



Centre de recherches routières
Ensemble 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
www.crr.be

Un aspect important de la durabilité de l'asphalte coulé concerne la résistance à la déformation permanente sous des charges dynamiques. Cette caractéristique est déterminée à l'aide de l'essai de compression cyclique uniaxial (UACC) suivant la norme NBN EN 12697-25 (NBN, 2016a) partie A2. Cette méthode repose sur l'application d'une pression statique combinée à une impulsion sinusoïdale et un temps de repos entre les impulsions.

L'essai de compression cyclique uniaxial remplace en Belgique l'essai d'orniérage qui n'est pas repris dans la norme de produit européenne pour l'asphalte coulé NBN EN 13108-6 (NBN, 2016c) ni dans la norme européenne relative à l'épreuve de formulation NBN EN 13108-20 (NBN, 2016d). Il s'agit d'un essai supplémentaire pour tous les mélanges d'asphalte coulé ayant une indentation statique $\leq 2,5$ mm déterminée suivant la norme NBN EN 12697-20 (NBN, 2020a) pour l'essai d'indentation.

Le présent code de bonne pratique, qui s'adresse au secteur de l'asphalte coulé, vise à fournir des informations relatives à l'essai, des conseils pratiques pour la formulation et l'optimisation des mélanges d'asphalte coulé permettant de mieux répondre aux exigences de l'essai, ainsi que des recommandations pour la préparation des éprouvettes.

Mots clés ITRD

0177 – RECOMMANDATION ; 0187 – NORME ; 3647 – PRODUCTION ; 4105 – SABLE ; 4929 – TENEUR EN LIANT ; 4963 – BITUME ; 4967 – MÉLANGE BITUMINEUX ; 4979 – ASPHALTE COULÉ ; 5544 – RÉSISTANCE (MATER) ; 5588 – CHARGEMENT RÉPÉTÉ ; 5595 – DÉFORMATION ; 5925 – PROPRIÉTÉS (MATER) ; 5931 – RIGIDITÉ ; 5938 – TENEUR EN VIDES ; 6251 – ÉPROUVETTE ; 6288 – MÉTHODE D'ESSAI ; 6289 – ESSAI D'ÉCRASEMENT EN COMPRESSION SIMPLE ; 6722 – TEMPÉRATURE



Centre de recherches routières
Ensemble pour des routes durables

Code de bonne pratique

Code de bonne pratique pour l'essai de compression cyclique uniaxial pour l'asphalte coulé



Recommandations

Centre de compétence impartial depuis 1952, le CRR (Centre de recherches routières) est au service de l'ensemble du secteur routier. 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, Newsletters 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

Les membres ressortissants et adhérents peuvent commander gratuitement nos publications au format numérique ou papier. Cette publication est uniquement disponible au format numérique.

Plus d'informations:

<https://brrc.be/fr/expertise/publications>

Pour commander cette publication

publication@brrc.be – Tél.: +32 (0)2 766 03 26

Référence: R 104 – Prix: 10 € (hors TVA de 6 %)

Également dans la collection “Recommandations”

Orientés sur la conception, l'exécution et l'entretien des routes, les codes de bonne pratique (référence R) 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 102	Code de bonne pratique pour le choix du revêtement bitumineux lors de la conception ou de l'entretien des chaussées	20,00 €
R 98	Code de bonne pratique pour les matériaux bitumineux coulés à froid	16,00€
R 96	Code de bonne pratique pour la mise en œuvre des revêtements bitumineux	20,00 €
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 œuvre 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 €
R 71/01	Code de bonne pratique des enduits superficiels	10,00 €

Autres séries CRR

-  Compte rendu de recherche
-  Méthode de mesure
-  Synthèse

Code de bonne pratique pour l'essai
de compression cyclique uniaxial
pour l'asphalte coulé

Auteur

Annette Gail

Remerciements

Le CRR tient à remercier Christian Angst et Liliane Huber de l'institut suisse IMP Bautest AG pour leur participation à l'essai interlaboratoire ainsi que les producteurs belges d'asphalte coulé pour la mise à disposition des mélanges d'asphalte coulé. Nous remercions également les collaborateurs du CRR, en particulier Lieve Glorie, Olivier Moens et David De Santos Martinez, pour avoir contribué à l'élaboration de ce code de bonne pratique.

Le présent code de bonne pratique a été réalisé dans le cadre du projet «Implémentation et validation de l'essai de compression cyclique uniaxial en Belgique – PAN2131», partiellement subsidié par l'Antenne normes, que le CRR tient à remercier pour son appui financier.

Avis au lecteur

Bien que les recommandations de ce code de bonne pratique aient été rédigées avec le plus grand soin, 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 l'essai de compression cyclique uniaxial pour l'asphalte coulé

Edité par le Centre de recherches routières.

Bruxelles: CRR, 2022, 32 p. (Recommandations, ISSN 1376-9340; R 104).

Dépôt légal: D/2022/0690/1

Editeur responsable: Annick De Swaef, boulevard de la Woluwe 42, 1200 Bruxelles

© CRR – Tous droits réservés.

Table des matières

Avant-Propos	2
1. Objectif du code de bonne pratique	2
2. Introduction de l'essai	4
2.1 Historique de l'essai	4
2.2 Remplacement de l'essai d'orniérage	4
3. Description de l'essai	6
3.1 Principe de l'essai de compression cyclique uniaxial suivant la méthode A2	6
3.2 Conditions de chargement de la méthode A2	7
3.3 Température d'essai	7
3.4 Éprouvettes	8
3.4.1 Éprouvettes moulées	8
3.4.2 Éprouvettes prélevées par carottage	8
3.5 Résultats	8
3.5.1 Impact de la température de production de l'asphalte coulé	9
4. Prescriptions	12
4.1 Répétabilité	12
5. Impact de la composition d'un mélange d'asphalte coulé sur le résultat de l'essai de compression cyclique uniaxial	14
5.1 Teneur en bitume	14
5.2 Influence du sable	15
5.3 Utilisation des additifs	16
6. Recommandations pour la formulation théorique d'un mélange d'asphalte coulé	20
6.1 Pourcentage de vides théoriques dans le mélange bitumineux	20
6.2 Indicateur de rigidité du mastic (MSI)	20
6.3 Recommandations relatives à la formulation des mélanges	21
7. Comparaison de l'essai de compression cyclique uniaxial avec l'essai d'indentation	24
8. Avis spécifiques pour la préparation des éprouvettes	26
8.1 Échantillonnage de l'asphalte coulé chaud sur chantier	26
8.2 Dimensions des moules pour la fabrication des dalles	27
9. Bibliographie	30

Liste des figures

Figure 3.1	Dispositif d'essai pour l'essai de compression cyclique uniaxial	6
Figure 3.2	Courbe de chargement haversine de la méthode A2	8
Figure 3.3	Déformation permanente cumulée à titre d'exemple en fonction du nombre de cycles de chargement	9
Figure 3.4	Déformation permanente cumulée pour différentes températures de fabrication; mélange de référence fabriqué à 240 °C (courbes rouges) et à 220 °C (courbes bleues).	10
Figure 5.1	Déformation permanente cumulée pour différents teneurs en bitume	15
Figure 5.2	Déformation permanente cumulée pour différentes fractions de sable	16
Figure 5.3	Déformation permanente cumulée en fonction de la teneur en EVA et en bitume dans le liant	17
Figure 5.4	Comparaison de trois mélanges d'asphalte coulé ayant des compositions de liant différentes	18
Figure 8.1	Remplissage d'un moule en bois sur chantier avec de l'asphalte coulé chaud	26
Figure 8.2	Dalles de différentes dimensions utilisées au CRR pour la préparation des éprouvettes	27
Figure 8.3	Dalle pour trois éprouvettes	27

Liste des tableaux

Tableau 4.1	Exigences dans le Standaardbestek 250 pour la déformation permanente déterminée par l'essai de compression cyclique uniaxial. NR = <i>no requirement</i> , TBR = <i>to be reported</i> (Vlaamse Overheid, AWV, 2021)	12
Tableau 7.1	Comparaison des résultats des essais d'indentation et de compression cyclique uniaxial (UACC) pour trois mélanges d'asphalte coulé	24

Avant-propos

Le présent code de bonne pratique donne tout d'abord un bref aperçu de l'essai de compression cyclique uniaxial et se concentre ensuite sur des questions liées à l'implémentation de cet essai en Belgique. Pour cette raison, la description de l'essai est concise et ne contient que des informations essentielles. Pour obtenir des informations plus détaillées, il est recommandé de consulter la norme d'essai NBN EN 12697-25 (Bureau de Normalisation, 2016a) et les normes correspondantes qui sont mentionnées dans ce document.

1. Objectif du code de bonne pratique

L'essai de compression cyclique uniaxial suivant la norme NBN EN 12697-25 (NBN, 2016a) est un nouvel essai pour la détermination de la résistance à la déformation permanente d'un asphalte coulé soumis à une charge répétée. Il remplace l'essai d'orniérage décrit dans la norme NBN EN 12697-22 (NBN, 2020b), qui est appliqué en Belgique depuis longtemps et qui n'est pas repris dans la norme de produit européenne pour l'asphalte coulé NBN EN 13108-6 (NBN, 2016c). L'objectif de ce code de bonne pratique est de fournir au secteur des informations relatives à l'essai, des conseils pratiques pour la formulation des mélanges d'asphalte coulé qui sont conformes aux exigences de l'essai et des recommandations concernant l'exécution de l'essai et la préparation des éprouvettes.

2. Introduction de l'essai

2.1 Historique de l'essai

La norme pour l'essai de compression cyclique NBN EN 12697-25 (NBN, 2016a) est parue pour la première fois en 2005. L'essai même, quant à lui, existait déjà auparavant. En 1985, l'*Institut für Materialprüfung Dr. Schellenberg GbR*, Rottweil, a développé un premier essai dynamique pour l'asphalte coulé (Schellenberg, 1985) qui a été amélioré au fil des ans, voir par exemple (Angst & Schellenberg, 2008 ; Schellenberg, 1997 & Schellenberg & Eulitz, 2000). L'une des améliorations importantes de la méthode d'essai est l'application des charges sinusoïdales en lieu et place des charges rectangulaires. Les charges sinusoïdales simulent mieux le trafic et contribuent à éviter des suroscillations pendant l'exécution de l'essai. Ce nouveau type de chargement a été repris dans la norme d'essai NBN EN 12697-25 (NBN, 2016a) en 2016 en tant que méthode A2 qui est recommandée pour l'asphalte coulé.

2.2 Remplacement de l'essai d'orniérage

L'essai d'orniérage, tel que décrit dans la norme NBN EN 12697-22 (NBN, 2020b), sert à déterminer la déformation des mélanges bitumineux soumis à des charges roulantes. La norme de produit pour l'asphalte coulé NBN EN 13108-6 (NBN, 2016c) ainsi que la norme NBN EN 13108-20 (NBN, 2016d) qui décrit l'épreuve de formulation ne prévoient pas cet essai pour l'asphalte coulé. Ces deux normes requièrent cependant l'exécution de l'essai de compression cyclique uniaxial pour des asphaltes coulés ayant une indentation statique (déterminée suivant la norme NBN EN 12697-20 [NBN, 2020a]) inférieure ou égale à 2,5 mm. L'essai de compression cyclique uniaxial est donc un essai dynamique supplémentaire pour des asphaltes coulés durs.

3. Description de l'essai

L'essai de compression cyclique uniaxial pour l'asphalte coulé est décrit dans la norme NBN EN 12697-25 (NBN, 2016a), plus spécifiquement dans la partie A2. En tout, la norme décrit trois essais pour la détermination de la résistance à la déformation permanente de mélanges bitumineux. La méthode A1, qui est également un essai de compression cyclique uniaxial, est recommandée pour des mélanges bitumineux autres que l'asphalte coulé, tandis que la méthode A2 est recommandée pour l'asphalte coulé. La partie B de la norme décrit quant à elle un essai de compression cyclique triaxial.

3.1 Principe de l'essai de compression cyclique uniaxial suivant la méthode A2

Une éprouvette cylindrique en asphalte coulé de (148 ± 5) mm de diamètre et dont la hauteur est de (60 ± 2) mm est soumise à une contrainte cyclique axiale sinusoïdale répétée. La charge est transmise par un piston dont le diamètre est inférieur à celui de l'éprouvette pour obtenir un certain confinement. Un confinement latéral n'est pas appliqué. La déformation permanente est mesurée par des capteurs de déplacement. Le dispositif d'essai est illustré à la figure 3.1.

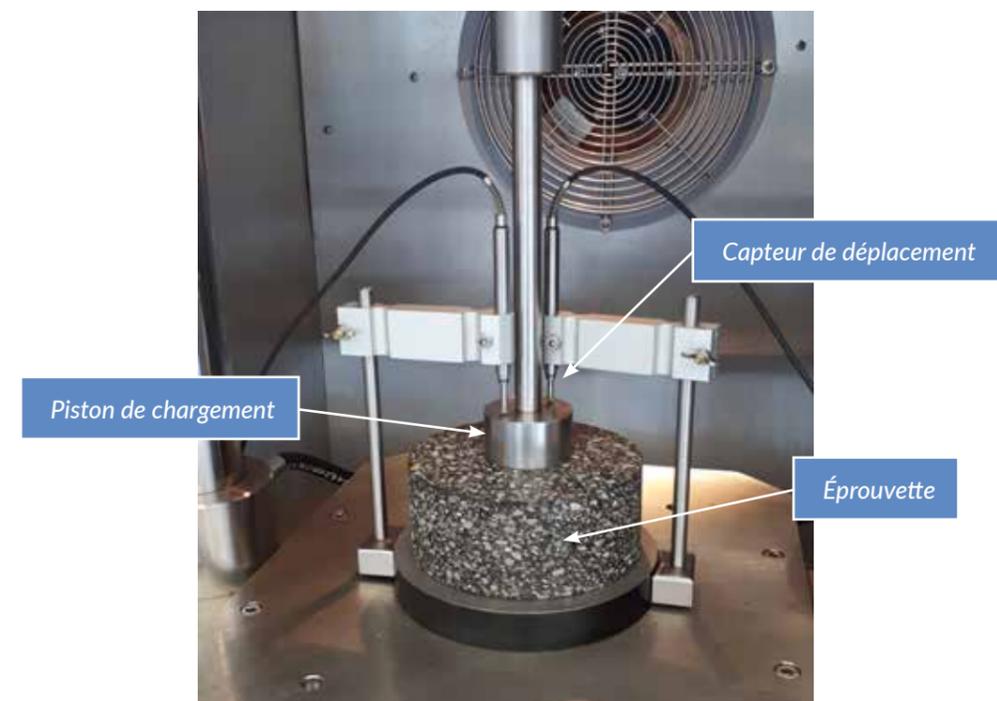


Figure 3.1 – Dispositif d'essai pour l'essai de compression cyclique uniaxial

3.2 Conditions de chargement de la méthode A2

Une impulsion cyclique axiale sinusoïdale avec décalage d'origine et temps de repos est appliquée sur la face supérieure de l'éprouvette. Un cycle de chargement consiste en une impulsion sinusoïdale et une phase de repos durant laquelle une charge minimale est appliquée (figure 3.2). Au total, 5 000 cycles de chargement sont appliqués et la déformation permanente cumulée de l'asphalte coulé après 2 500 et 5 000 cycles doit être indiquée dans le rapport d'essai. Si la déformation permanente cumulée dépasse déjà la limite maximale de 5 mm avant d'avoir atteint les 5 000 cycles de chargement, l'essai doit être arrêté. Dans ce cas, le nombre de cycles de chargement qui correspond à une déformation de 5 mm est enregistré.

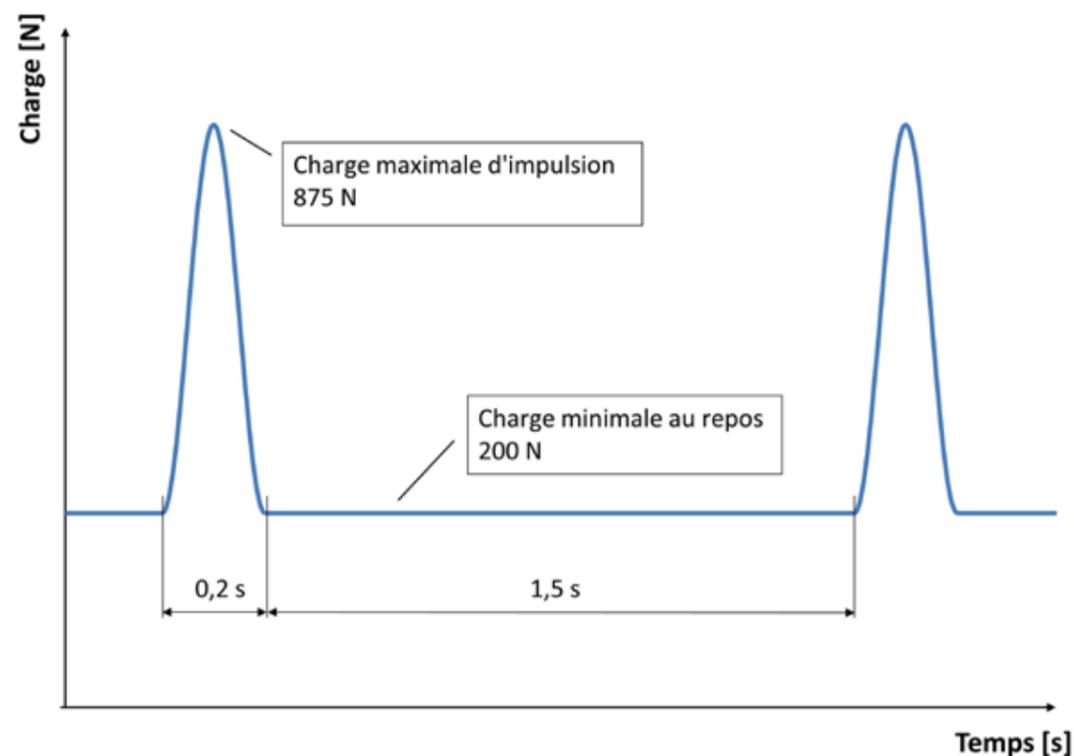


Figure 3.2 - Courbe de chargement haversine de la méthode A2

3.3 Température d'essai

L'essai est effectué dans une enceinte thermostatique. Selon la norme d'essai NBN EN 12697-25 (NBN, 2016a), l'essai doit être effectué à une température comprise entre 30 °C et 50 °C. Pour les essais de compression cyclique uniaxiaux conformes à la norme de produit pour l'asphalte coulé, la température d'essai est fixée à 50 °C dans la norme NBN EN 13108-20 (NBN, 2016d).

3.4 Éprouvettes

Pour l'essai, des éprouvettes cylindriques d'une hauteur de (60 ± 2) mm et d'un diamètre de (148 ± 5) mm sont utilisées. Selon la norme d'essai, au moins trois éprouvettes doivent être préparées pour l'essai. Il est important de noter que l'épaisseur de l'asphalte coulé qui sert de base à la préparation de l'éprouvette ne peut être inférieure à 65 mm car la norme demande la rectification des deux faces de l'éprouvette afin qu'elles soient planes, parallèles l'une par rapport à l'autre et perpendiculaires à l'axe du cylindre. La norme offre en outre la possibilité de travailler sur des épaisseurs plus fines d'asphalte coulé en épilant deux carottes l'une sur l'autre.

Les éprouvettes d'essai sont préparées soit à partir des éprouvettes moulées, soit à partir des éprouvettes prélevées par carottage.

3.4.1 Éprouvettes moulées

Pour la préparation des éprouvettes moulées, l'asphalte coulé est versé dans des moules cylindriques en acier dont le diamètre intérieur correspond au diamètre de l'éprouvette. Les moules en acier doivent être préchauffés à (150 ± 10) °C avant d'être remplis avec de l'asphalte coulé. Pour cette raison, l'échantillonnage de l'asphalte coulé sur chantier à l'aide des moules en acier constitue une difficulté parce qu'il est compliqué de trouver une procédure standardisée pour le préchauffement des moules en acier sur chantier à une température déterminée et dans des conditions constantes et précises. Au chapitre 8, des avis spécifiques pour l'échantillonnage de l'asphalte coulé chaud sur chantier sont formulés. Ils ont été élaborés sur la base des projets de recherche du CRR.

3.4.2 Éprouvettes prélevées par carottage

Une autre méthode consiste à prélever les éprouvettes par carottage sur site ou dans des dalles qui ont été fabriquées au préalable en laboratoire.

En cas d'utilisation de dalles, l'asphalte coulé est versé en deux couches dans un moule (p. ex. un moule en bois). Une fois l'asphalte coulé refroidi, la dalle est démoulée et les éprouvettes d'essai prélevées par carottage. Il est important de noter que les éprouvettes doivent être prélevées au moins à 20 mm du bord de la dalle.

3.5 Résultats

Le résultat principal de l'essai de compression cyclique uniaxial est la déformation permanente cumulée, en millimètres, désignée par u , et mesurée après l'application de 2 500 et 5 000 cycles de chargement.

La figure 3.3 donne à titre d'exemple une courbe qui représente la déformation permanente cumulée en fonction du nombre de cycles de chargement pour un mélange d'asphalte coulé.

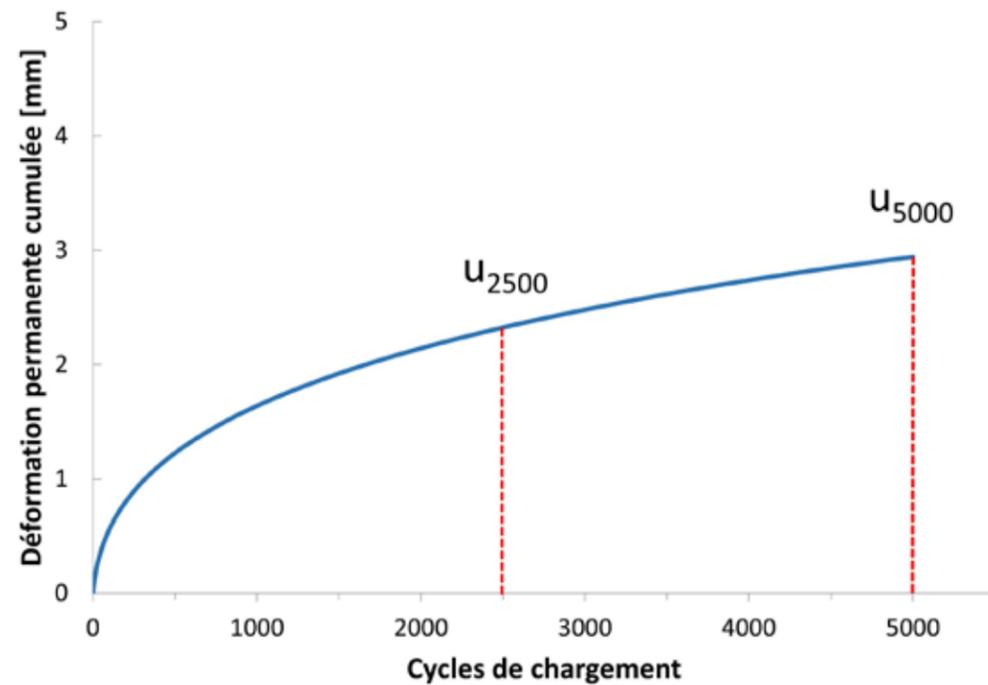


Figure 3.3 – Déformation permanente cumulée à titre d'exemple en fonction du nombre de cycles de chargement

3.5.1 Impact de la température de production de l'asphalte coulé

La température de production a une incidence directe sur la résistance à la déformation permanente. Plus la température de production d'un asphalte coulé est élevée, plus le bitume se trouvant dans l'asphalte coulé est vieilli. Avec un bitume plus vieilli, l'asphalte coulé, une fois refroidi, est plus rigide et plus résistant à la déformation permanente. Dans son projet de recherche GaMiEN (Centre de Recherches Routières, 2020) qui a été subsidié par le NBN, le CRR a analysé l'impact de la température de fabrication sur la résistance à la déformation permanente. Un mélange de référence a été fabriqué à cette fin à deux températures différentes. Une diminution de la température de fabrication de 240 °C à 220 °C entraîne une déformation plus importante de l'asphalte coulé et donc une plus mauvaise résistance du mélange aux charges dynamiques (figure 3.4).

Il y a quelque temps, la température de fabrication de l'asphalte coulé a été diminuée au niveau européen (voir p. ex. la norme pour le malaxage en laboratoire NBN EN 12697-35 (NBN, 2016b) ainsi que les cahiers des charges types belges). Cette mesure a été prise dans le contexte de la diminution de l'empreinte carbone des matériaux utilisés dans le secteur de la construction routière. La température de 240 °C qui est utilisée dans cet exemple date d'une recherche effectuée avant la diminution de la température de fabrication. Cet exemple n'est présenté qu'à titre informatif afin de mieux illustrer l'impact de la température de fabrication sur les caractéristiques de l'asphalte coulé.

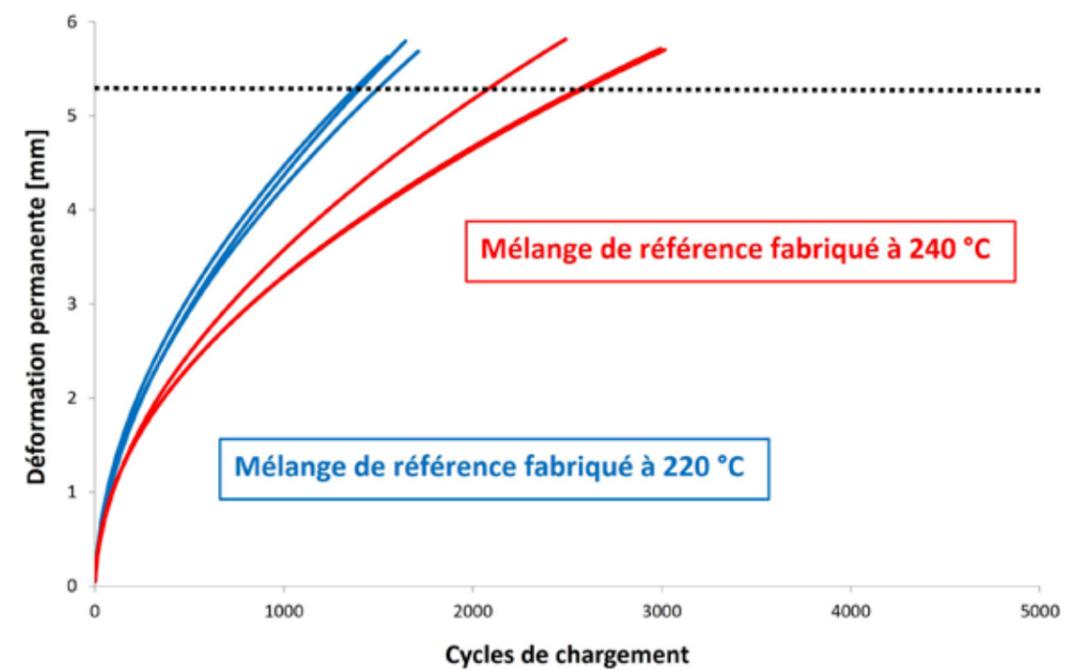


Figure 3.4 – Déformation permanente cumulée pour différentes températures de fabrication; mélange de référence fabriqué à 240 °C (courbes rouges) et à 220 °C (courbes bleues).

4. Prescriptions

Les exigences relatives à la déformation permanente cumulée d'un mélange d'asphalte coulé sont définies dans les cahiers des charges types et sont conformes à la norme de produit NBN EN 13108-6 (NBN, 2016c). Au moment de la rédaction du présent code de bonne pratique, des exigences pour la déformation permanente cumulée ont été définies dans le cahier des charges type pour la Région flamande, le Standaardbestek 250 (Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer, 2021). Celui-ci spécifie les types de mélanges d'asphalte coulé et les classes de construction pour lesquels l'essai doit être effectué ainsi que les exigences pour la déformation permanente cumulée après 2 500 cycles de chargement (U_{2500}) et 5 000 cycles de chargement (U_{5000}) (tableau 4.1).

Les exigences reprises dans le SB 250 (Vlaamse Overheid, AWV, 2021) ont été définies sur la base du projet de recherche GaMiEN (CRR, 2020) dans lequel l'essai de compression cyclique uniaxial a été effectué pour une série de mélanges des producteurs belges d'asphalte coulé.

Eisen voor dynamische indeuking SB 250, Hoofdstuk 14, Tabel 14-5.5-25					
Mengsel	Kenmerk	B1 en B2	B3	B4 en B5	B6 - B10, BF
		max.	max.	max.	max.
GAA-E	U_{5000}	NR	NR	NR	NR
GAB-D	U_{2500}	2,50 mm	3,00 mm	NR	NR
	U_{5000}	3,00 mm	4,00 mm	NR	NR
GAA-E + GAB-D	U_{2500}	TBR	TBR	NR	NR
	U_{5000}	TBR	TBR	NR	NR

Tableau 4.1 – Exigences dans le Standaardbestek 250 pour la déformation permanente déterminée par l'essai de compression cyclique uniaxial. NR = no requirement, TBR = to be reported (Vlaamse Overheid, AWV, 2021)

4.1 Répétabilité

La version actuelle de la norme NBN EN 12697-25 (NBN, 2016a) ne contient pas encore d'indication sur la fidélité de la méthode de mesure A2 qui est recommandée pour l'asphalte coulé. Lors d'un essai interlaboratoire décrit en détail à la référence (Gail et al, 2020), une première estimation de la répétabilité de l'essai a été déterminée. Il ressort de cet essai interlaboratoire que le coefficient de variation de la déformation permanente cumulée est de 12 %. Cette valeur a été déterminée sur la base des résultats de deux laboratoires. Trois mélanges différents d'asphalte coulé ont été testés dans cet essai croisé avec au total 47 éprouvettes.

Étant donné que seuls deux laboratoires ont participé à l'essai croisé, la répétabilité n'a pas pu être calculée parce que cela demande un plus grand nombre de laboratoires participants (voir aussi les prescriptions dans la norme NBN ISO 5725-2 [NBN, 2020c]).

5. Impact de la composition d'un mélange d'asphalte coulé sur le résultat de l'essai de compression cyclique uniaxial

Ce chapitre a pour but de fournir des conseils pratiques pour la formulation et l'optimisation des mélanges d'asphalte coulé afin de trouver une composition qui répond aux exigences de l'essai de compression cyclique uniaxial.

La formulation d'un nouveau mélange d'asphalte coulé doit prendre en compte différents aspects ayant un impact sur les caractéristiques performantielles de l'asphalte coulé. En ce qui concerne la déformation permanente cumulée de l'asphalte coulé, certains exemples et résultats sont discutés ci-après.

Soulignons que la plupart des mélanges d'asphalte coulé représentés et discutés dans ce document ne contiennent pas d'additifs. Pour cette raison, certains mélanges n'ont pas atteint une mesure complète de 5 000 cycles de chargement et leur déformation permanente dépasse donc la limite supérieure de 5 mm.

Les figures 5.1-5.3 montrent les résultats individuels de plusieurs éprouvettes (3 à 9 éprouvettes par essai) d'un mélange d'asphalte coulé qui ont été testées dans le cadre du projet de recherche GaMiEN (CRR, 2020).

Ces exemples permettent en outre de montrer les différences et la dispersion typique entre les mesures individuelles, ce qui est une information importante pour l'étude de la répétabilité de l'essai et pour la détermination de son pouvoir discriminant. Notons que dans le cadre de l'épreuve de formulation suivant la norme NBN EN 13108-20 (NBN, 2016d), la déformation permanente cumulée moyenne est déterminée à partir de trois éprouvettes individuelles.

5.1 Teneur en bitume

La teneur en bitume dans un mélange d'asphalte coulé influence de manière significative la résistance à la déformation permanente. La figure 5.1 montre l'impact de la teneur en bitume sur la déformation permanente cumulée à l'aide de deux mélanges d'asphalte coulé.

Les deux mélanges représentés ont la même composition du mélange sec, le même bitume a été utilisé et la même procédure de fabrication a été appliquée en laboratoire. Seul le pourcentage de bitume a été modifié. Le mélange en rouge contient 8,26 % de bitume dans le mélange complet et représente une couche de protection de l'étanchéité (MA-6,3 dans le CCT Qualiroutes [Service Public de Wallonie, Mobilité & Infrastructures, 2021], GAB-D dans le SB 250 [Vlaamse Overheid, SPW, 2021]). Ce mélange n'atteint pas le nombre maximal de chargements de 5 000 cycles et la déformation maximale de 5 mm est déjà atteinte entre 1 000 et 2 000 cycles de chargement. En diminuant la teneur en liant à 7,16 % dans le mélange complet (courbes grises dans la figure 5.1), le mélange devient plus résistant à la déformation permanente et après 5 000 cycles de chargement, une déformation permanente cumulée de 2,3 mm est atteinte (moyenne des trois mesures individuelles).

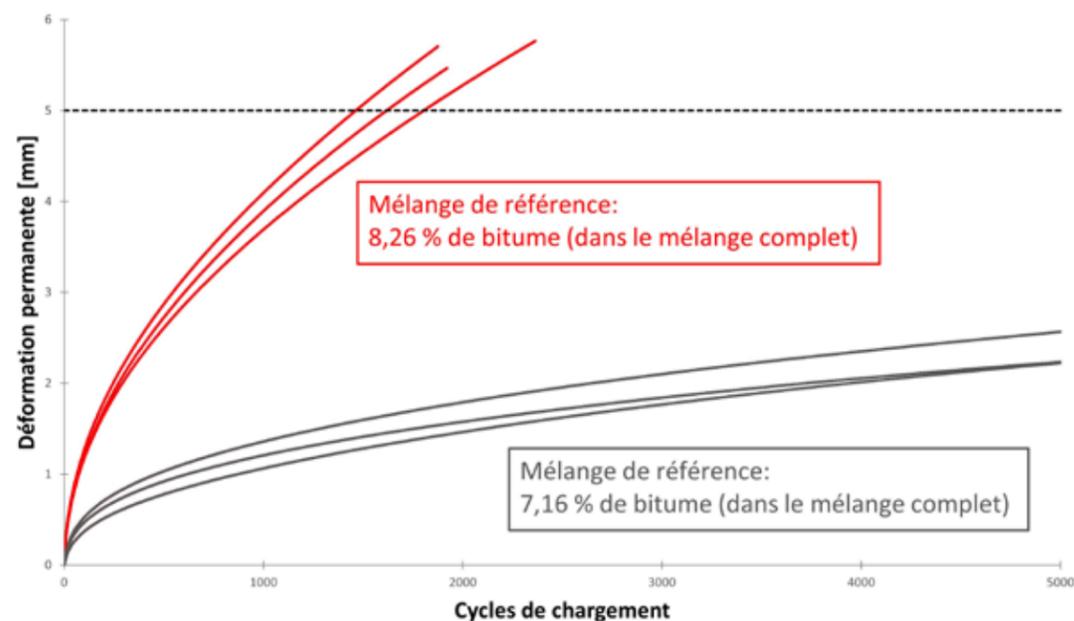


Figure 5.1 – Déformation permanente cumulée pour différentes teneurs en bitume

5.2 Influence du sable

De nombreuses compositions d'un mélange d'asphalte coulé comprennent un mélange d'un sable anguleux et d'un sable rond. Une modification des proportions du mélange des deux sables a un impact sur la résistance à la déformation permanente.

La figure 5.2 illustre une comparaison entre un asphalte coulé qui contient deux sables ronds différents (courbes bleues) et un asphalte coulé contenant dans sa fraction de sable 75 % de sable anguleux et 25 % de sable rond (courbes rouges). Les autres composants de ces deux asphaltes coulés ainsi que leurs pourcentages dans le mélange bitumineux sont identiques. Une augmentation du pourcentage de sable anguleux entraîne en conséquence une meilleure résistance à la déformation permanente, qui se manifeste dans le fait que, dans l'exemple, la limite maximale de 5 mm est atteinte après plus de cycles de chargement.

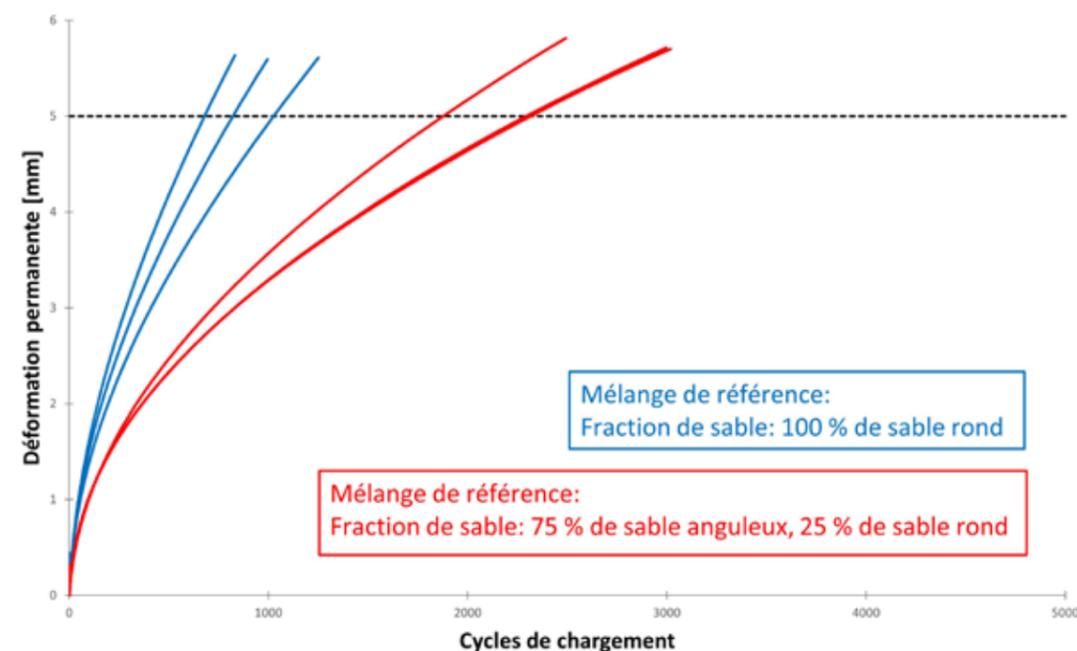


Figure 5.2 – Déformation permanente cumulée pour différentes fractions de sable

5.3 Utilisation des additifs

Pour améliorer les caractéristiques performantielles d'un mélange d'asphalte coulé, on utilise des additifs, notamment de la cire et de l'éthylène-acétate de vinyle (EVA). Ils permettent par exemple d'abaisser la température de fabrication tout en gardant une bonne maniabilité de l'asphalte coulé ou d'améliorer la résistance à la déformation permanente.

Le premier exemple à la figure 5.3 démontre l'impact de l'additif EVA sur la résistance à la déformation permanente. Les courbes rouges représentent un asphalte coulé de référence contenant du bitume et de l'EVA. La variante de cette référence contient 0,2 % de bitume en moins et 0,2 % d'EVA en plus et est représentée par les courbes bleues. La résistance à la déformation permanente d'un asphalte coulé peut donc être améliorée en ajoutant de l'EVA ou en augmentant la teneur en EVA. La diminution simultanée de la teneur en bitume de 0,2 % renforce cet effet, mais l'augmentation de l'EVA de 0,2 % est le facteur dominant dans cet exemple. Une seule diminution de la teneur en bitume de 0,2 % a un impact plus faible sur l'amélioration de la résistance à la déformation permanente.

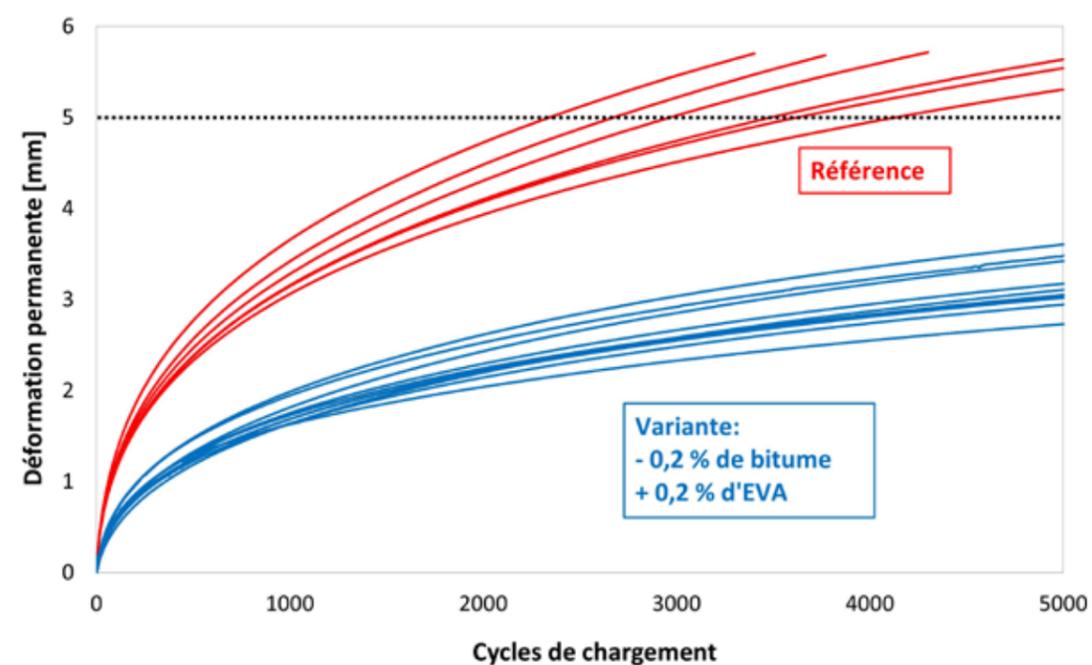


Figure 5.3 – Déformation permanente cumulée en fonction de la teneur en EVA et en bitume dans le liant

Un deuxième exemple avec deux mélanges avec de l'EVA et un mélange contenant de l'EVA et une cire est présenté à la figure 5.4. Cet exemple est décrit en détail à la référence (Gail et al, 2020). La composition du mélange sec (granulats) de ces trois mélanges ne diffère pas beaucoup et les caractéristiques de ces mélanges sont principalement déterminées par la composition du liant. Les liants des mélanges 2 et 3 (figure 5.4, en vert et en bleu) contiennent du bitume et de l'EVA. La déformation permanente du mélange 2 est plus élevée que celle du mélange 3 à cause du pourcentage de bitume plus élevé et de la quantité moindre d'EVA dans le mélange. Le mélange 1 (figure 5.4, en rouge) contient de l'EVA et une cire. Cette composition démontre une résistance plus élevée à la déformation permanente que les deux autres mélanges d'asphalte coulé.

En raison de son pouvoir discriminant plus élevé, l'essai de compression cyclique uniaxial permet de faire une meilleure distinction entre des mélanges d'asphalte coulé de composition différente. Les résultats représentés à la figure 5.4 reflètent très bien les différentes compositions des trois mélanges.

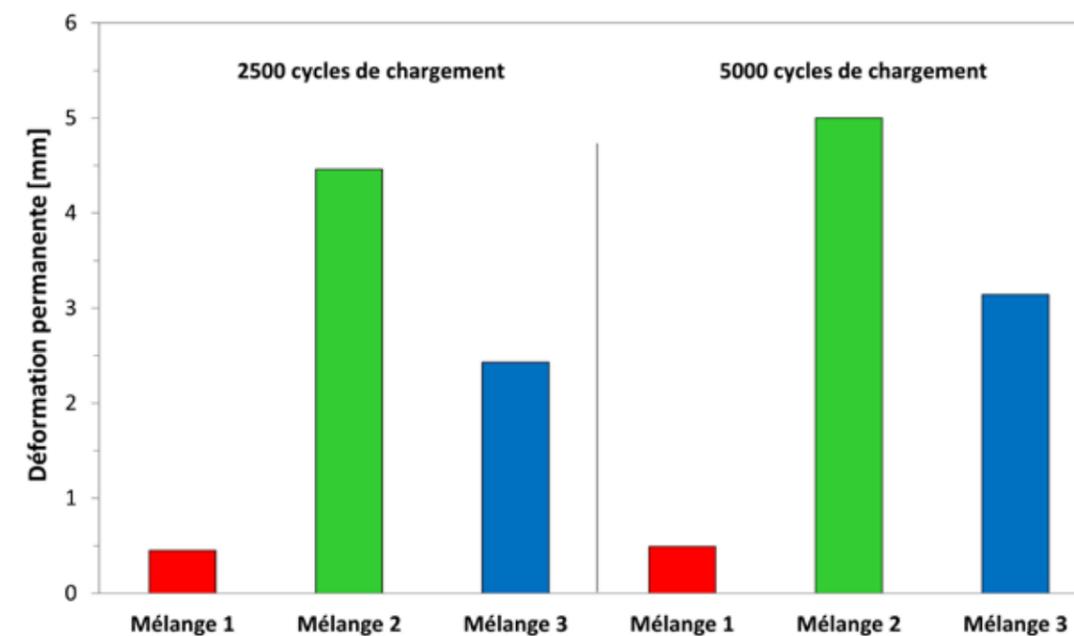


Figure 5.4 – Comparaison de trois mélanges d'asphalte coulé ayant des compositions de liant différentes

6. Recommandations pour la formulation théorique d'un mélange d'asphalte coulé

La formulation théorique d'un mélange d'asphalte coulé et l'analyse de certains paramètres théoriques peuvent déjà fournir des informations utiles pour la conception d'un nouveau mélange d'asphalte coulé et pour les caractéristiques performantielles attendues en termes de résistance à la déformation permanente. Dans le cadre du projet de recherche GaMiEN (CRR, 2020), le CRR a utilisé son nouveau logiciel PradoWeb (CRR, 2021) pour une étude théorique de mélanges d'asphalte coulé. Le logiciel a été conçu pour les enrobés, mais beaucoup de fonctions peuvent également être appliquées à l'asphalte coulé.

Deux paramètres théoriques qui servent à la description d'un mélange bitumineux se sont avérés utiles pour établir un premier lien entre la composition d'un mélange d'asphalte coulé et sa résistance à la déformation permanente: les vides théoriques dans le mélange bitumineux et l'indicateur de rigidité du mastic (en anglais, *mastic stiffness indicator* = MSI). Ces deux paramètres sont définis comme suit.

6.1 Pourcentage de vides théoriques dans le mélange bitumineux

Le mélange bitumineux final comprend le mélange sec (composants minéraux) et le liant (bitume et additifs éventuels). Les vides théoriques indiquent le pourcentage de vides dans l'asphalte coulé après la fabrication (et, dans le cas des enrobés bitumineux, après le compactage). Si le pourcentage de vides théoriques est positif, le liant ne remplit pas tous les vides existants. Une valeur négative indique cependant un excès de liant. Le calcul du pourcentage de vides théoriques dans PradoWeb représente la situation à température ambiante.

La recherche dans le cadre du projet GaMiEN (CRR, 2020) a démontré que le pourcentage de vides théoriques se situe de préférence entre -1 % et +2 % et en tout cas entre -3 % et +3 % (étude effectuée sur des mélanges GAB-D/MA-6 et GA-D).

6.2 Indicateur de rigidité du mastic (MSI)

La consistance du mastic joue un rôle important pour la maniabilité et d'autres caractéristiques performantielles d'un mélange bitumineux. Pour cette raison, la formulation théorique d'un mélange bitumineux prend en compte le paramètre MSI décrivant la consistance du mastic (De Visscher et al., 2021).

Le calcul de l'indicateur de rigidité du mastic dépend du pourcentage de vides selon Rigden dans le filler (le pouvoir rigidifiant au moyen des vides dans le filler) ainsi que du rapport entre le volume du filler et le volume du liant. Il est important de savoir que le pourcentage de vides dans le filler selon Rigden prend en compte toute la partie inférieure à 0,063 mm. Selon la composition, cela peut couvrir le filler d'apport, le filler de récupération, des particules fines provenant des sables et des pierres, ainsi que les pigments éventuels.

Le projet GaMiEN (CRR, 2020) a démontré que les indicateurs de rigidité du mastic des asphaltes coulés représentent une large plage de valeurs entre 40 °C et 100 °C. Cette vaste plage contraste avec celle des enrobés bitumineux classiques. Une valeur MSI faible indique que le mélange est plus maniable d'une part, mais que, d'autre part, il risque d'être plus déformable. Une valeur MSI élevée signifie cependant que le mélange est plus résistant aux déformations permanentes, mais moins maniable.

6.3 Recommandations relatives à la formulation des mélanges

La formulation théorique et l'analyse des paramètres théoriques représentent un soutien à la formulation d'un mélange d'asphalte coulé et peuvent éviter de concevoir et de tester des mélanges à risques.

En appliquant la méthode de formulation théorique, il faut prêter attention aux aspects suivants:

- ▶ Plage du pourcentage de vides théoriques: entre - 3 % et 3 % et de préférence entre -1 % et + 2 %.

Éviter les limites de la plage (zones à risques) car cela augmente le risque de créer des mélanges qui sont moins résistants à la déformation permanente (pourcentage de vides proche de la limite inférieure) ou pour des mélanges qui ne sont plus maniables (pourcentage de vides proche de la limite supérieure).

- ▶ Plage de l'indicateur de rigidité du mastic (MSI): entre 40 °C et 100 °C.

Éviter les limites de la plage (zones à risques) car cela augmente le risque de créer des mélanges qui sont moins résistants à la déformation permanente (MSI proche de la limite inférieure) ou pour des mélanges qui ne sont plus maniables (MSI proche de la limite supérieure).

7. Comparaison de l'essai de compression cyclique uniaxial avec l'essai d'indentation

Dans ce chapitre, l'impact de la composition d'un asphalte coulé sur les résultats de l'essai de compression cyclique uniaxial et de l'essai d'indentation est analysé. Les deux essais servent à la détermination de la résistance à la déformation permanente. L'essai d'indentation suivant la norme NBN EN 12697-20 (NBN, 2020a) est un essai dans lequel des charges statiques sont appliquées tandis que l'essai de compression cyclique uniaxial est un essai dynamique. Le comportement d'un mélange d'asphalte coulé sous des charges statiques est différent de celui sous des charges dynamiques. Le tableau 7.1 l'illustre à l'aide de trois mélanges différents d'asphalte coulé. Les deux mélanges A et B ont la même déformation de 1,5 mm à 30 minutes dans l'essai d'indentation tandis que leurs résultats de l'essai de compression cyclique uniaxial diffèrent beaucoup (tableau 7.1, cercles rouges). Le mélange A présente sous des charges dynamiques une très faible déformation après l'application de 2 500 cycles de chargement tandis que le mélange B subit une déformation plus importante.

Par contre, il n'est pas possible de tirer des conclusions des résultats de l'essai de compression cyclique uniaxial pour les résultats de l'essai d'indentation (tableau 7.1, cercles bleus). Les mélanges B et C ont environ la même déformation après 2 500 cycles de chargement dans l'essai de compression cyclique uniaxial, tandis que leurs résultats d'indentation après 30 minutes se distinguent nettement les uns des autres.

Mélange	Indentation [mm]			UACC [mm]		
	30'	60'	$\Delta(60'-30')$	U_{2500}	U_{5000}	$U_{5000}-U_{2500}$
A	1,5	1,6	0,1	0,47	0,51	0,04
B	1,5	1,9	0,4	2,49	3,16	0,67
C	2,9	3,3	0,4	2,69	3,83	1,14

Tableau 7.1 – Comparaison des résultats des essais d'indentation et de compression cyclique uniaxial (UACC) pour trois mélanges d'asphalte coulé

Il en résulte que l'essai d'indentation et l'essai de compression cyclique uniaxial ne sont pas comparables parce qu'ils concernent des aspects différents de la résistance à la déformation d'un mélange d'asphalte coulé (résistance aux charges statiques, d'une part, et résistance aux charges dynamiques, d'autre part).

Le projet de recherche GaMiEN (CRR, 2020) a en outre démontré que l'essai de compression cyclique uniaxial permet de mieux distinguer différents types de mélanges résistants à la déformation permanente dont les résultats de l'essai d'indentation sont très proches.

8. Avis spécifiques pour la préparation des éprouvettes

8.1 Échantillonnage de l'asphalte coulé chaud sur chantier

La confection des éprouvettes d'essai à partir de dalles permet, d'une part, l'utilisation de l'asphalte coulé fabriqué en laboratoire ou d'autre part, l'échantillonnage de l'asphalte coulé chaud sur chantier (depuis le camion de transport). Sur site, des moules en bois peuvent être remplis avec de l'asphalte coulé (figure 8.1). Après refroidissement, les moules sont transportés en laboratoire où les dalles sont démoulées et les éprouvettes confectionnées. Dans le cadre d'un projet de recherche GaMiEN (CRR, 2020), le CRR a déjà acquis de bonnes expériences avec cette procédure. Il faut cependant noter qu'à l'heure actuelle, cette seconde méthode ne fait pas partie des normes ou des cahiers des charges types. Il conviendrait également de vérifier à l'aide d'une étude d'incidence si les différentes méthodes de prélèvement aboutissent aux mêmes résultats.



Figure 8.1 – Remplissage d'un moule en bois sur chantier avec de l'asphalte coulé chaud

8.2 Dimensions des moules pour la fabrication des dalles

Dans la norme NBN EN 12697-25 (NBN, 2016a), les dimensions des moules pour la fabrication des dalles ne sont pas spécifiées. Lors de l'essai interlaboratoire pour l'essai de compression cyclique uniaxial (Gail et al, 2020), l'impact de différents moules pour la préparation des dalles en asphalte coulé a également été étudié. Des éprouvettes prélevées dans des dalles de dimensions 50 cm x 50 cm et des éprouvettes prélevées dans des dalles de dimensions 30 cm x 30 cm ont été comparées (figure 8.2). Dans tous les cas, les exigences de la norme d'essai ont été respectées en ce qui concerne la distance de 20 mm du bord de la plaque pour le carottage. La déformation cumulée des deux types d'éprouvette a été comparée et il s'est avéré que les différences entre les deux types de préparation sont dans l'ordre de l'écart-type de la déformation permanente cumulée. On peut conclure que les dimensions des dalles, et par conséquent une distance un peu plus grande ou un peu plus petite entre les points de carottage, n'a pas d'influence sur le résultat de l'essai.

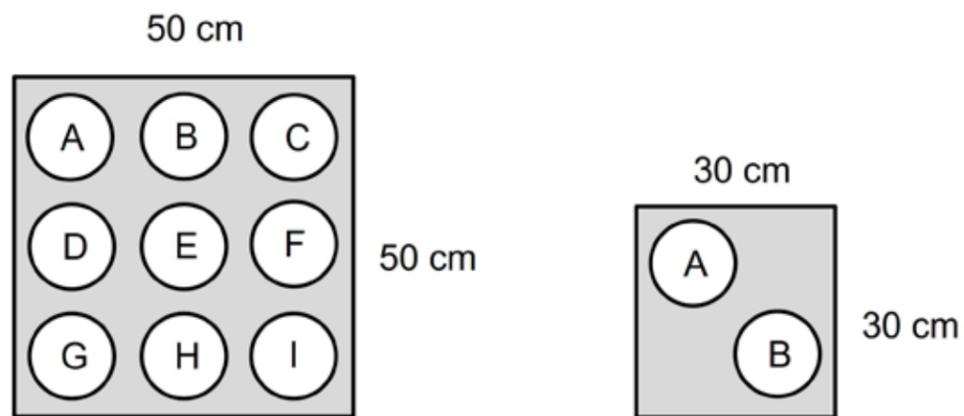


Figure 8.2 – Dalles de différentes dimensions utilisées au CRR pour la préparation des éprouvettes

Après avoir effectué l'essai interlaboratoire, le CRR a construit un autre type de moule dans lequel une dalle pour trois éprouvettes peut être préparée (figure 8.3). Cela constitue une solution optimale pour des mélanges d'asphalte coulé qui sont fabriqués en petite quantité, car trois éprouvettes suffisent pour un essai de compression cyclique uniaxial.

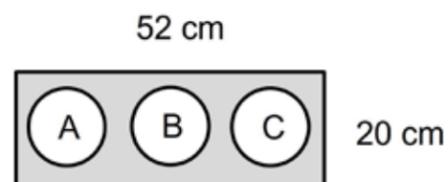


Figure 8.3 – Dalle pour trois éprouvettes

9. Bibliographie

- Angst, C. & Schellenberg, K. (2008). *Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt* (VSS Forschungsauftrag No 2000/433). Schweizerische Eidgenossenschaft, Bundesamt für Strassen, Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK). <https://www.impbautest.ch/upload/cms/user/statEindringtiefe.pdf>
- Bureau de Normalisation. (2016a). *Mélanges bitumineux: Méthodes d'essai. Partie 25: Essai de compression cyclique* (NBN EN 12697-25). https://www.nbn.be/shop/fr/norme/nbn-en-12697-25-2016_17105/
- Bureau de Normalisation. (2016b). *Mélanges bitumineux: Méthodes d'essais. Partie 35: Malaxage de laboratoire* (NBN EN 12697-35). https://www.nbn.be/shop/fr/norme/nbn-en-12697-35-2016_27190/
- Bureau de Normalisation. (2016c). *Mélanges bitumineux: Spécifications pour le matériau. Partie 6: Asphaltes coulés routiers* (NBN EN 13108-6). https://www.nbn.be/shop/fr/norme/nbn-en-13108-6-2016_22523/
- Bureau de Normalisation. (2016d). *Mélanges bitumineux: Spécifications pour le matériau. Partie 20: Épreuve de formulation* (NBN EN 13108-20). https://www.nbn.be/shop/fr/norme/nbn-en-13108-20-2016_39406/
- Bureau de Normalisation. (2020a). *Mélanges bitumineux: Méthodes d'essai. Partie 20: Essai d'indentation de cubes ou éprouvettes Marshall* (NBN EN 12697-20). https://www.nbn.be/shop/fr/norme/nbn-en-12697-20-2020_12050/
- Bureau de Normalisation. (2020b). *Mélanges bitumineux: Méthodes d'essai. Partie 22: Essai d'orniérage* (NBN EN 12697-22). https://www.nbn.be/shop/fr/norme/nbn-en-12697-22-2020_26010/
- Bureau de Normalisation. (2020c). *Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure. Partie 2: Méthode de base pour la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure normalisée* (NBN ISO 5725-2). https://www.nbn.be/shop/fr/norme/nbn-iso-5725-2-2020_34898/
- Centre de Recherches Routières. (2020). GaMiEN: *Onderzoek van gietasfaltmengsels ingevolge wijzigingen aan de Europese normen: Eindverslag voor de periode 1 juni 2018 tot 31 mei 2020* [Unpublished report No CCN NBN PN18A20-B20].
- Centre de Recherches Routières. (2021). PradoWeb: *Program for road asphalt design and optimization* - Web. <https://brrc.be/fr/innovation/apercu-innovation/pradoweb>
- De Visscher, J., Destrée, A., Tanghe, T. & Vanelstraete, A. (2021). PradoWeb: *Logiciel de formulation des enrobés bitumineux selon la méthode du CRR. Revue générale des routes et de l'aménagement (RGRA), (983), 24-28.*

- Gail, A., Glorie, L., Angst, C. & Huber, L. (2020, Juin 16-18). Comparative test on the new uniaxial cyclic compression test for mastic asphalt. In *Asphalt 4.0 for future mobility: 7th Eurasphalt & Eurobitume congress (7th E&E), Madrid, Spain*. European Asphalt Pavement Association (EAPA) & European Bitumen Association (Eurobitume).
- Schellenberg, K. (1985). Die Rottweiler Hydropulsanlage. *Bitumen*, 47(4), 145-149.
- Schellenberg, K. (1997). Neue Prüfverfahren zur Beurteilung von Gussasphalt auf Betonbrücken. *Bitumen*, 59(1), 2-5.
- Schellenberg, K. & Eulitz, H.-J. (2000). *Ansprache des Verformungswiderstandes von Gussasphalt mit dem dynamischen Eindringversuch mit ebenem Stempel: Weiterentwicklung und Bewertungshintergrund* (Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik [FSS] No 798). Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Strassenbau.
- Service Public de Wallonie, Mobilité & Infrastructures. (2021). *CCT Qualiroutes: Cahier des charges types* (Version 2021 consolidée [et ses adaptations ultérieures]). http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/frame.jsp?index_cctquali.html
- Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer. (2021). *Standaardbestek 250 voor de wegenbouw* (Version 4.1a, chapitre 14). <https://wegenverkeer.be/sites/default/files/uploads/documenten/Hoofdstuk14-4.1a.pdf>