différentes formes de rayonnement n'est pas à prendre en compte lorsque l'étude du refroidissement est limitée aux températures élevées ($\geq 100^{\circ}\text{C}$).

Les durées de compactage pour une couche d'épaisseur de 8, 5 et 2 cm sont données aux tableaux 7.1 à 7.3.

Pour une couche d'une épaisseur de 8 cm

T_{air} (°C)	T_{support} (°C)	Vitesse du vent (m/s)	Temps de compactage maximal (min)		
			$T_{\text{pose}} = 160^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{pose}} = 150^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{pose}} = 140^{\circ}\text{C}$
0	0	1	33	28	23
		7	23	20	16
		15	19	16	14
5	0	1	33	28	23
		7	23	20	17
		15	19	17	14
5	5	1	34	29	24
		7	24	21	17
		15	20	17	14
10	5	1	35	29	24
		7	25	21	18
		15	20	18	15
10	10	1	36	30	25
		7	25	22	18
		15	21	18	15

Tableau 7.1 – Durée de compactage pour une couche de 8 cm d'épaisseur

Pour une couche d'une épaisseur de 5 cm

T_{air} (°C)	T_{support} (°C)	Vitesse du vent (m/s)	Temps de compactage maximal (min)		
			$T_{\text{pose}} = 160\text{ °C}$	$T_{\text{pose}} = 150\text{ °C}$	$T_{\text{pose}} = 140\text{ °C}$
0	0	1	16	13	11
		7	11	9	8
		15	9	7	6
5	0	1	16	14	11
		7	11	10	8
		15	9	8	6
5	5	1	17	14	11
		7	11	10	8
		15	9	8	6
10	5	1	17	14	12
		7	12	10	8
		15	9	8	7
10	10	1	17	15	12
		7	12	10	8
		15	10	8	7

Tableau 7.2 – Durée de compactage pour une couche de 5 cm d'épaisseur

Pour une couche d'une épaisseur de 2 cm

T_{air} (°C)	T_{support} (°C)	Vitesse du vent (m/s)	Temps de compactage maximal (min)		
			$T_{\text{pose}} = 160\text{ °C}$	$T_{\text{pose}} = 150\text{ °C}$	$T_{\text{pose}} = 140\text{ °C}$
0	0	1	4	3	3
		7	3	2	2
		15	2	2	1
5	0	1	4	3	3
		7	3	2	2
		15	2	2	1
5	5	1	4	3	3
		7	3	2	2
		15	2	2	1
10	5	1	4	3	3
		7	3	2	2
		15	2	2	1
10	10	1	4	4	3
		7	3	2	2
		15	10	2	1

Tableau 7.3 – Durée de compactage pour une couche de 2 cm d'épaisseur

Comme annoncé, la vitesse du vent influence fortement la durée du compactage. Pour une épaisseur de 2 cm, dans des conditions extrêmes de température et de vent, le machiniste ne dispose pas du temps nécessaire pour compacter la couche. Dans le cas des couches d'épaisseur élevée, leur inertie thermique est telle que la durée de compactage reste confortable même dans les pires conditions.

Enfin, sur base des résultats obtenus, nous recommandons de respecter les exigences du tableau 7.4 lorsque la vitesse du vent est élevée (à partir de 7 m/s):

Epaisseur (cm)	Durée de compactage (min)
8	< 14
7	< 11
6	< 8
5	< 6
4	< 4 (pose à éviter dans ces conditions)
3	< 3 (pose à éviter dans ces conditions)
2	< 1 (pose à éviter dans ces conditions)

Tableau 7.4 – Durées de compactage maximales

Il est également fortement recommandé de ne pas descendre en dessous d'une température de l'enrobé de 140 °C lors de la pose dans ces conditions.

7.3 Facteurs qui influencent la planéité

La planéité et l'absence d'irrégularités ont une grande importance pour le confort et la sécurité des usagers. Il convient donc de leur accorder l'attention qu'elles méritent. Elles sont respectivement mesurées avec des appareils automatiques et la règle de 3 m. Les facteurs associés à la planéité sont résumés ci-après.

7.3.1 Alimentation du finisseur en enrobé bitumineux

L'alimentation du finisseur en enrobés doit être réglée de manière à ce que ce dernier ne doive pas s'arrêter pour attendre l'enrobé, et qu'il puisse de plus progresser à une vitesse constante. Chaque arrêt de la machine et chaque changement de vitesse a, en effet, un impact sur la planéité de la surface.

Les camions ne peuvent pas heurter le finisseur car cela aurait pour effet de modifier l'inclinaison du finisseur et, dès lors, la hauteur de la table de finition et l'épaisseur de l'enrobé et sa planéité. Ils freineront légèrement lorsque le finisseur les pousse.

7.3.2 Support

La couche sous-jacente doit être aussi plane que possible. Les irrégularités peuvent avoir un effet néfaste sur le résultat final.

Dans ce cadre, il est également important que les camions ayant déchargé leur enrobé dans le finisseur, nettoient leur benne dans un emplacement prévu en dehors du tracé des enrobés encore à poser. Certainement lorsque la couche suivante est une couche de roulement ou une couche peu épaisse, les restes d'enrobé tombés hors de la benne provoqueront des irrégularités dans cette couche.

7.3.3 Réglages de hauteur

Travailler en guidant la hauteur de la table sur une référence externe peut permettre de compenser petit à petit (en plusieurs couches) un support non plan.

Etant donné que l'exigence en matière de planéité de la fondation est moins sévère que pour l'enrobé, deux couches au moins sont nécessaires afin de pouvoir satisfaire à l'exigence de planéité en vigueur pour un revêtement bitumineux et ce même lorsqu'on utilise une référence externe pour régler la hauteur de table de précompactage et de finition.

7.3.4 Autres réglages

D'autres réglages sont également primordiaux pour un bon uni:

- réglage du palpeur ou pendule;
- réglage des palpeurs des vis de répartition;
- réglage des hauteurs des vis de répartition;
- réglage des dameurs: éviter les phénomènes de résonnance;
- se tenir à la vitesse préconisée et la tenir constante le plus possible;
- les déflecteurs doivent être positionnés devant les chenilles du finisseur. Attention, ces déflecteurs ne sont pas une panacée universelle. Des restes d'enrobés sur lesquels un camion est passé – et qui sont donc quelque peu compactés - ne seront pas enlevés par les déflecteurs.

7.3.5 Mise en œuvre

La température de l'enrobé déversé dans la trémie doit être aussi constante que possible. La table de finisseur doit également être chauffée à la température requise.

Si la hauteur de l'enrobé devant la table lisseuse est constante et que le finisseur progresse à une vitesse constante sans s'arrêter, le précompactage sera alors régulier. Si l'on utilise de plus une bonne référence externe pour régler la hauteur de la table de précompactage et de finition, toutes les conditions sont alors réunies pour obtenir une surface plane avant le compactage à proprement parler. Le régleur évitera de constamment actionner les boutons de réglage.

Il faut veiller à ce qu'il n'y ait pas de gravillons ou d'amas d'enrobés sur le trajet des chenilles du finisseur.

7.3.6 Compactage

Il faut tenter de mettre en œuvre l'enrobé sur une épaisseur aussi constante que possible. C'est la seule manière d'obtenir, avec un compactage régulier, une surface plane.

7.3.7 Autres paramètres

D'autres éléments peuvent encore avoir une influence négative sur la planéité de la couche posée:

- il faut veiller à ce que l'enrobé ne colle pas aux pneus ou aux cylindres des compacteurs;
- il est interdit de laisser stationner des machines sur de l'enrobé encore chaud;
- il ne faut jamais faire le plein ou remplacer l'huile sur un enrobé nouvellement posé.

7.4 Problèmes relatifs à l'homogénéité

Un certain nombre de problèmes peut survenir à propos de l'homogénéité de la couche d'enrobé sur la largeur de travail.

7.4.1 Alimentation insuffisante

Il faut veiller à ce que l'alimentation d'enrobés vers la table de pose reste homogène et continue. Une erreur facile à commettre consiste à trop laisser se vider les convoyeurs avant de fermer la trémie réceptrice pour éliminer les restes d'enrobés. Certainement dans le cas de mélanges à squelette pierreux, ces restes contiennent plus de gros granulats et on achemine donc un mélange trop pierreux vers la table de pose. On crée ainsi une zone hétérogène au milieu de la table qui peut par après engendrer une fissuration longitudinale dans le revêtement. La solution à ce problème consiste à fermer la trémie plus tôt pour que les pierres soient dispersées dans le mélange de manière plus homogène.

7.4.2 Extensions de la table mal alignées

Si on travaille avec des extensions qui ne font pas suffisamment corps avec la table principale, il peut arriver que les enrobés ne soient pas épandus à la même hauteur sur la largeur totale de pose. Il peut en résulter:

- une différence de niveau du revêtement fini, qui se marque par une ligne longitudinale;
- une différence de texture superficielle pouvant même entraîner des problèmes de rugosité;
- une différence de précompactage, notamment aux recouvrements de la partie centrale et des extensions;
- le développement ultérieur de fissures de cisaillement suite au compactage non-uniforme qui sera réalisé pour essayer de supprimer les différences de niveau dans le revêtement.

Un réglage soigneux des extensions vis-à-vis de la table principale permet d'éviter ces problèmes.

7.4.3 Chambre de répartition et vis sans fin

Avec les machines à table agrandie (extensions fixes) ou extensible (extensions hydrauliques), des problèmes d'homogénéité d'épandage peuvent survenir si les vis sans fin ne sont pas placées suivant les recommandations du fabricant.

Que la table flottante soit de largeur constante, qu'elle ait des extensions fixes ou qu'elle soit allongée hydrauliquement, les prescriptions du fabricant concernant le montage de la vis et de la chambre de répartition doivent être respectées. En règle générale, la prescription suivante est d'application: la fin de la vis se trouve entre 0,30 et 0,50 m de la cloison latérale et on agrandit le couloir si l'allongement est de plus de 0,60 m. Dans les autres cas, cet agrandissement n'a pas de sens. Dans le cas de travail en largeur variable, l'addition d'une vis ou l'agrandissement de la chambre n'est pas possible.

7.5 Facteurs qui influencent la ségrégation

Un enrobé bitumineux doit être homogène pour être de bonne qualité. La ségrégation signifie que la composition du mélange est différente d'un endroit à l'autre du même revêtement. La ségrégation de l'enrobé et l'écoulement du liant sont des phénomènes qui se produisent facilement avec des mélanges à squelette pierreux discontinu tels que le SMA, l'enrobé drainant et le BBTM.

Le phénomène peut se produire pendant la production, le stockage, le transport, la mise en œuvre et le compactage. Les différentes options pour éviter cette ségrégation sont détaillées ci-dessous.

7.5.1 Production

Lors de la production de l'enrobé à la centrale d'enrobage:

- aucune ségrégation ni aucun mélange ne peuvent avoir lieu lors du stockage des matières premières;
- le malaxeur doit être efficace;
- la température et le temps de malaxage doivent être choisis avec soin;
- la hauteur de chute dans les silos d'approvisionnement et/ou dans le bac de chargement des poids lourds ne peut pas être trop importante. Ceci peut être atteint en adaptant la conception intérieure des silos avec des chicanes de déflexion.

7.5.2 Transport

Il faut faire en sorte que le mélange bitumineux ne se désagrège pas pendant le transport. Pour ce faire, il faut veiller à:

- emprunter des routes en bon état;
- respecter les températures de production prescrites (celles-ci dépendent du type de liant et des conditions météorologiques);
- utiliser les inhibiteurs d'écoulement de manière adéquate, c.-à-d. dans les bonnes proportions et au bon moment (pendant le malaxage à sec);
- ne pas surcharger les camions, car cela empêche le fonctionnement de la suspension du véhicule. Le mélange va se désagréger suite aux chocs et subir un certain précompactage;
- éviter les distances trop longues entre la centrale et le chantier, a fortiori si les routes entre les deux sont mauvaises, que la température de l'enrobé est élevée et qu'il fait chaud.

7.5.3 Mise en œuvre

Les ailes latérales de la trémie du finisseur doivent être régulièrement relevées, et toujours s'il reste suffisamment d'enrobé sur le convoyeur. Pour certains mélanges comme le SMA, il est même souhaitable d'équiper les parois de la trémie de plaques coulissantes afin que l'enrobé soit toujours emporté par les convoyeurs à barrettes.

Le déflecteur doit être propre et fonctionner correctement.

Les vis de répartition doivent bien répartir l'enrobé jusqu'aux points les plus éloignés. Pour cela, les vis de répartition et les tôles limitatrices de couloir doivent être prolongées jusqu'à environ 20 cm des portes latérales.

La plaque vibrante et le(s) dameur(s) doivent être bien réglés.

Les extensions doivent avoir la même efficacité que la table principale.

Il faut éviter (autant que faire se peut) la mise en œuvre manuelle.

7.5.4 Compactage

Les températures de compactage doivent être respectées.

Il faut veiller à ce que l'enrobé ne glisse pas latéralement.

7.6 Facteurs qui influencent la rugosité

La température lors du compactage joue un rôle important sur la rugosité obtenue du revêtement. Lorsque la température est élevée, la teneur en mastic (fines + liant) en surface du revêtement sera plus importante. L'enrobé sera dès lors moins rugueux.

Trop de vibrations et des vibrations de trop haute fréquence conduiront à une teneur élevée en mastic en surface. Les vibrations tirent du mastic vers la surface un peu comme trop de lissage ou de talochage d'un béton tire la laitance de ciment vers la surface. L'enrobé sera dès lors moins rugueux.

La table de précompactage et de finition (et notamment la table de vibration) doit être réglée correctement: vibrations, température, etc.

Il est possible d'obtenir une rugosité légèrement meilleure en posant la couche de roulement dans le sens contraire du trafic.



Annexe 1

Check-list pour le chantier

Les pages qui suivent peuvent être utilisées comme check-list lors de la préparation et de l'exécution du chantier. Les tableaux reprennent les principaux points qui doivent être contrôlés pour garantir une bonne exécution du chantier.

Ces pages peuvent être copiées pour être utilisées sur chantier.



Chantier

Cahier des charges

Enrobé posé par

Producteur / Centrale

Produits à poser

Poste	Métré	Type d'enrobé	Epaisseur (cm)	Surface (m ²)	Quantités (t)	Numéro de la formule	Période de mise en œuvre	BK	Jour / nuit

Produits à démolir

Origine et type (couche de roulement, de liaison, mixte, etc.)	Forme (fraisats / plaques)	Quantités (t)	Action à réaliser (stockage sur chantier, évacuation, etc.)	Si évacuation: destination?

1

✓, moyennant remarques lors de l'exécution

Contrôle avant la pose du revêtement bitumineux	✓✓	✓	✗	n/a
Conditions météorologiques				
Température				
Vitesse du vent				
Précipitations				
Signalisation				
Sécurisation du chantier (New Jersey, etc.)				
Panneaux en bon état et lisibles				
Signalisation lumineuse en bon état				
Déviations bien indiquées				
Matériel disponible et en ordre				
Finisseur				
Compacteurs				
Autre:				
Plan de pose disponible?				
Contrôle de la couche précédente				
Fondation				
Portance				
Profil transversal (évacuation des eaux min. 2 %)				
Profil longitudinal				
Niveau				
Uni				
Absence d'eau				
Fraisage				
Niveau				
Uni				
Absence d'eau				
Absence de plaques détachées				
Absence d'impuretés				

Contrôle avant la pose du revêtement bitumineux	✓✓	✓	✗	n/a
Couches sous-jacentes				
Niveau				
Uni				
Absence d'eau				
Absence d'impuretés / fissures				
Profil transversal (évacuation des eaux min. 2 %)				
Armature?				
Couche de collage				
Egale				
Pas endommagée				
Emulsion rompue et mûrée				
Joints				
<i>Joints transversaux</i>				
Décalage d'1 m par rapport à la couche sous-jacente				
Perpendiculaires à l'axe de la route				
<i>Joints longitudinaux</i>				
Décalage de 0,15 m par rapport à la couche sous-jacente				
Parallèles à l'axe de la route				
Préparation: rectification				
Traitement				
Nettoyage + Pose émulsion				
Nettoyage + Mise en place bande de joint				
Bords				
Traitement				
Autres points d'attention				

2

✓, moyennant remarques lors de l'exécution

Contrôle pendant la pose du revêtement bitumineux	✓✓	✓	✗	n/a
Finisseur				
Réglage en hauteur				
Approvisionnement				
Largeur utile				
Travail à la main				
Compactage				
Nombre de rouleaux				
Camions				
Isolés				
Equipés d'une toile / d'un panneau				
Mélange bitumineux				
Aspect homogène				
Température de l'enrobé				
Contrôles intermédiaires				
Uni				
Epaisseur				
Compactage				
Profil				

3

✓, moyennant remarques lors de l'exécution

Contrôle après la pose du revêtement bitumineux	✓✓	✓	✗	n/a
Post-traitement des joints				
Refroidissement de l'enrobé avant mise en service				

4

✓, moyennant remarques lors de l'exécution

Essais a posteriori	✓✓	✓	✗	n/a
Epaisseur				
Epaisseur totale				
Epaisseur couche de roulement				
Régularité des couches				
Vides				
Rugosité				
Uni transversal et longitudinal				

5

Remarques et signature
Du maître de l'ouvrage
De l'entrepreneur

Annexe 2

Dégradations dans l'enrobé et causes éventuelles

Dans cette annexe, nous présentons sous forme de tableaux un relevé des causes éventuelles de plusieurs problèmes pouvant souvent survenir lors de la pose des enrobés.

Une distinction y est faite entre les problèmes qui peuvent surgir au cours des trois phases de la pose des enrobés:

- «production»: la production comprend aussi bien le choix du mélange (était-il adapté à l'application visée?) que sa composition (a-t-il été bien formulé?) et sa fabrication (température correcte, problème à la centrale?);
- «épandage»: il s'agit ici de problèmes pouvant se produire lors de l'épandage à l'aide du finisseur: la machine choisie convient-elle à l'ouvrage? Est-elle en bon état? A-t-elle été correctement réglée?;
- «compactage»: de même, certaines causes peuvent aussi être recherchées au niveau du compactage. Le nombre de compacteurs, les types choisis, leur niveau d'entretien ainsi que leur réglage peuvent jouer un rôle.
- sous la dénomination «Divers», nous faisons figurer d'autres causes éventuelles ne pouvant pas être classées dans les trois précédentes.

Toutes les causes possibles d'un problème sont énumérées dans les tableaux. Bien entendu, celles-ci ne sont pas toutes d'application pour un revêtement donné. Le lecteur pourra toutefois établir la cause la plus probable de son problème en éliminant de manière successive les causes mentionnées dans le tableau. Celles désignées par un symbole «⊕» sont celles qui sont le plus rencontrées dans la pratique, et doivent donc être envisagées en premier lieu.

Problème: aspect irrégulier de la surface de l'enrobé

Production

Choix et formulation du mélange:	
- type de mélange inadapté à l'application	
- granularité mal choisie (pas assez fine, ou trop de gros granulats)	
Liant:	
- liant trop ou trop peu dosé	
- qualité du liant	
Filler: trop humide	
Granulats bitumineux: propriétés des granulats bitumineux variant fortement	
Fibres: répartition non homogène des fibres dans le mélange	
Problème à la centrale d'enrobage:	✱
- le prédosage n'a pas bien fonctionné	
- malaxeur trop rempli	
- le malaxeur n'a pas fonctionné comme il se doit (pales usées)	
- composition du mélange non constante	
Température de production:	
- trop élevée	
- brûlage du liant de l'enrobé	
Ségrégation du mélange:	
- lors du chargement	
- au cours du transport	
«Soupe» ¹ dans le mélange	✱
Dameurs mal réglés	
Vibrations non conformes	
Extrémité de la vis de répartition détachée	
Tôle lisseuse usée ou défectueuse	
Température de la tôle lisseuse trop basse	
Dameurs usés	
Temps d'attente trop long avant de vider le finisseur	
Compacteur trop lourd ou inadapté à l'ouvrage	
Le compacteur a changé trop brusquement de direction ou a tourné trop brusquement	
Le compacteur a progressé de biais sur une couche pas entièrement refroidie	
Trop ou trop peu de passes de compactage	
Passes trop longues ou trop courtes	
Pas suffisamment d'eau sur les rouleaux	
Pneus des compacteurs à pneus trop froids ou endommagés	
Compacteurs vibrants émettant de trop fortes vibrations	
Taches d'huile, pétrole, essence, etc. sur le revêtement	
Épaisseur de couche insuffisante par rapport au calibre maximal des granulats	✱

Epandage

Compactage

Divers

¹ «Soupe»: inclusion d'eau ou principalement de vapeur d'eau dans le mélange bitumineux, ce qui donne au mélange un aspect gras (et le fait ressembler à de l'asphalte coulé) et fait remonter le mortier lors de la pose.

Problème: aspect brillant de la couche après le compactage

Choix et formulation du mélange: - pas assez de sable naturel dans le mélange - granulométrie mal choisie (trop de granulats fins)		Production
Liant: - liant trop dosé - qualité du liant	★	
Filler: - pas assez de filler - filler trop humide		
Granulats: - granulats pas totalement secs		
Problème à la centrale d'enrobage: - malaxeur trop rempli - composition du mélange non constante		
Température de production: - température trop élevée dans le tambour sécheur - température du liant et/ou des granulats trop élevée	★	
Ségrégation du mélange: - lors du chargement - au cours du transport		
«Soupe» dans le mélange		
Mélange trop chaud lors de la pose	★	
Vibrations trop fortes	★	
Compacteur trop rapidement sur l'enrobé nouvellement posé		Epandage
Compacteur trop lourd ou inadapté à l'ouvrage		Compactage
Vibrations trop fortes		
Taches d'huile, pétrole, essence, etc. sur le revêtement		
Trop de couche de collage		Divers

Problème: aspect trop maigre de la couche après le compactage

Production

Choix et formulation du mélange: ★
- trop de sable naturel fin - trop peu de liant
Filler:
- trop de filler - arrêt trop lent de l'alimentation de filler vers le malaxeur - filler avec un pourcentage de vides trop élevé
Granulats:
- qualité non homogène des granulats bitumineux utilisés
Problème à la centrale d'enrobage: ★
- pas assez de liant
Température de production: ★
- température dans le tambour sécheur beaucoup trop élevée (supérieure à 240 °C)
Le mécanisme vibrant n'a pas fonctionné correctement
Tôle lisseuse usée ou défectueuse
Température de la tôle lisseuse pas assez élevée
Compacteur utilisé trop léger
Présence d'eau sur la couche sous-jacente lors de la pose

Epandage

Compactage

Divers

Problème: mauvais aspect des joints

Choix et formulation du mélange: - trop de granulats fins - mauvaise granulométrie du mélange	Production
Liant: - trop peu de liant	
Granulats: - granulométrie trop variée	
Problème à la centrale d'enrobage: - tamis à sable défectueux - pesage non précis des pierres et du sable - bras de malaxage usés ou cassés - malaxeur trop rempli - composition du mélange non constante lors de la production	
Température de production: ✪ - température du liant trop basse - température des granulats trop basse (température dans le tambour sécheur trop basse) - température des granulats trop élevée (le mélange a été brûlé lors de la production)	
Ségrégation du mélange: - ségrégation à la centrale - ségrégation au cours du transport	Epandage
Extrémité de la vis de répartition détachée ✪	
Vis de répartition trop courte	
Finisseur resté trop longtemps immobile	
Bords de l'enrobé pas étayés	Compactage
Le compacteur arrive trop rapidement sur la bande nouvellement posée	
Compacteur inadapté ou trop lourd pour l'ouvrage	
Joints pas compactés assez rapidement ✪	
Vibrations trop fortes avec le compacteur vibrant	Divers
Quantité trop importante d'eau utilisée lors du compactage	
Aucune couche de collage appliquée sur le bord de la couche adjacente ✪	
Joint de fin de journée pas droit	

Problème: microfissures pendant et après le compactage

Production

Choix et formulation du mélange:	
- granulométrie du mélange pas correcte	
- mélange trop rigide	
Liant:	
- trop peu de liant	
Filler:	
- trop de filler	
- filler avec un pourcentage de vides trop élevé	
Problème à la centrale d'enrobage:	
- utilisation de matériaux contaminés	
Température de production:	★
- température du liant trop élevée	
- température des granulats trop élevée (température dans le tambour sécheur trop élevée)	
- mélange bitumineux brûlé	
Le compacteur arrive trop rapidement sur la bande nouvellement posée (température du mélange encore trop élevée)	★
Vitesse de compactage trop élevée	
Compacteur inadapté ou trop lourd pour l'ouvrage	
Quantité trop importante d'eau utilisée lors du compactage	★

Compactage

Problème: fissuration superficielle

Choix et formulation du mélange: ☆ - mélange trop rigide	Production	
Liant: - trop peu de liant		
Problème à la centrale d'enrobage: - utilisation de matériaux contaminés		
Température de production: ☆ - température du liant trop basse - température des granulats trop basse - mélange brûlé	Epandage	
Poutre mal réglée et ne compactant pas suffisamment		
Mécanisme vibrant ne fonctionnant pas correctement		
Extrémité de la vis de répartition détachée et vis trop courte		
Finisseur roulant trop vite ☆		
Tôle lisseuse usée ou défectueuse		
Dameurs de la poutre usés		
Bords pas étayés		
Le compacteur arrive trop rapidement sur la bande nouvellement posée		Compactage
Temps d'attente trop long avant le compactage, partie supérieure de l'enrobé trop froide ☆		
Vitesse de compactage trop élevée		
Compacteur changeant trop brusquement de direction		
Compacteur tournant trop brusquement		
Trop de latitude dans la transmission du rouleau		
Compacteur utilisé trop lourd		
Quantité trop importante d'eau utilisée lors du compactage	Divers	
Enrobé trop froid pour pouvoir être posé ☆		
Aucune couche de collage utilisée ☆		
Support pas nettoyé correctement avant la pose de la couche de collage		
Mauvaise portance des couches sous-jacentes		
Postcompactage des couches sous-jacentes		
Enrobé posé sur une émulsion pas encore rompue ☆		

Problème: ondulations dans l'enrobé après la mise en œuvre

Production

Choix et formulation du mélange:

- mélange pas assez rigide
- «soupe» dans le mélange

Liant:

- trop de liant dans le mélange
- liant trop mou

Filler:

- filler trop humide
- filler avec un pourcentage de vides insuffisant

Problème à la centrale d'enrobage:

- composition du mélange non constante

Epandage

Épaisseur de couche erronément réglée et trop souvent modifiée ☆

Extrémité de la vis de répartition détachée et vis trop courte

Répartition inégale de l'enrobé devant la poutre lisseuse ☆

Finisseur se déplaçant trop vite et vitesse non constante

Temps d'attente trop long avant de vider le finisseur

Finisseur resté trop longtemps immobile

Réglage en hauteur n'ayant pas fonctionné correctement ☆

Les camions ont percuté trop brutalement le finisseur

Matériau tombé devant le finisseur

Compactage

Compacteur trop rapidement sur la bande nouvellement posée

Vitesse de compactage trop élevée

Compacteur changeant trop brusquement de direction

Compacteur tournant trop brusquement

Trop de latitude dans la transmission du rouleau

Compacteur utilisé inadéquat ou trop lourd

Passes de compactage trop courtes

Divers

Mélange trop chaud pour être mis en œuvre

Excès de couche de collage ☆

Surface de la couche sous-jacente pas suffisamment plane ☆

Présence d'eau sur la couche sous-jacente

Postcompactage des couches sous-jacentes

Problème: traces laissées par le cylindre

Choix et formulation du mélange: - rigidité du mélange insuffisante - «soupe» dans le mélange		Production
Filler: - trop de filler dans le mélange - filler trop humide - filler avec un pourcentage de vides insuffisant		
Problème à la centrale d'enrobage: - granulats pas totalement secs - tamis à sable défectueux - trop de produit anti-adhérent dans le bac élévateur		
Mélange trop chaud pour être mis en œuvre		Epandage
Bords de l'enrobé pas étayés	★	
Compacteur arrivant trop rapidement sur la bande nouvellement posée (température de l'enrobé encore trop élevée)	★	Compactage
Vitesse de compactage trop élevée		
Compacteur changeant trop brusquement de direction		
Compacteur tournant trop brusquement		
Compacteur roulant de biais sur une couche pas encore refroidie		
Trop peu d'eau sur les rouleaux		
Compacteur utilisé inadéquat ou trop lourd	★	
Pas assez de passes, ou bien passes trop courtes ou trop longues		
Pneus du compacteur à pneus trop froids ou endommagés		
Compacteur vibrant trop puissant		
Trop d'eau utilisée lors du compactage		
Mauvaise portance des couches sous-jacentes	★	Divers
Postcompactage des couches sous-jacentes		

Problème: la couche à compacter glisse devant le rouleau lors du compactage

Production

Choix et formulation du mélange:

- mélange pas assez rigide

Liant:

- trop de liant dans le mélange
- liant trop mou



Filler:

- filler trop humide
- filler avec un pourcentage de vides insuffisant

Problème à la centrale d'enrobage:

- granulats pas entièrement secs
- «soupe» dans le mélange

Epandage

Enrobé trop chaud pour être mis en œuvre

Compactage

Compacteur arrivant trop rapidement sur la bande nouvellement posée

Compacteur changeant trop brusquement de direction



Compacteur tournant trop brusquement

Compacteur utilisé inadéquat ou trop lourd



Divers

Application d'une quantité trop importante de couche de collage



Nettoyage insuffisant du support avant la pose de la couche de collage

Présence d'eau sur la couche sous-jacente

Enrobé posé sur une émulsion pas encore rompue

Problème: trop de vides dans le mélange

Mélange - granulométrie du mélange inadéquate		Production
Liant: - trop peu de liant dans le mélange - qualité du liant	★	
Filler: - trop de filler - filler avec un pourcentage de vides trop élevé	★	
Problème à la centrale d'enrobage: - mauvais pesage du mélange (pierres, sable, filler, etc.) - mauvaise séparation ou absence de séparation des amas de granulats dans le stock de la centrale		
Température de production: - température du liant et/ou des granulats trop basse - température trop basse dans le tambour sécheur	★	Epannage
Enrobé trop froid pour être mis en œuvre	★	
Poutre mal réglée	★	
Le mécanisme vibrant n'a pas fonctionné correctement		
Finisseur trop rapide	★	
Tôle lisseuse usée, défectueuse, ou de température trop basse		
Dameurs usés		
Finisseur resté trop longtemps immobile		Compactage
Temps d'attente trop long avant de vider le finisseur		
Utilisation d'un compacteur inadéquat ou trop léger	★	
Pas assez de passes de compactage, ou compactage insuffisant sur le chantier		
Passes de compactage trop longues		Divers
Joint pas suffisamment compactés		
Trop d'eau utilisée lors du compactage		
Présence d'eau sur la couche sous-jacente	★	
Épaisseur de la couche insuffisante par rapport au calibre maximal des granulats	★	
Portance des couches sous-jacentes insuffisante	★	



Annexe 3

Importance de la viscosité du bitume

Historique

La viscosité du bitume joue un rôle très important lors de la préparation et de la pose de l'enrobé. Ce paramètre varie fortement selon la température. A des températures très basses (-10 à -25 °C), le bitume se comporte comme du verre: il est tout aussi dur et tout aussi cassant. Lorsqu'il est chauffé, il atteint tout d'abord une phase plastique lorsque le point de ramollissement (température anneau et bille, entre 40 et 70 °C selon le type de bitume) est atteint. A partir de 160 à 180 °C, la viscosité du bitume est très basse, à peu près aussi basse que celle de l'eau.

Ce comportement permet d'utiliser le bitume comme liant dans les enrobés.

Heukelom [17] a, dans les années soixante du siècle passé, développé un nomogramme pour visualiser l'évolution de la viscosité du bitume en fonction de la température. Ce graphique présente également l'évolution de la pénétration en fonction de la température, la température anneau et bille et le point Fraass (figure A3.1). Ce nomogramme caractérise la sensibilité du bitume aux variations de température. Il ne s'applique qu'au bitume routier ordinaire. Les bitumes modifiés se comportent différemment.

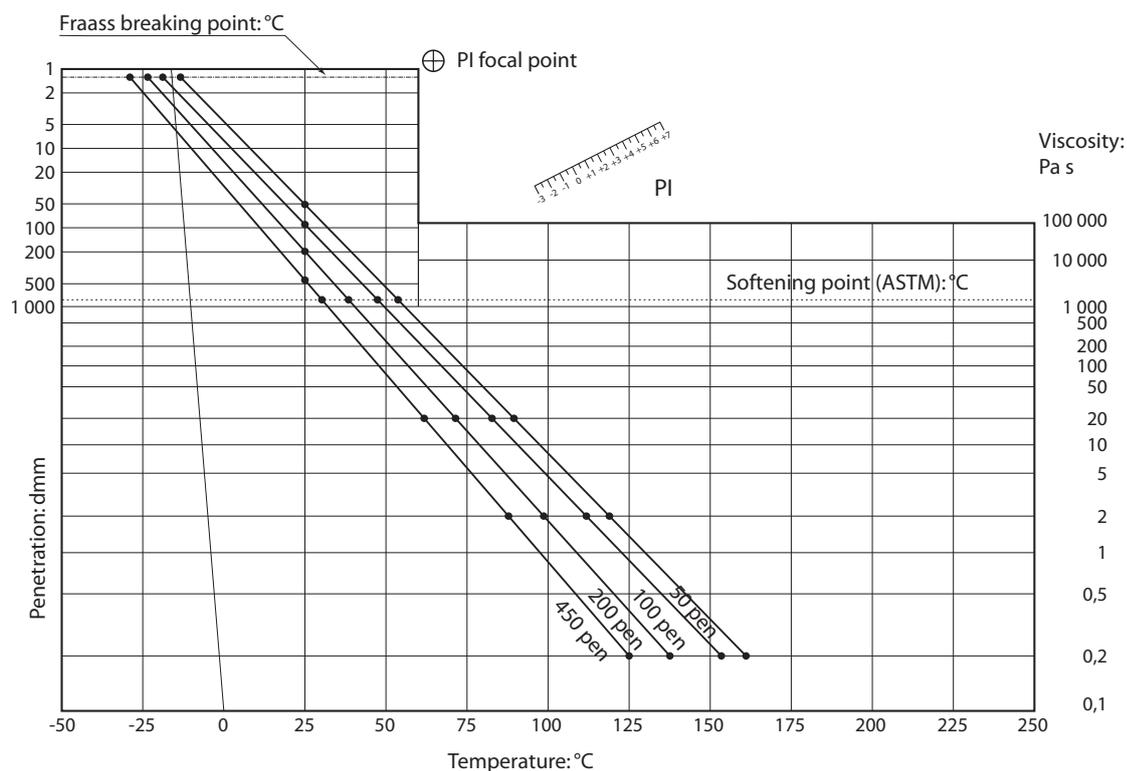


Figure A3.1 – Abaque des résultats d'essai sur bitume

Chaque type de bitume a sa propre courbe. Celle des bitumes moins sensibles à la température est moins raide que celle des bitumes dont la consistance change plus rapidement selon la température.

La viscosité en tant que propriété a quelque peu disparu des préoccupations lorsque, dans l'optique de simplifier les prescriptions, il n'a plus été fait référence qu'à la température de production et de pose

dans la réglementation. Avec cette simplification, on néglige néanmoins le fait que les différents types de bitume ne présentent pas la même viscosité à une même température. Il est donc possible qu'un enrobé ait été confectionné à des températures réglementairement conformes mais que le bitume concerné ne présente pas une bonne viscosité à ces températures. Il est donc nécessaire de ne pas perdre de vue les nomogrammes d'Heukelom lorsqu'on est confronté à des problèmes en apparence inexplicables.

Valeurs optimales de viscosité

Il existe des valeurs de viscosité optimales du bitume tant pour la production que pour la pose des enrobés:

- pour la production: si la viscosité du bitume est trop élevée (température trop basse) lors de la production de l'enrobé, les granulats ne seront pas bien enrobés. Si, au contraire, la viscosité est trop basse (température plus élevée), les pierres seront alors facilement enrobées, mais il existe un risque que le bitume s'écoule lors du stockage ou du transport. Une valeur de viscosité d'environ 0,2 Pa.s est idéale pour un bon enrobage.
- pour le compactage: si la viscosité est trop basse, le mélange sera trop «liquide», ce qui pourra mener à la formation d'ondulations lors du compactage. Une viscosité élevée rendra le compactage plus difficile, et aura pour conséquence que le degré de compactage souhaité ne pourra que très difficilement être atteint, voire jamais. Idéalement, la viscosité se situe entre 2 et 20 Pa.s lors du compactage d'un béton bitumineux.

Les valeurs optimales de viscosité permettent de sélectionner l'intervalle de température adapté au bitume pour la préparation et la mise en œuvre de l'enrobé.

La figure A3.2 illustre ceci pour un bitume de pénétrabilité 200.

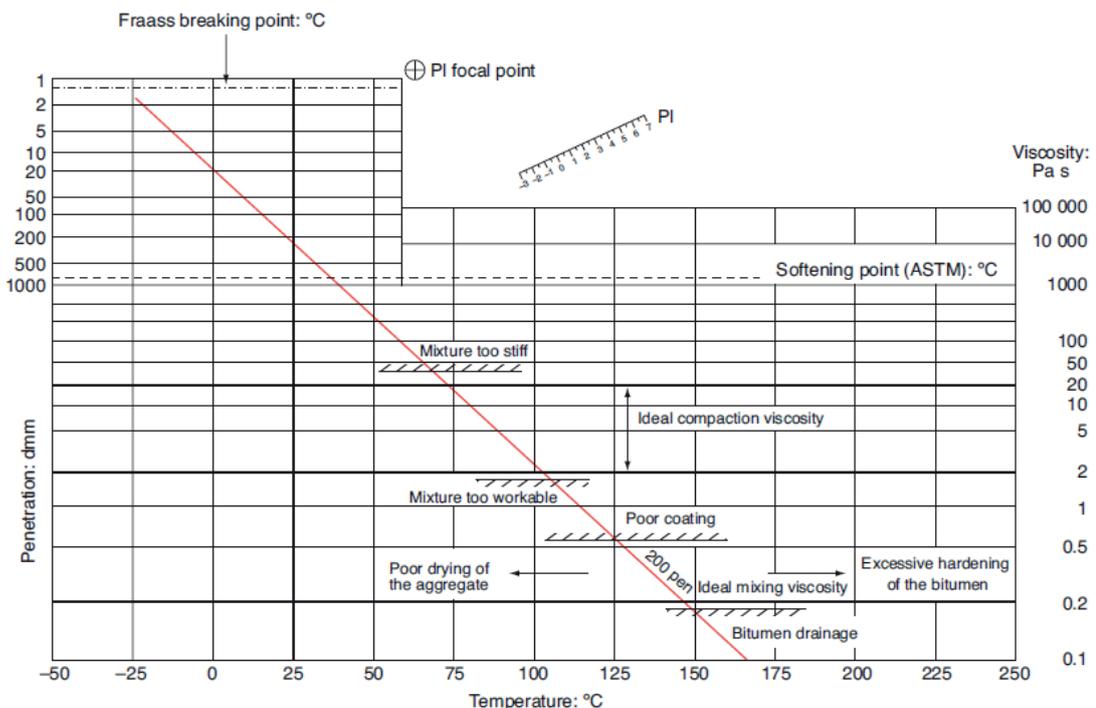


Figure A3.2 – Intervalles de viscosité idéaux pour un béton bitumineux

Bibliographie

- [1] **Centre de Recherches routières (1997)**
Code de bonne pratique pour la formulation des enrobés bitumineux.
 Bruxelles: CRR. (Recommandations, R 69). Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/r6997>, dernière consultation le 18/08/2017.
- [2] **Centre de Recherches routières (2006)**
Code de bonne pratique pour le choix du revêtement bitumineux lors de la conception ou de l'entretien des chaussées.
 Bruxelles: CRR. (Recommandations, R 78). Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/r7806>, dernière consultation le 18/08/2017.
- [3] **Centre de Recherches routières (2002)**
Code de bonne pratique pour la fabrication des enrobés bitumineux.
 Bruxelles: CRR. (Recommandations, R 72). Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/r7202>, dernière consultation le 18/08/2017.
- [4] **Région de Bruxelles-Capitale (2015)**
CCT 2015 : cahier des charges type relatif aux voiries en Région de Bruxelles-Capitale.
 Bruxelles: Région de Bruxelles-Capitale. Disponible en ligne <https://mobilite-mobiliteit.brussels/sites/default/files/cct2015fr.pdf>, dernière consultation le 15/12/2017.
- [5] **Vlaamse Overheid - Agentschap Wegen en Verkeer (2016)**
Standaardbestek 250 voor de wegenbouw [versie 3.1a].
 Brussel: Vlaamse Overheid - AWV. Disponible en ligne <http://wegenenverkeer.be/documenten>, dernière consultation le 18/08/2017.
- [6] **Service Public de Wallonie - Direction Générale Opérationnelle des Routes et des Bâtiments (2012 [Version 2016 consolidée])**
CCT Qualiroutes : cahier des charges-type.
 Namur: SPW - DGO1. Disponible en ligne <http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/index.html>, dernière consultation le 18/08/2017.
- [7] **s.n. (1975)**
Arrêté royal du 1er décembre 1975 portant règlement général sur la police de la circulation routière [et de l'usage de la voie publique].
 In: Moniteur belge (le), 09/12/1975, n° 1975120109, pp. 15627-... Disponible en ligne http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=fr&la=F&cn=1975120131&table_name=loi, dernière consultation le 18/08/2017.
- [8] **s.n. (1976)**
Arrêté ministériel du 11 octobre 1976 fixant les dimensions minimales et les conditions particulières de placement de la signalisation routière.
 In: Moniteur belge (le), 14/10/1976, n° 1976101105, pp. 13206-... Disponible en ligne http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=fr&la=F&cn=1976101130&table_name=loi, dernière consultation le 18/08/2017.

- [9] **s.n. (1999)**
Arrêté ministériel du 7 mai 1999 relatif à la signalisation des chantiers et des obstacles sur la voie publique.
In: Moniteur belge (le), 21/05/1999, n° 1999014134, pp. 17808-... Disponible en ligne http://www.ejustice.just.fgov.be/cgi_loi/change_lg.pl?language=fr&la=F&cn=1999050748&table_name=loi, dernière consultation le 15/12/2017.
- [10] **Centre de Recherches routières (2012)**
Les émulsions cationiques bitumineuses en tant que couches de collage : recommandations pratiques de mise en œuvre.
Bruxelles: CRR. (Dossier, 14). Disponible en ligne http://www.brrc.be/fr/article/dossier14_fr, dernière consultation le 18/08/2017.
- [11] **Bureau de normalisation (2013)**
Bitumes et liants bitumineux : cadre de spécifications pour les émulsions cationiques de liants bitumineux.
Bruxelles: NBN. (NBN EN 13808)
- [12] **Bureau de normalisation (2015)**
Chaux de construction. Partie 1, définitions, spécifications et critères de conformité.
Bruxelles: NBN. (NBN EN 459-1)
- [13] **Centre de Recherches routières (2013)**
Les enrobés bitumineux colorés : recommandations pratiques pour le choix des matériaux, la conception et la mise en œuvre : détermination objective de leur couleur.
Bruxelles: CRR. (Dossier, 17). Disponible en ligne http://www.brrc.be/fr/article/dossier17_fr, dernière consultation le 18/08/2017.
- [14] **Centre de Recherches routières (2015)**
Méthode de mesure de la couleur des revêtements bitumineux colorés : détermination sur des carottes bitumineuses.
Bruxelles: CRR. (Méthode de mesure, MF 90). Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/mf9015>, dernière consultation le 18/08/2017.
- [15] **CEN (s.d.)**
Bituminous mixtures : test methods. Part 48, interlayer bonding.
Zurich: CEN. (prEN 12697-48).
Ce projet de norme n'est actuellement pas disponible à tous. Seuls les membres du Technical Committee CEN/TC 227 "Road materials" y ont accès. Plus d'information a.destree@brrc.be.
- [16] **Centre de Recherches routières (2006)**
Evolution de la température d'une couche d'enrobé bitumineux nouvellement posée.
Bruxelles: CRR (Compte-rendu de recherche, CR 42). Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/cr4206>, dernière consultation le 18/08/2017.
- [17] **Heukelom W.**
A bitumen test data chart for showing the effect of temperature on the mechanical behavior of asphaltic bitumens.
In: Journal of Institute of Petroleum, 55(1969)546, pp. 404-17.
Cité dans **Hunter, Robert N.; Self, Andy; Read, John (2015)**. *The Shell Bitumen handbook. Sixth edition*. London: ICE Publishing. 91p.

Vansteenkiste, Stefan (2016)

Production et exécution des applications particulières. Partie 2, enrobé à température réduite.

In: Centre de Recherches Routières (Ed.): Formation hivernale 2016. Routes durables : production, exécution et contrôles. Jour 4, revêtements bitumineux, Sterrebeek, 24 mars.

Bruxelles: CRR, pp. 173-84.

VÖGELE (2016)

Guide de la pose de VÖGELE.

Ludwigshafen: Joseph Vögele AG. 240 p.

Hunter, Robert N.; Self, Andy; Read, John (2015)

The Shell Bitumen handbook. Sixth edition.

London: ICE Publishing. 788 p. ISBN 978-0-7277-5837-8.

BOMAG (2009)

Basic Principles of Asphalt Compaction. Compaction methods, Compaction equipment, Rolling technique

Boppard: BOMAG GmbH. 55 p. Disponible en ligne https://www.bomag.com/fr/media/pdf/PRE109016_0901.pdf, dernière consultation du 19/12/2017.

Hauptfleisch, Andre; Swanepoel, Brett; Petersen, Brian; Rutherford, Bonzo; Louw, Kobus; Knipe, Malcolm (2009)

Hand-laid Hot-mix Asphalt.

Eerste Rivier: Much Asphalt. 36 p. Disponible en ligne http://www.muchasphalt.com/wp-content/uploads/2015/11/best_practice_guide_booklet.pdf, dernière consultation le 10/08/2017.

Bitume Québec (2008)

La mise en œuvre des enrobés : guide de bonnes pratiques.

Sainte-Julie: Bitume Québec. 105 p. ISBN 978-2-923714-01-1.

Routhier, Martin (2006)

L'efficacité des bâches imperméables sur le transport de l'enrobé.

In: Bitume Québec (Ed.): Bitume Québec Congrès 2006.

Sainte-Julie: Bitume Québec. Disponible en ligne <http://www.bitumequebec.ca/wp-content/uploads/2015/06/routhierbaches.pdf>, dernière consultation le 19/12/2017.

Centre de Recherches Routières (2001)

Code de bonne pratique des enduits superficiels.

Bruxelles: CRR. (Recommandations, R 71). Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/r7101>, dernière consultation le 18/08/2017.

Centre de Recherches Routières (1983)

Code de bonne pratique pour le dimensionnement des chaussées à revêtement hydrocarboné.

Bruxelles: CRR. (Recommandations, R 49). Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/r4983>, dernière consultation le 18/08/2017.

Association Belge des Producteurs d'Enrobés (s.d.)

Directives pratiques pour la pose des revêtements hydrocarbonés.

Bruxelles: ABPE. 32 p.

Van Damme, Emmanuel (s.d.)

Basiscurus asfalt.

91 p.



Les membres ressortissants et les membres adhérents reçoivent gratuitement les nouvelles publications CRR. Toutes les publications peuvent être téléchargées gratuitement après enregistrement sur notre site web www.crr.be. Les non-membres peuvent commander une version papier au CRR.

Pour commander cet ouvrage:

publication@brrc.be – Tél.: +32 (0)2 766 03 26

Référence: R 96 – Prix: 20,00 € (excl. 6 % TVA)

Egalement dans la collection «Recommandations»

Orientés sur la conception, l'exécution et l'entretien des routes, les codes de bonne pratique rassemblent les résultats de recherches de groupes de travail créés par le CRR en vue d'étudier des sujets bien déterminés.

Référence	Titre	Prix
R 88/14	Code de bonne pratique pour la protection des routes contre les effets de l'eau	18,00 €
R 84/12	Code de bonne pratique pour la gestion et la maîtrise des mauvaises herbes sur les revêtements modulaires par voie non chimique + Annexe (Arbre de décision pour la gestion et la maîtrise des mauvaises herbes sur les revêtements modulaires)	20,00 €
R 83/12	Code de bonne pratique pour la conception, la mise en oeuvre et l'entretien des complexes étanchéité-revêtement de ponts à tablier en béton	32,00 €
R 82/11	Code de bonne pratique pour les revêtements industriels extérieurs en béton	17,00 €
R 81/10	Code de bonne pratique pour le traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques + 4 guides pratiques – Amélioration des sols pour le remblayage des tranchées d'égouts et l'enrobage des tuyaux – Stabilisation des sols pour couches de sous-fondation – Amélioration des sols pour terrassements et fond de coffre – Plates-formes industrielles. Fondations par traitement de sol)	26,50 €

Autres collections CRR

-  Méthode de mesure
-  Compte rendu de recherche
-  Synthèse



Centre de recherches routières

Votre partenaire pour des routes durables

Etablissement reconnu par application de l'Arrêté-loi du 30 janvier 1947
boulevard de la Woluwe 42
1200 Bruxelles
Tél.: 02 775 82 20 - Fax : 02 772 33 74
www.crr.be

Le présent code de bonne pratique décrit la mise en œuvre des enrobés bitumineux sur chantier, depuis la préparation des travaux jusqu'à l'ouverture de la route au trafic.

Pour commencer, le premier chapitre décrit en détail le matériel utilisé. Les camions, les répanduses de liant, les finisseurs, les alimentateurs et les compacteurs y sont traités, afin que le lecteur puisse entamer les chapitres suivants en connaissance de cause.

La mise en place de l'enrobe doit être abordée comme il se doit: la préparation, tant administrative que logistique, est capitale pour la réussite du projet. L'organisation du transport est cruciale, car une alimentation uniforme et continue en enrobé est une condition fondamentale pour garantir un bon niveau de qualité.

Le chapitre 3 traite de l'exécution du chantier. Il débute par une description succincte du fraisage et de la pose de la couche de collage. La pose des enrobés au finisseur est ensuite décrite en détail; le comment et le pourquoi des principaux réglages de la machine y sont expliqués. Arrive ensuite le compactage de l'enrobé, où l'on insiste sur l'importance d'un compactage suffisant des couches dans un intervalle de température correct. Le code de bonne pratique donne par la suite quelques spécificités sur la mise en œuvre des différents types d'enrobés.

Le contrôle de la qualité pendant et après l'exécution des travaux est une étape importante du processus et est l'objet du chapitre 5. Le chapitre suivant aborde l'ouverture au trafic, et souligne l'importance du temps de refroidissement nécessaire avant que le trafic puisse circuler sur le revêtement neuf.

Enfin, s'ensuivent quelques points d'attention importants liés aux conditions météorologiques lors des travaux, à la planéité, à l'homogénéité et à la ségrégation, ainsi qu'à la rugosité.

Mots-clés ITRD

0177 – Recommandation ; 4967 – Enrobé ; 3623 – Mise en œuvre (appl) ; 3655 – Construction (exécution) ; 9101 – Contrôle ; 3674 – Equipement ; 3663 – Finisseur ; 3602 – Répandage ; 3686 – Compactage ; 4577 – Granulat ; 4948 ; Liant ; 3628 – Chantier.