



Évaluation de la durabilité mécanique des mélanges d'enrobés phoniques issus des projets pilotes CRR

Introduction

Vous habitez près d'une route très fréquentée? Il se peut dès lors que vous soyez gêné par le bruit de la circulation. Le bruit de la circulation a des causes multiples. L'une de ces causes est le bruit de roulement des pneus. L'innovation et l'optimisation constantes du processus de production des nouveaux pneus, d'une part, et la mise en œuvre de revêtements routiers plus silencieux grâce à des enrobés bitumineux spécifiques, d'autre part, sont les moyens utilisés pour s'attaquer à ce bruit de roulement. Les enrobés utilisés pour ces revêtements routiers silencieux sont appelés mélanges AGT (enrobés pour couches de roulement à faible niveau de bruit). Les mélanges AGT sont des mélanges généralement caractérisés par une teneur en vides élevée, une granulométrie discontinue et de petit calibre ($D_{max} \leq 6,3 \text{ mm}$). Ces mélanges sont utilisés dans notre pays depuis une dizaine d'années. Il est donc temps d'examiner leur durabilité mécanique.

Applications et planches d'essais

Les mélanges AGT sont principalement prescrits sur les routes très fréquentées situées à proximité immédiate de zones résidentielles. Il s'agit souvent de routes de liaison secondaires, de routes soumises à de fortes charges de trafic, mais ces mélanges sont désormais également utilisés sur les autoroutes. La durabilité de ces mélanges est cruciale pour éviter les dommages prématurés et les perturbations associées lors des réparations.

Dans le cadre de l'étude de durabilité, le CRR a suivi depuis 2012 plusieurs projets pilotes avec des mélanges AGT:

- N19 à Kasterlee (2012): un premier projet pilote (NBN-PN14B06¹) se situait sur la N19 entre Turnhout et Kasterlee. Neuf variantes ont été mises en œuvre par deux entrepreneurs différents, ainsi qu'une section de référence en SMA-10-2 à des fins de comparaison.
- Projet STOLA (Stille TOpLagen voor Antwerpen): pendant ce projet en collaboration avec l'Université d'Anvers (2015), l'application de couches de roulement plus silencieuses en environnement urbain a été étudiée. Cinq variantes réalisées par des entrepreneurs néerlandais et belges ont été mises en œuvre sur deux sites, Wilrijk et Zandvliet (Bergiers et al., 2016).

Essais performantiels

Lors de la mise en œuvre des planches d'essais sur la N19, il n'y avait pas encore de mélanges AGT enregistrés disponibles. Les mélanges proposés par les entrepreneurs ont été soumis à des essais performantiels dans le cadre du projet de recherche. En effet, les premières exigences pour les mélanges AGT sont nées des résultats des essais performantiels des mélanges utilisés sur la N19. Ces exigences ont ensuite permis d'enregistrer les premiers mélanges AGT.

Des essais performantiels ont été réalisés à la fois dans le cadre de l'étude préliminaire et sur des échantillons en vrac prélevés lors de la mise en œuvre des planches d'essais. Cet article présente et discute principalement ces dernières, étant donné qu'elles ont été réalisées sur des mélanges identiques à ceux des planches d'essais.

Les essais performantiels suivants, très importants pour garantir les performances mécaniques des mélanges AGT (voir aussi infra), ont été réalisés:

- essai de plumage;
- pourcentage de vides;
- sensibilité à l'eau (ITSR);
- orniérage;
- adhésion entre les couches.

Lors de la réalisation du projet STOLA, des mélanges enregistrés ont été utilisés, car les exigences étaient déjà applicables à l'époque. Les essais de plumage ont encore été réalisés dans le cadre du projet.

Essai de plumage

Compte tenu de la teneur élevée en vides, de la granulométrie discontinue et de la faible épaisseur de couche, la sensibilité au plumage est une préoccupation particulière pour les mélanges AGT. Pendant la mise en œuvre des planches d'essais, des échantillons en vrac des différentes variantes ont été prélevés, pour les deux projets. Ils ont ensuite été compactés en laboratoire avec le compacteur de plaques (NBN-PN14B06¹).

¹ Projet NBN-PN908-958/14AB06: CONVENTION CCN/NBN/PN14B06: MÉTHODES D'ESSAI EUROPÉENNES POUR MÉLANGES ET LIANTS BITUMINEUX

Deux plaques d'essai par mélange ont été préparées et testées avec l'équipement de type DSD pour évaluer le plumage (*Darmstadt Scuffing Device*) (figure 1). Les essais ont été réalisés à 20 °C. Dans ce contexte, le CRR a d'ailleurs contribué à l'élaboration de la norme européenne EN 12697-52 (NBN, 2017b) en la matière.



Figure 1 – L'équipement de type DSD pour évaluer le plumage au CRR (De Visscher & Vanelstraete, 2015)

La figure 2 montre les résultats des essais de plumage pour les variantes de la N19, ainsi que pour le mélange de référence (REF) de type SMA-10-2. Le graphique récapitulatif de gauche montre une différence spectaculaire entre les variantes AGT A et B, d'une part, et toutes les autres variantes de mélange, d'autre part. Dans le graphique de droite, on a fait abstraction des mélanges A et B pour mieux distinguer les autres variantes.

- Trois des mélanges ne présentent pratiquement aucune perte de matériau (10 g/m² n'est pas significatif): le mélange de référence SMA-10-2 et deux variantes AGT.
- Deux mélanges AGT présentent une sensibilité au plumage manifestement élevée. Les compositions de ces deux variantes présentent de nombreuses similitudes. Ce sont les mélanges qui présentent le pourcentage de vides le plus élevé lors de l'essai giratoire.

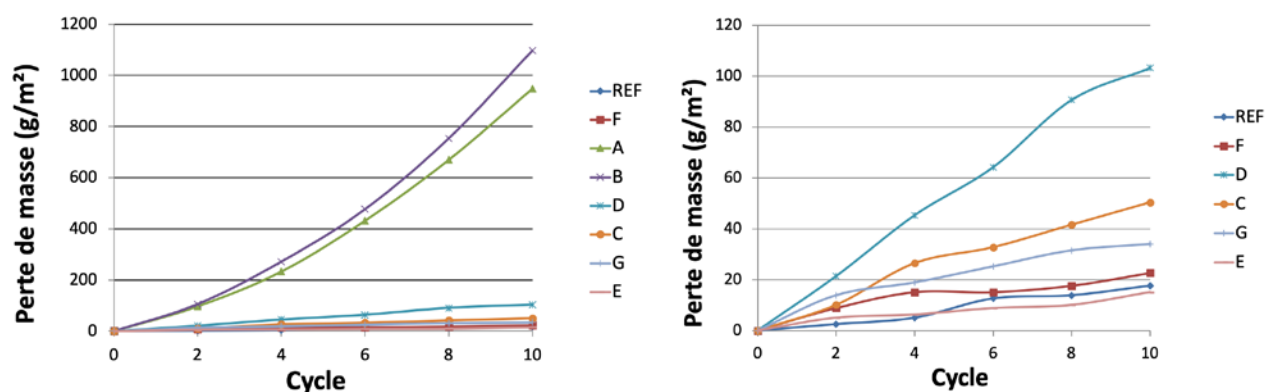


Figure 2 – Résultats des essais de plumage de la N19 (De Visscher & Vanelstraete, 2015)

La figure 3 montre les résultats des essais de plumage pour les mélanges du projet STOLA.

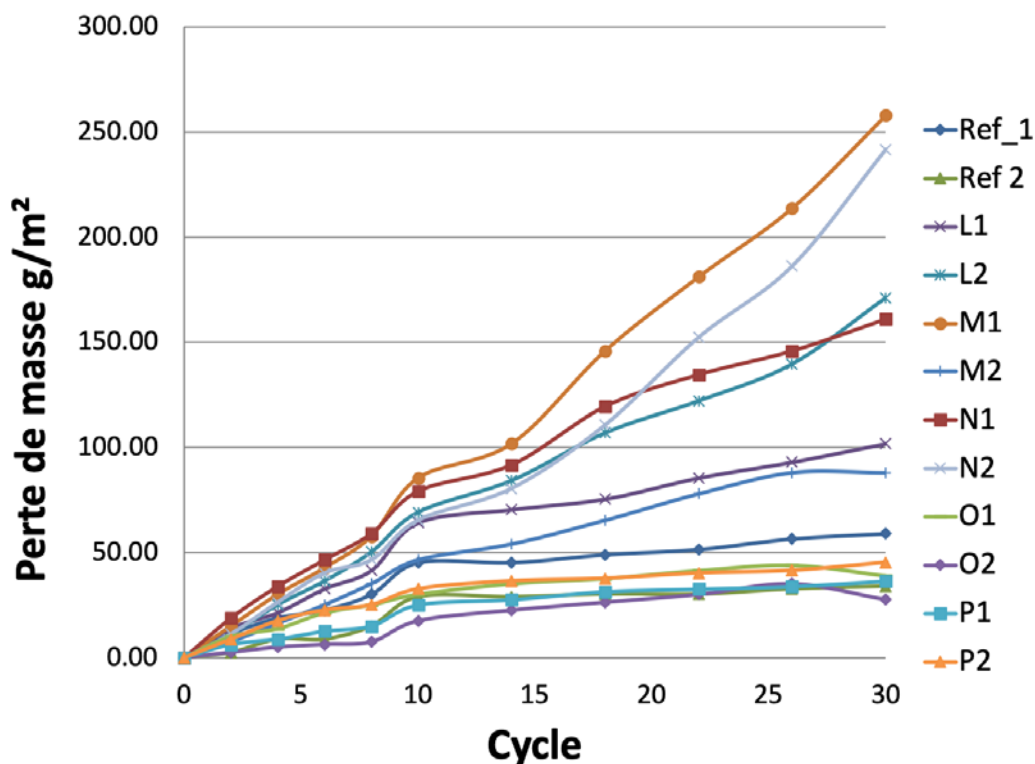


Figure 3 – Résultats des essais de plumage du projet STOLA

En raison de l'application urbaine, où les forces tangentielles intensives sont plus nombreuses que sur une route de liaison traditionnelle, et pour obtenir des résultats plus discriminants, les essais de plumage ont été portés à 30 cycles. La figure 3 montre que tous les mélanges présentent une très bonne résistance au plumage: après 30 cycles, tous les mélanges ont encore une perte de masse inférieure à 300 g/m².

Les mélanges L, M et N présentent une sensibilité au plumage plus importante (100 à 250 g/m² de perte de masse) que les mélanges O, P et le mélange de référence (moins de 50 g/m² de perte de masse).

Pourcentage de vides

La capacité de réduction du bruit des enrobés dépend, entre autres, du pourcentage de vides dans le mélange. Plus il y a de vides, plus le bruit peut être atténué. Cependant, il est important de trouver un optimum entre le pourcentage de vides et le maintien des performances mécaniques, là où les vides ont souvent un impact négatif. Ainsi, un pourcentage trop élevé de vides peut avoir un impact négatif sur la sensibilité à l'eau et au plumage.

Les vides dans les mélanges ont été déterminés à l'aide d'un compacteur giratoire conformément à la norme EN 12697-31 (NBN, 2019). La figure 4 montre les pourcentages de vides déterminés sur les échantillons en vrac, prélevés lors de l'exécution des planches d'essais sur la N19 à Kasterlee, recompressés jusqu'à 60 girations.

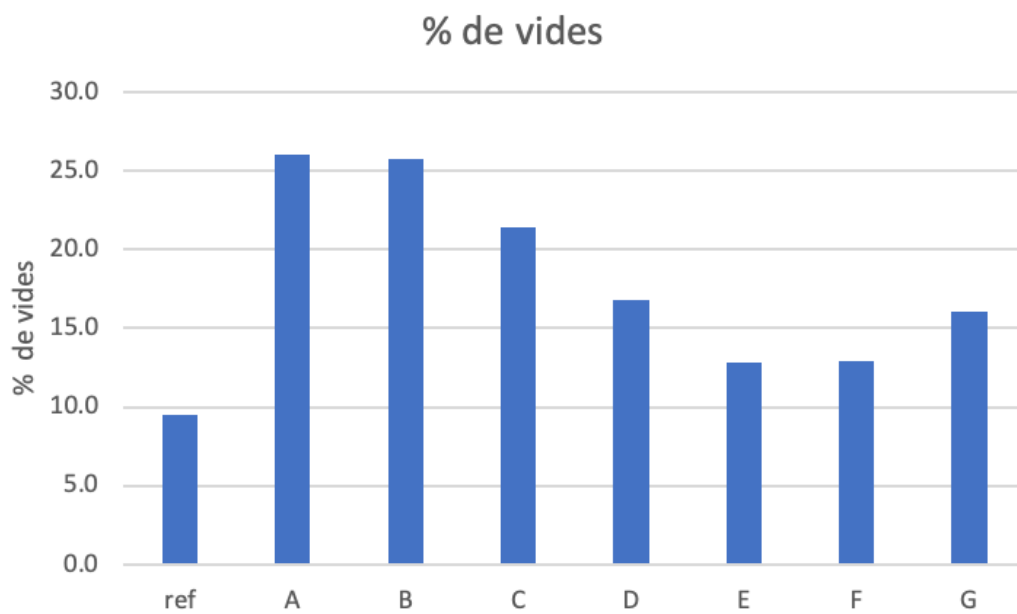


Figure 4 - Pourcentage de vides après 60 girations pour les mélanges sur la N19

La figure 4 présente des vides allant de 13 % à 26 % pour les mélanges AGT et de 9,5 % pour le mélange de référence. Les vides les plus élevés sont observés pour les mélanges A, B et C.

Sensibilité à l'eau (ITSR)

La sensibilité à l'eau des différents mélanges AGT de la N19 a été déterminée conformément à la norme NBN EN 12697-12 (NBN, 2018) en utilisant l'essai de traction indirecte à 15 °C conformément à la norme NBN EN 12697-23 (NBN, 2017a). Le rapport entre la résistance à la traction indirecte d'éprouvettes cylindriques conditionnées (dans un bain d'eau à 40 °C pendant 72 h) et non conditionnées, exprimé en pourcentage, est une mesure de la sensibilité à l'eau (*Indirect Tensile Strength Ratio* ou ITS-R).

La sensibilité à l'eau a été déterminée à la division Wegenbouwkunde de l'AWV (*Agentschap Wegen en Verkeer*) sur des mélanges de laboratoire avec les composants fournis par les entrepreneurs. Il s'agit d'une pratique courante pour les études préliminaires.

Le tableau 1 présente les résultats.

Code	ITS-R (%)
réf.	88
A	89
B	91
C	76
D	88
E	92
F	69
G	84

Tableau 1 - Résultats ITS-R (N19) (source des données: AWV)

Toutes les variantes (sauf la F) présentent une bonne résistance à la sensibilité à l'eau. Malgré les pourcentages élevés de vides dans les variantes A et B, les deux mélanges obtiennent de très bons résultats en termes de sensibilité à l'eau. Le mélange F donne une valeur relativement faible. Lors de l'analyse du mélange F, on a observé un écart de plus de 5 % passant au tamis de 2 mm entre les matériaux fournis et ceux prélevés sur chantier. Cela pourrait être une explication. En outre, les mélanges AGT sont des couches très fines difficiles à tester.

Orniérage

Aucun problème d'orniérage n'est à prévoir sur ces planches d'essais, puisqu'il s'agit de couches minces avec un squelette pierreux. Dans le cadre de l'étude préliminaire, des essais d'orniérage ont été réalisés selon la norme NBN EN 12697-22 (NBN, 2020), à l'AWV (wegenbouwkunde), sur des plaques d'essai confectionnées avec les composants fournis par les entrepreneurs. À titre d'information, les résultats des essais d'orniérage sont présentés à la figure 5.

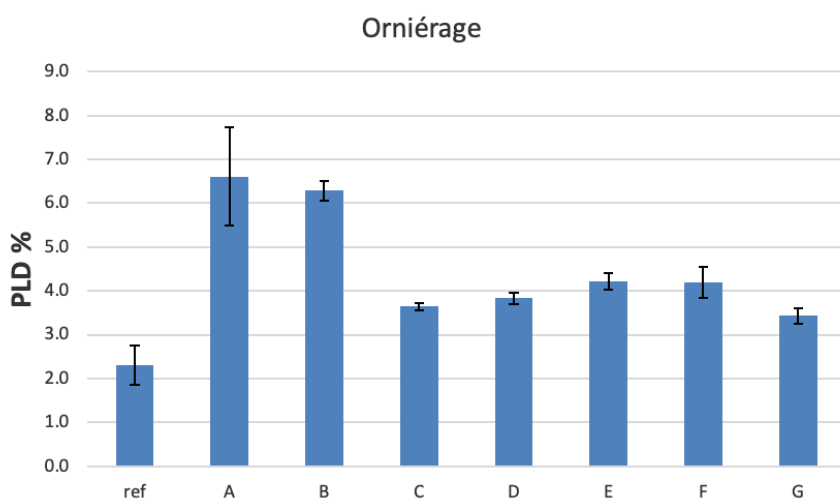


Figure 5 – Résultats orniérage N19 (source des données: AWV)

Adhésion entre les différentes couches

Compte tenu de la faible épaisseur des couches AGT, une bonne adhésion avec la sous-couche est primordiale. Après l'exécution des planches d'essais, des carottes ont été prélevées afin de déterminer l'adhésion entre la couche de roulement et la sous-couche. L'adhésion a été déterminée à l'aide de l'essai de cisaillement et de la résistance à la traction directe (tous deux conformément à la norme NBN EN 12697-48 (NBN, 2021)). La figure 6 montre les résultats des essais d'adhésion pour les éprouvettes prélevées sur la N19.

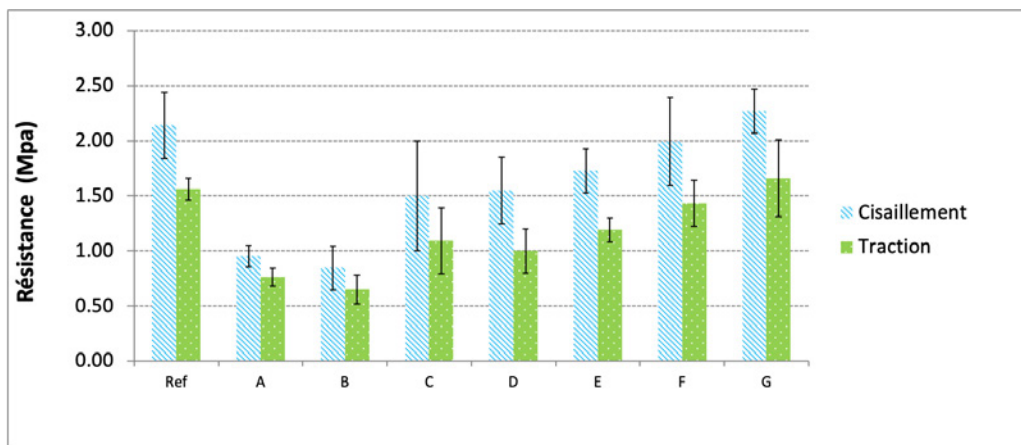


Figure 6 – Résultats des essais d'adhésion (N19)(adapté de Bergiers et al., 2014)

Actuellement, il n'existe pas de spécifications belges concernant la résistance minimale au cisaillement à atteindre pour obtenir une bonne adhésion entre les couches de revêtement soumises à l'action directe du trafic. Nos interprétations (tableau 2) s'appuient sur les spécifications allemandes (Schellenberger et al., 2003) et suisses (Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute [VSS], 2013).

Référence bibliographique	Résistance moyenne minimale au cisaillement en MPa (force en kN)	
	Couche de roulement / Sous-couche	Sous-couche / Sous-couche
(Schellenberger et al., 2003; VSS, 2013)	0,85 (15)	0,68 (12)

Tableau 1 – Spécifications allemandes (Schellenberger et al., 2003) et suisses (VSS, 2013) pour la résistance moyenne minimale au cisaillement

Toutefois, ces valeurs sont critiquées et certains auteurs, dont le CRR, ont formulé de nouvelles recommandations pour des valeurs plus élevées sur la base de leur expérience et de leurs recherches (tableau 3).

Référence bibliographique	Résistance moyenne minimale au cisaillement en MPa (force en kN)	
	Couche de roulement / Sous-couche	Sous-couche / Sous-couche
(Stöckert, 2002)	1,41 (25)	1,13 (20)
(Raab & Partl, 1999)	1,3 (23)	-
(Destrée et al., 2016)	1,3 (23)	1,1 (20)

Tableau 2 – Recommandations allemandes (Stöckert, 2002), suisses (Raab & Partl, 1999) et belges (Destrée et al., 2016) pour la résistance moyenne minimale au cisaillement

La figure 6 montre que toutes les valeurs de cisaillement sont supérieures aux recommandations du tableau 3, sauf pour les mélanges A et B, qui présentent des valeurs nettement inférieures aux autres mélanges. Ceci peut s'expliquer par les mauvaises conditions météorologiques lors de la mise en œuvre de ces deux mélanges.

Comme il découle de la comparaison des autres planches d'essais, la couche de collage contribue également à déterminer l'adhésion. Pour les variantes F et G, on a utilisé une couche de collage modifiée par des polymères, tandis que pour les autres variantes on a utilisé une couche de collage classique (à base de bitume routier). Les mélanges E et F avaient une composition similaire; seule la couche de collage était différente. Vu la marge d'erreur de l'essai, la différence ne peut pas être considérée comme significative.

Mise en œuvre des planches d'essais

On dit parfois qu'un produit ne vaut que par la façon dont il est fabriqué ou placé. Cette affirmation s'applique certainement aussi aux enrobés bitumineux. Un mélange peut être très bien formulé et répondre à toutes les exigences de l'étude préliminaire et pourtant proposer des performances inférieures. Cela peut s'expliquer par des écarts dans le processus de production ou des irrégularités lors de la mise en œuvre.

Des irrégularités dans le processus de production peuvent entraîner des écarts par rapport à la composition optimale. Cela entraîne à son tour des changements dans les caractéristiques intrinsèques du mélange, qui se comporte alors différemment de ce qui avait été envisagé lors de l'étude préliminaire. Pour les deux projets, aucune anomalie significative n'a été observée dans les échantillons en vrac.

Mise en œuvre de planches d'essais sur la N19

Lors de la mise en œuvre des planches d'essais sur la N19, les conditions météorologiques n'ont pas toujours été idéales. En effet, il a beaucoup plu pendant la mise en œuvre de la planche d'essais B (figure 7).



Figure 7 – Pluie pendant la mise en œuvre de la planche d'essais B sur la N19

L'eau a eu un impact sur les performances du mélange. Les résultats des essais d'adhésion étaient moins bons (figure 6) et du plumage est aussi apparu très rapidement. Pour la mise en œuvre de la planche d'essais C, la majeure partie de l'eau a été enlevée à l'aide d'un camion-brosse. Cela a provoqué un retard important, obligeant les camions à attendre plus longtemps sur le chantier. Lors de la mise en œuvre de la planche d'essais C également, un compacteur s'est retrouvé sans eau, ce qui a eu pour effet que l'enrobé est resté collé aux cylindres. Le compacteur devant être ravitaillé en eau, il a été indisponible pendant un certain temps.

Pour les autres planches d'essais, la mise en œuvre s'est déroulée sans problème majeur. La température de l'air était de 15 °C à 20 °C selon le moment de la journée et le vent était léger à modéré.

Mise en œuvre de planches d'essais du projet STOLA

Les planches d'essais ont été posées au début du mois d'octobre, alors que les nuits sont déjà plus fraîches et que la température descend en dessous de 10 °C. Par conséquent, la pose a dû commencer le matin sur une surface relativement froide de 10 à 12 °C, tandis que l'après-midi, la pose s'est déroulée à 22 °C. Lors de la mise en œuvre, les mêmes mélanges ont été posés sur les deux sites le même jour. Chaque entrepreneur a posé les planches d'essais à Wilrijk le matin et à Zandvliet l'après-midi.

Les mélanges AGT sont des couches minces de 25 à 30 mm et sont très sensibles aux conditions pendant l'exécution. La température, la pluie et le vent sont des facteurs qui exercent une grande influence. En raison de leur épaisseur limitée, les couches d'AGT refroidissent très rapidement et le délai pour compacter l'enrobé est très court. Pendant l'exécution, la température derrière le finisseur a été surveillée en permanence à l'aide d'une caméra thermique infrarouge. Les mesures de la vitesse de refroidissement à l'aide de thermocouples intégrés ont montré que la fenêtre de compactage dans des conditions normales peut être limitée à seulement 7 minutes au lieu de 15 à 20 minutes. Les températures ambiantes étaient respectivement de 12 °C le matin et de 22 °C l'après-midi. Les effets d'un enrobé mis en œuvre trop à froid ou qui n'est pas compacté assez rapidement sont visibles à très court terme.

Dans la planche d'essais P (à Wilrijk), l'enrobé a été mis en œuvre trop froid dans une zone locale et il se peut par conséquent que cet enrobé n'ait pas été suffisamment compacté. Cette zone présentait déjà un plumage important peu après la mise en œuvre (figures 8 et 9).

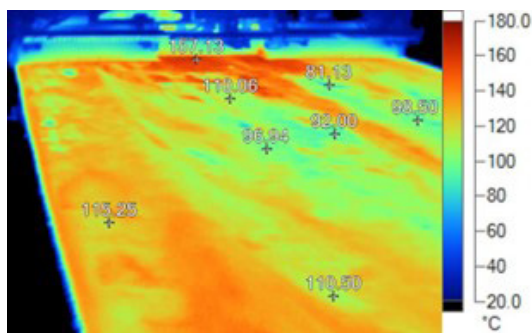


Figure 8 – Image IR de l'enrobé dans la planche d'essais P qui est trop froid pendant la mise en œuvre



Figure 9 – Plumage important à l'endroit où l'enrobé était trop froid pendant la mise en œuvre

La mise en œuvre des autres planches d'essais s'est déroulée sans problème ni incident notable.

Suivi des performances mécaniques des planches d'essais

Toutes les planches d'essais construites ont fait l'objet d'une inspection visuelle annuelle, et ce pendant dix ans pour la N19 et huit ans pour le projet STOLA, afin de contrôler les performances mécaniques. Lors de l'inspection de chaque section, une attention particulière est accordée aux dégradations typiques tels que le plumage et la délamination des couches.

Planches d'essais N19

Lors des inspections des planches d'essais sur la N19, il a été constaté que les planches d'essais avec les mélanges A, B et C présentaient très tôt (1 an après la mise en œuvre) du plumage dans plusieurs zones (figure 10). C'est surtout au niveau des voies de présélection, où le trafic exerce des forces de cisaillement latérales, que les dégradations sont les plus importantes.

Pour les mélanges A et B, ceci est cohérent avec les essais de plumage, qui ont également montré que les mélanges A et B étaient beaucoup plus sensibles au plumage que les autres mélanges. Comme nous l'avons vu plus haut, les fortes précipitations qui se sont abattues sur le pays pendant l'exécution du mélange B ont également affecté les performances du mélange. Les résultats des essais d'adhésion étaient moins bons (figure 6) et du plumage est aussi apparu très rapidement. Pour la variante C, un lien peut également être établi entre le plumage prématuré et la pluie qui est tombée lors de la mise en œuvre, comme cité ci-dessus. Les planches d'essais D, E, F et G ont obtenu de très bons résultats en termes de plumage, ce qui est également cohérent avec les essais de plumage. Une bonne corrélation a donc pu être établie entre les essais de plumage sur les mélanges et leurs performances mécaniques en ce qui concerne le plumage sur la route.



Figure 10 – Transition de la planche d'essais A à la B avec plumage sévère dans les deux mélanges



Figure 11 - Planche d'essais F en très bon état dix ans après sa mise en œuvre

La faible valeur ITS-R pour la variante F n'était pas visible dans les performances sur la route. Dix ans après la mise en œuvre, aucun plumage dû aux conditions climatiques n'a pu être détecté sur la planche d'essais avec la variante F (figure 11).

En 2018, les planches d'essais A, B et C ont été remplacées en raison du nombre important de dégradations de surface.

Du reste, aucune autre indication d'une mauvaise adhésion entre les couches n'a été trouvée.

Planches d'essais STOLA

Les planches d'essais mises en œuvre dans le cadre du projet STOLA ont également été inspectées chaque année. Les mélanges O et P à Wilrijk sont nettement plus dégradés que les autres sections à Wilrijk et Zandvliet (figures 12, 13 et 14).



Figure 12 - Planche d'essais O à Wilrijk présentant un plumage important après un an



Figure 13 - Planche d'essais P à Wilrijk présentant un plumage important après un an



Figure 14 - Planche d'essais P à Zandvliet ne présentant aucun plumage après six ans

Cela contredit les résultats des essais de plumage effectués sur les différents mélanges et les résultats obtenus à Zandvliet où les mélanges O et P ont donné de bons résultats. Ces deux mélanges ont également été inclus dans le projet sur la N19 (mélanges D et E), où ils ont donné d'excellents résultats. Les conditions lors de la mise en œuvre et de l'exécution même, qui étaient différentes pour les deux projets, se sont avérées cruciales pour la durabilité de la route construite. Les mélanges O et P ont été posés à Wilrijk à une température ambiante de 12 °C contre 22 °C à Zandvliet. Sur la N19, les mélanges D et E ont été mis en œuvre à une température de 15

à 20 °C. En outre, dans la planche d'essais P (Wilrijk), une zone a été posée où l'enrobé a été appliqué à une température trop basse (figure 8). Cette zone correspond exactement à la zone de plumage sévère observé lors des inspections visuelles (figure 9).

Sur la base des inspections visuelles, on peut également noter que, en environnement urbain, de nombreux dommages localisés sont causés par des facteurs externes tels que:

- les dommages dus aux impacts;
- les dommages causés par les travaux aux habitations;
- les travaux d'utilité publique;
- les camions de déménagement et la pose de conteneurs.

La plupart des phénomènes de plumage se produisent dans des zones soumises à des forces tangentielles importantes. Ces forces tangentielles se produisent dans des zones d'accélération et de décélération fréquentes des véhicules (y compris les autobus), dans les virages vers les rues secondaires, dans les zones de manœuvre à l'intérieur et autour des places de parking et aux points d'inflexion dans une rue. Il s'agit de conditions fréquentes en environnement urbain. Par conséquent, l'application de ce type de mélanges en environnement urbain devra être soigneusement réfléchi.



Figure 15 - Dommages causés par les travaux

Conclusions

- Les mélanges AGT ont une excellente durabilité lorsqu'ils sont posés avec soin.
- Les mélanges AGT sont très sensibles aux conditions de mise en œuvre. La température et le vent exercent beaucoup plus d'influence sur le comportement de refroidissement et, par conséquent, sur la fenêtre de compactage.
- L'impact des mauvaises conditions de mise en œuvre se manifeste peu de temps après la mise en œuvre. Les dégradations, principalement sous forme de plumage, apparaissent dans les six mois suivant la mise en œuvre et augmentent rapidement avec le temps.
- L'essai de plumage est un bon indicateur de la durabilité pour ce qui est du plumage des mélanges AGT. Les performances sur route correspondent bien aux résultats de cet essai, dans la mesure où aucune dégradation liée à la mise en œuvre ne s'est produite.
- L'essai ITS-R semble moins adapté comme indicateur de la performance mécanique des mélanges AGT, comme on s'y attendait initialement lorsqu'on a cherché un essai plus adapté au plumage.

Recommandations

L'utilisation de mélanges AGT doit toujours être bien réfléchi. Au cours de la phase préparatoire, les avantages et les inconvénients de l'application sont considérés. L'utilisation du bon mélange dans les bonnes conditions et au bon endroit est cruciale pour la durabilité. A cet effet, nous nous référons à nos codes de bonne pratique CRR R102 (CRR, 2020) et R96 (CRR, 2018).

Compte tenu de la teneur élevée en vides, de la granulométrie discontinue et de la faible épaisseur de couche, la sensibilité au plumage est une préoccupation particulière. La résistance au plumage est donc évaluée au stade de l'étude préliminaire par l'essai de plumage.

Pour les mélanges AGT, une exécution correcte est cruciale. Pour une bonne durabilité, il est recommandé de porter une attention particulière aux points suivants:

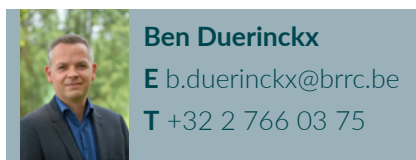
- **Température:** la température du mélange à la réception doit être suffisamment élevée. Les mélanges AGT sont posés en couches très fines et refroidissent donc très rapidement. Lorsque l'enrobé est livré trop froid ou à la limite inférieure, la fenêtre de compactage (le temps disponible pour compacter l'enrobé avant que la température ne soit trop basse) devient très vite très petite et se limite à quelques minutes. Il en va de même pour la température ambiante et celle du support. Ceci est particulièrement important au début (printemps) et à la fin (automne) de la saison d'asphaltage. En raison des nuits froides de cette période, le support est très froid, ce qui a un impact direct sur le temps de refroidissement des fines couches d'AGT. Même si la température ambiante reste basse, il faut en tenir compte lors de la pose.
- **Autres conditions météorologiques:** le vent et les précipitations exercent également une grande influence. Le vent accélère le refroidissement de la couche mince et réduit en outre la fenêtre de compactage. Il convient toujours d'éviter de mettre en œuvre les mélanges AGT en cas de précipitations. La présence d'eau à la surface affecte l'adhésion entre les couches. La pose de mélanges AGT par temps de pluie est fortement déconseillée.

- **Couche de collage:** une bonne adhésion à la couche sous-jacente est importante. L'application homogène d'une couche de collage appropriée est nécessaire. La couche de collage doit de préférence être placée bien à l'avance afin qu'elle puisse rompre complètement. La couche de collage doit être protégée de tout trafic inutile. Il est recommandé d'utiliser une variante anti-adhérente ou du lait de chaux pour protéger la couche de collage de l'impact de la circulation sur le chantier pendant la pose de l'AGT.

Au chapitre 7 du code de bonne pratique R96 (CRR, 2020), vous trouverez une vue d'ensemble de tous les points d'intérêt particuliers avec des explications détaillées pour la mise en œuvre des mélanges bitumineux.

Lorsqu'un mélange AGT doit encore être posé dans des conditions moins favorables (température ambiante basse ou vent fort), il est recommandé d'ajuster la vitesse d'exécution. En ajustant mieux la vitesse du finisseur aux compacteurs, ces derniers pourront suivre la machine de plus près. De cette manière, les compacteurs feront des bandes moins longues, ce qui leur permettra de se déplacer plus rapidement sur toute la largeur de mise en œuvre. De cette manière, l'enrobé pourra être entièrement compacté, avec suffisamment de passages de rouleaux, dans la fenêtre de compactage limitée.

Le suivi détaillé des différents projets pilotes avec les mélanges AGT pendant la phase de mise en œuvre et les années de suivi des performances des variantes ont permis au CRR de recueillir beaucoup de données et d'expériences qui ont été incorporées dans nos codes de bonne pratique et dans les cahiers des charges types. Elles ont été diffusées au secteur par le biais de formations.



Bibliographie

Association Suisse des Professionnels de la Route et des Transports (VSS). (2013). *Enrobés bitumineux compactés: Conception, exécution et exigences relatives aux couches en place* (SN 640 430).

Bergiers, A., De Visscher, J., Denolf, K., Destrée, A., Vanhooreweder, B. & Vuye, C. (2014, November 16-19). Test sections to study the acoustical quality and durability of thin noise reducing asphalt layers. In J. Davy, C. Don, T. McMinn, L. Dowsett, N. Broner & M. Burgess (Eds.), *Improving the world through noise control: Proceedings of the 43rd international congress on noise control engineering (Internoise 2014), Melbourne, Australia*. Australian Acoustical Society, International Institute of Noise Control Engineering (I-INCE). http://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/INTERNOISE2014/papers/p447.pdf

Bergiers, A., Duerinckx, B. & Maeck, J. (2016). *Couches bitumineuses minces et silencieuses en milieu urbain: Projet pilote à Anvers*. Bulletin CRR, (107), 4-6.

- Bureau de Normalisation (NBN). (2017a). *Mélanges bitumineux: Méthode d'essai. Partie 23: Détermination de la résistance à la traction indirecte des éprouvettes bitumineuses* (NBN EN 1697-23). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=225529&p40_language_code=fr&p40_detail_id=120755&session=3190667399917
- Bureau de Normalisation (NBN). (2017b). *Mélanges bitumineux: Méthodes d'essai. Partie 52: Conditionnement pour l'obtention d'un vieillissement par oxydation* (NBN EN 12697-52). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=220738&p40_language_code=fr&p40_detail_id=82864&session=3190667399917
- Bureau de Normalisation (NBN). (2018). *Mélanges bitumineux: Méthodes d'essai. Partie 12: Détermination de la sensibilité à l'eau des éprouvettes bitumineuses* (NBN EN 12697-12). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=228062&p40_language_code=fr&p40_detail_id=85691&session=3190667399917
- Bureau de Normalisation (NBN). (2019). *Mélanges bitumineux: Méthodes d'essai. Partie 31: Confection d'éprouvettes à la presse à compactage giratoire* (NBN EN 12697-31). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=223556&p40_language_code=fr&p40_detail_id=88494&session=3190667399917
- Bureau de Normalisation (NBN). (2019+2022). *Mélanges bitumineux: Méthodes d'essai. Partie 33: Préparation de corps d'épreuve au compacteur de plaque* (NBN EN 12697-33+A1). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=358550&p40_language_code=fr&p40_detail_id=121915&session=3190667399917
- Bureau de Normalisation (NBN). (2020). *Mélanges bitumineux: Méthodes d'essai. Partie 22: Essai d'orniérage* (NBN EN 12697-22). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=223758&p40_language_code=fr&p40_detail_id=92536&session=3190667399917
- Bureau de Normalisation (NBN). (2021). *Mélanges bitumineux: Méthodes d'essai. Partie 48: Collage entre couches* (NBN EN 12697-48). https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=203454&p40_language_code=fr&p40_detail_id=97880&session=3190667399917
- Centre de Recherches Routières (CRR). (2018). *Code de bonne pratique pour la mise en œuvre des enrobés bitumineux* (Recommandations CRR No. R 96). <https://brrc.be/fr/expertise/expertise-apercu/code-bonne-pratique-mise-oeuvre-revetements-bitumineux>
- Centre de Recherches Routières (CRR). (2020). *Code de bonne pratique pour le choix du revêtement bitumineux lors de la conception ou de l'entretien des chaussées* (Recommandations CRR No. R 102). <https://brrc.be/fr/expertise/expertise-apercu/code-bonne-pratique-choix-du-revetement-bitumineux-lors-conception-ou>
- Destrée, A., De Visscher, J. & Vanelstraete, A. (2016, juni 1-3). Field study to evaluate different pre-normative interlayer adhesion tests. In *Proceedings of the 6th Eurasphalt & Eurobitume congress, Prague, Czech Republic*. Eurasphalt, Czech Technical University.

- De Visscher, J. & Vanelstraete, A. (2015, October 7-9). A new performance tests for resistance to ravelling by traffic: Laboratory and field experience in Belgium. In F. Canestrari & M.N. Partl (Eds.), *8th international symposium on testing and characterization of sustainable and innovative bituminous materials (RILEM SIB2015), Ancona, Italy* (RILEM Bookseries No. 11). Springer Verlag, International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (RILEM). https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-7342-3_63
- Raab, C. & Partl, M.N. (1999). *Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds von Asphaltbelägen* (Rapport OFROU No. 442). Office Fédéral des Routes (OFROU), Département Fédéral de l'Environnement, des Transports, de l'Energie et de la Communication (DETEC).
- Schellenberger, Bischof, Geipel, Glet, Grätz, Graf, Hager, Ohler, Pohlent, Randerath, Renken, Schellenberger, Schmidt, Steinmetz & Zopf. (2003). *Arbeitsanleitungen zur Prüfung von Asphalt: ALP A-StB. Teil 9: Bestimmung der Haftzugfestigkeit von Dünnen Schichten im Heiss- und Kalteinbau* (FGSV No. 787/9). Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV).
- Stöckert, U. (2002). *Ein Beitrag zur Festlegung von Grenzwerten für den Schichtenverbund im Asphaltstrassenbau*. Technische Universität Darmstadt, Fachbereich 13 Bauingenieurwesen und Geodäsie, Institut für Verkehr, Fachgebiet Strassenwesen mit Versuchsanstalt. <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/210/>