



Centre de recherches routières
Ensemble pour des routes durables

Bulletin CRR

125

Innovaders in Concrete

2

Le Bulletin CRR fait peau neuve!

3

BRAC News

Cycle de formation CRR 2021
Way ahead for sustainable roads

3

L'étude d'impact environnemental via TOTEM
s'élargit à la construction routière

8

*Connected & autonomous vehicles et
infrastructure routière – état des lieux et
prospective*

11

Licences PradoWeb

15

BeP2S (*Better Performing Slurry Surfacing*):
quatre années de recherche qui portent
leurs fruits

16

Digital Workshops – Avancez sur l'autoroute
numérique!

22

Le CRR mesure la déflexion des routes

23

Le CRR et l'AWV testent ensemble
des diffracteurs sur un écran bas
le long de la N445 à Zele

26

Le CRR analyse la performance et la
durabilité de coussins berlinois en
caoutchouc à Bruxelles

28

Une nouvelle publication CRR est
maintenant disponible!
Méthode pour représenter et mesurer la
couleur des chantiers d'enrobés colorés

31

ABRNews

Report du 24^e Congrès belge de la Route
Nouvelles dates: du 4 au 7 avril 2022, Campus Gasthuisberg, KULeuven, Louvain

32

Bulletin CRR

125



www.linkedin.com/company/brrc



www.youtube.com/c/BrrcBe

Innovaders in Concrete à la 40^e édition du Concrete Day

Le 22 octobre 2020, le Groupement belge du béton (GBB) a organisé la **40^e édition du Concrete Day**, l'événement annuel pour les professionnels du béton. Cette année, il a pris la forme d'un événement numérique d'une heure et demie assorti de différents workshops.

Workshop Innovaders in Concrete

Le CRR, le CRIC et le CSTC y ont participé en tant qu'*Innovaders in Concrete*, mettant en avant l'importance de la recherche collective. Pendant ce workshop commun, chaque centre a également présenté un ou plusieurs projets de recherche propre ou collective.

Elia Boonen, chercheur au CRR, y aborde plusieurs projets CRR:

- **Be-Drain**, un projet en collaboration avec le CRIC et ayant un objectif normatif double: des directives techniques (complémentaires), des caractéristiques performantielles et des méthodes d'essai pour le béton poreux. D'une part, pour une utilisation en tant que matériau de fondation dans la chaussée et, d'autre part, en tant que revêtement même (= couche de roulement);
- **Gelavia**, un projet de recherche récemment clôturé sur la résistance aux cycles de gel-dégel en présence de sels de déverglaçage du béton routier pour lequel le CRR a collaboré avec le CSTC et le CRIC;
- plusieurs projets relatifs au **recyclage en construction routière**.

Pour revoir le workshop *Innovaders in Concrete*:
www.crr.be/evnement/concreteday

Agenda

2 février 2021

Webinaire Post Abu Dhabi
www.abr-bwv.be

20 mai 2021

Journée de l'Espace public
Bruxelles
<https://openbareruimte.be/fr/home>

17-18 juin 2021

Salon des mandataires
Marche-en-Famenne
<http://municipalia.be>

12 octobre 2021

Symposium SilentRoads
Sterrebeek
<https://brrc.be/fr/formation/aperçu-formation/nouvelle-date-symposium-silentroads-2021-bruit-routier>

14 octobre 2021

Concrete day
Brabant
Louvain

4-7 avril 2022

Congrès belge de la Route
Louvain
www.abr-bwv.be

2022 (date à confirmer)

Asphalt & Bitumen Day
Bruxelles
<https://www.eurobitume.eu/fr/evnements/prochainement/>

Le Bulletin CRR fait peau neuve!

125 est un joli nombre sur lequel clôturer notre série de Bulletins CRR en version papier.

Cet exemplaire est en effet le dernier numéro à vous parvenir par la poste: à partir de mars 2021, nous passerons à l'envoi d'une **newsletter électronique** trimestrielle.

En effet, et comme vous le savez probablement déjà, la **numérisation, la durabilité et le service direct** sont nos forces motrices.

Souhaitez-vous rester au courant de nos projets de recherche innovants, de nos publications, de nos formations, de nos journées d'étude, de nos workshops et autres événements lors desquels nous

pouvons nous rencontrer et partager nos connaissances, nos informations et nos expériences pour **renforcer ensemble la construction routière?**

Confirmez-nous votre intérêt pour nos communications ainsi que vos coordonnées **en remplissant le formulaire** que vous trouverez sur la page d'accueil de notre site web: **www.crr.be**.

N'hésitez pas à partager cette information avec vos collaborateurs, collègues ou relations professionnelles qui pourraient être intéressé(e)s par notre newsletter.

Nous vous souhaitons une bonne lecture de ce dernier numéro papier et vous donnons rendez-vous en ligne au printemps!



Cycle de formation CRR 2021 Way ahead for sustainable roads

Après plus de quinze ans, notre cycle de formation triennal en période hivernale, organisé au début de chaque année, est désormais devenu une tradition dans le paysage de la construction routière.

Nous souhaitons perpétuer cette tradition, mais nous voulons aussi évoluer et innover pour contribuer à enrichir les connaissances des acteurs sur le terrain de la meilleure façon qui soit.

C'est pourquoi nous conservons la formule de **cycle triennal** sur les routes durables:

- **2021 – Choix des matériaux et solutions;**
- 2022 – Production, exécution et contrôle;
- 2023 – Entretien et réparations;

et **quatre thèmes**:

- Routes en béton;
- Chaussées asphaltiques et autres applications bitumineuses;
- Traitement de sols;

- Eléments clés pour la conception de pistes cyclables et cheminements piétons de qualité.

Pour chaque thème, nous organisons **deux sessions sous la forme d'un webinaire et réparties sur les mois de mars, avril, mai et juin**, chaque fois **en français et en néerlandais** séparément:

- une première session **avec un rafraîchissement et une mise à jour des connaissances de base;**
- une deuxième session **pour approfondir les connaissances** sur le thème.

Notez déjà les dates dans votre agenda! Nous nous réjouissons de votre participation à notre cycle de formation dans son nouveau format.

Informations pratiques

- Sessions en ligne, chaque fois en NL et en FR, via Teams Live Event.
- Participation par thème (deux sessions).

- 80,00 € membres (hors 21 % TVA).
- 130,00 € non-membres (hors 21 % TVA).

Les membres CRR sont les entrepreneurs ressortissants, l'ensemble des gestionnaires routiers et les membres adhérents.

- Inscription via notre site web <https://brrc.be/fr/formation/apercu-formation/way-ahead-sustainable-roads-2021>
- Vous recevez le lien de participation le jour avant la session.
- Certificat de participation sur demande.

Questions?

Belgian Road Academy
+32 2 766 03 55
training@brrc.be

* Programme sous réserve de modifications



THÈME 1

Routes en béton

Session Connaissances de base 9 mars 2021 – 13h30 - 16h
Accueil <i>Elia Boonen</i>
Conception et choix du type de revêtement (en béton) <i>Anne Beeldens (AB-Roads)</i>
Conception des routes en dalles de béton <i>Sylvie Smets</i>
PAUSE
Conception des routes en béton armé continu <i>Sylvie Smets</i>
Schéma d'implantation des joints et des armatures: une nécessité dès la conception <i>Luc Rens (Febelcem)</i>

Session Connaissances approfondies 25 mars 2021 – 13h30 - 16h
Accueil <i>Elia Boonen</i>
Composition optimale pour un béton routier durable <i>Claude Ployaert (Inter-Beton)</i>
Prescription du béton routier <i>Claude Ployaert (Inter-Beton)</i>
PAUSE
Conception durable des voies de bus (tram) et des pistes cyclables <i>Anne Beeldens (AB-Roads)</i>
Autres applications spéciales en béton: ronds-points, revêtements bicouches et revêtements industriels extérieurs <i>Sylvie Smets</i>



THÈME 2

Chaussées asphaltiques et applications bitumineuses

Session Connaissances de base

1^{er} avril 2021 - 9h30 - 12h

Accueil

Ann Vanelstraete

Structure d'une chaussée asphaltique

Eric Van den Kerkhof

Charges de trafic d'une chaussée

Bart Beaumesnil

Familles d'enrobés

Joëlle De Visscher

Bitume: rôle et caractéristiques de base

Nathalie Piérard

Choix des granulats

Stefan Vansteenkiste

PAUSE

Types d'enrobés courants et choix par défaut

Bart Beaumesnil

Comment utiliser le code de bonne pratique?

Eric Van den Kerkhof

Session Connaissances approfondies

22 avril 2021 – 9h30 - 12h

Accueil

Ann Vanelstraete

Les différentes performances et leur lien avec la composition de l'enrobé – partie 1

Eric Van den Kerkhof

Les différentes performances et leur lien avec la composition de l'enrobé – partie 2

Bart Beaumesnil

PAUSE

Facteurs qui influencent le choix – partie 1

Eric Van den Kerkhof

Facteurs qui influencent le choix – partie 2

Bart Beaumesnil

Quel type d'enrobé pour quelle application

Eric Van den Kerkhof



THÈME 3

Traitement de sols

Session Connaissances de base 6 mai 2021 – 13h30 - 16h
Accueil <i>Colette Grégoire</i>
Chaux, retours pratiques et liens avec CTT, normalisation européenne et guide EULA <i>Thierry Vanmol (Fediex)</i>
Ciment et liants hydrauliques routiers, retours pratiques et liens avec CCT <i>Luc Rens (Febelcem)</i>
PAUSE
Etudes de formulation en laboratoire <i>Colette Grégoire</i>

Session Connaissances approfondies 20 mai 2021 – 13h30 - 16h
Accueil <i>Colette Grégoire</i>
Exécution et contrôles <i>Frank Theys</i>
PAUSE
Retour d'expériences d'un entrepreneur (traitement à la chaux) <i>Orateur à confirmer</i>
Retour d'expériences d'un entrepreneur (traitement au ciment et aux LHR) <i>Orateur à confirmer</i>



THÈME 4

Éléments clés pour la conception de pistes cyclables et cheminements piétons de qualité

Session Connaissances de base

8 juin 2021 – 9h30 - 12h

Accueil

Wanda Debauche

La conception d'un aménagement piéton accessible à tous

An Volckaert

Le contraste du mobilier urbain: règles et bonnes pratiques

Ertan Dzhambaz

La prise en compte des besoins des piétons dans le choix des revêtements

Olivier Van Damme

PAUSE

La conception et la sécurité des aménagements cyclables

Olivier Van Damme

La conception des autoroutes cyclables

An Volckaert

Les éléments clés à retrouver sur les plans d'aménagements

Olivier Van Damme

Session Connaissances approfondies

24 juin 2021 – 9h30 - 12h

Accueil

Wanda Debauche

La planéité des revêtements piétons

Olivier Van Damme

La planéité des pistes cyclables

Carl Van Geem

PAUSE

Une rugosité suffisante sur les pistes cyclables et les trottoirs: exigence première de confort et de sécurité

Luc Goubert

L'étude d'impact environnemental via TOTEM s'élargit à la construction routière

Les travaux de construction tels que les bâtiments et les infrastructures ont un impact important sur l'environnement en raison de leur consommation d'énergie opérationnelle et de l'utilisation de matériaux de construction. Afin de calculer et d'optimiser cet impact environnemental en choisissant d'autres options lors la conception, une aide au calcul appelée TOTEM¹ a été mise en ligne en 2018, centrée sur la situation en Belgique et utilisable pour des bâtiments tels que des habitations, des bureaux, des écoles, etc. Compte tenu de la grande importance pour l'ensemble de la Belgique, les trois autorités régionales² (IBGE, SPW et OVAM) travaillent ensemble pour développer davantage cet outil. Dans ce contexte d'évolution, une étude a aussi été fournie, à laquelle le CSTC et le CRR ont récemment contribué et qui fait le lien avec la construction routière, appelée «Étude de potentiel TOTEM»³. Cette étude a deux objectifs principaux:

- estimer la réduction potentielle de l'impact environnemental des bâtiments grâce à l'utilisation de l'outil TOTEM pendant la phase de conception et donc le potentiel de TOTEM pour atteindre les objectifs politiques (partie 1);
- estimer le potentiel de la méthode TOTEM pour améliorer les performances environnementales des travaux de construction autres que les bâtiments (principalement les travaux d'infrastructure) (partie 2).

Dans cet article, nous abordons uniquement la partie 2 de l'étude, consacrée aux infrastructures routières.

L'étude analyse des aspects et des points d'attention spécifiques dans l'évaluation environnementale des travaux d'infrastructure au moyen d'une étude bibliographique et d'une analyse d'étude de cas de certains types de routes. Sur base de ces informations, le potentiel d'extension de l'outil TOTEM à d'autres sous-secteurs de la construction est discuté et des recommandations spéci-

fiques sont formulées concernant le développement ultérieur de l'outil TOTEM.

L'étude bibliographique se concentre sur les développements en cours en matière de normes et de réglementations, sur les études et les projets de recherche existants et sur les expériences étrangères en matière de performances environnementales des travaux d'infrastructure. Il en ressort que les normes et les réglementations dans ce domaine sont encore en cours d'élaboration, et qu'elles sont à la traîne par rapport à l'évolution du secteur de la construction générale. Les normes initialement établies pour les bâtiments servent aujourd'hui de source d'inspiration pour une extension aux travaux d'infrastructure, adaptée aux spécificités de ce type de travaux. Elle montre également que le calcul de l'impact environnemental n'est pas effectué de manière uniforme: différentes durées de vie, limites de systèmes, méthodes, scénarios, etc. sont utilisés, ce qui rend les résultats des études incomparables. Les points de départ influencent aussi fortement les résultats: les conclusions dépendent des

types étudiés de matériaux de construction utilisés, les activités de construction, l'utilisation, l'intensité du trafic, etc.

Cette étude examine si la méthode TOTEM peut être utilisée dans la pratique pour des travaux de construction autres que des bâtiments, en l'occurrence pour les routes. Pour ce faire, nous déterminons l'impact environnemental de deux variantes de routes à l'aide d'une analyse du cycle de vie (ACV, selon la méthode MMG (Wille, 2012), qui constitue la base scientifique pour les calculs dans TOTEM). Concrètement, pour un type de route bitumineuse d'une part et en béton d'autre part – selon un dimensionnement et une composition conformes à la pratique actuelle en Belgique – une analyse du cycle de vie a été réalisée, en tenant compte de dix-sept indicateurs d'impact environnemental. Afin de pouvoir comparer plus aisément les profils d'impact environnemental des différents ouvrages de construction ou de leurs composants, les indicateurs environnementaux sont pondérés et additionnés. L'outil TOTEM utilise une monétisation comme méthode de pondération; le résultat peut

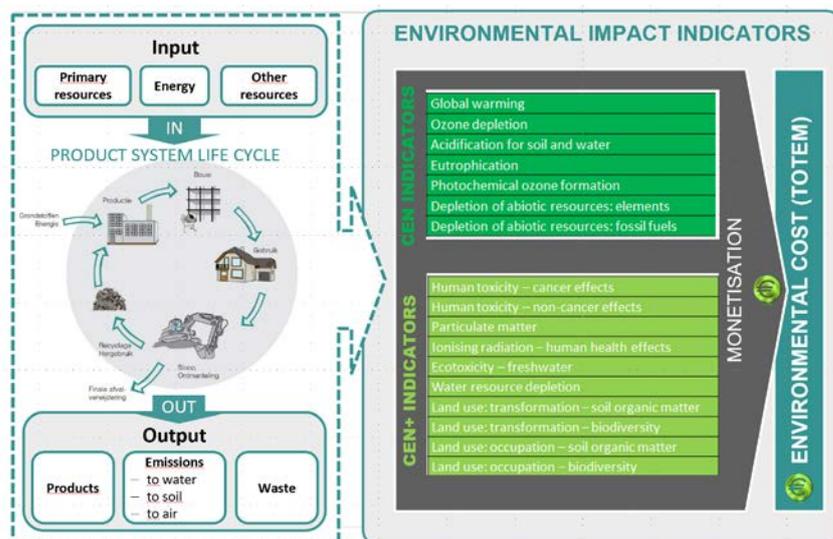


Figure 1 – Analyse du cycle de vie d'un produit de construction, élément ou bâtiment, selon la méthode MMG (Janssen et al., 2020 [illustration: CSTC])

1 TOTEM est l'acronyme de "Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials". Voir le site web trilingue <https://www.totem-building.be/> pour toutes les informations à ce sujet, comme la publication, Allacker et al., 2020.
 2 Les partenaires de ce projet sont Bruxelles Environnement, le Service Public de Wallonie et l'Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij.
 3 Voir Janssen, Delem, Wastiels & De Bock, 2020.

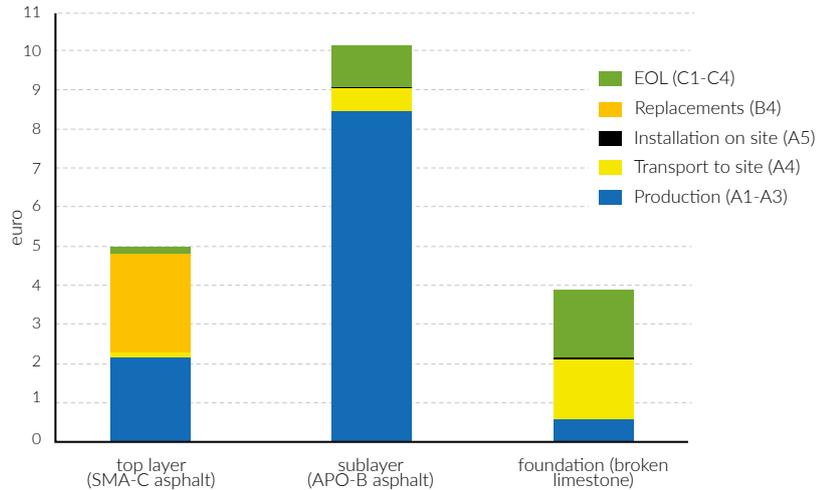
alors être exprimé sous la forme d'un score unique monétisé (exprimé en coûts environnementaux en euros) (figure 1).

Les indicateurs monétisés sont calculés en multipliant les indicateurs individuels par un facteur de monétisation. Exemple: 1 kg d'équivalent CO₂ X 0,05 €/kg d'équivalent CO₂ = 0,05 €. La valeur obtenue est une estimation du coût financier en euros nécessaire pour réparer les dommages environnementaux infligés. Bien entendu, cela diffère grandement du prix d'achat des matériaux; plus encore, il en est totalement distinct, car ce prix de revient calculé comprend également les coûts indirectement supportés par la société (par exemple via les effets néfastes sur la biodiversité, etc.).

Dans cet article succinct, il n'est bien sûr pas prévu de discuter en détail le contenu et les résultats de l'étude complète – pour cela, nous vous renvoyons à la publication originale (Janssen et al., 2020) – mais à titre d'illustration, nous utilisons quelques chiffres de cette étude pour donner une image au lecteur. Note importante: l'impact environnemental causé par les utilisateurs des infrastructures (par exemple les émissions ou la consommation d'énergie des véhicules sur les routes) n'a pas été inclus dans le calcul; il ne porte que sur la construction routière elle-même (mais inclut les options dans la phase de fin de vie). Cependant, la phase d'utilisation peut représenter 80 à 90 % de l'impact environnemental total d'une route sur l'ensemble de son cycle de vie.

Concrètement, un type de route bitumineuse est modélisé et calculé selon la méthode utilisée dans l'outil TOTEM. Ce type de route se compose d'une fondation en empierrement de 30 cm d'épaisseur, de couches de liaison en enrobé (type APO-B) d'une épaisseur totale de 19 cm et d'une couche de roulement bitumineuse (type SMA-C) d'une épaisseur de 4 cm. Une durée de vie théorique de 20 ans pour les couches de liaison et de 10 ans pour la couche de roulement (ce qui implique que cette couche sera remplacée une fois) est calculée pour cette route adaptée à une classe de construction B5. La figure 2 montre comment le résultat de ce calcul pour la route bitumineuse peut être présenté, par exemple par type de couche et par phase dans le

Bituminous road B5 – reference case – 1 m² – 20 years



MMG2014 method (Dec. 2017) V1.05 / monetisation (W-EU) - central

Figure 2 – Impact environnemental monétisé pour 1 m² d'une route bitumineuse de référence sur une période de 20 ans, par type de couche et par phase du cycle de vie (Janssen et al., 2020)

cycle de vie, mais de nombreuses autres présentations détaillées sont possibles.

Les résultats pour la route bitumineuse montrent que l'impact environnemental le plus important provient de la couche de liaison, suivie de la couche de roulement et de la fondation. Pour les couches bitumineuses, c'est le processus de production qui a le plus d'impact (pour la couche de roulement, l'impact du remplacement après dix ans est en fait comparable à l'impact du processus de production) complété par des impacts environnementaux du transport, de la phase d'utilisation et de la phase de fin de durée de vie).

Pour la route bitumineuse, outre un scénario de base, une variante est également étudiée, basée sur les possibilités actuelles d'optimisation des différentes couches de la structure (c'est-à-dire l'utilisation de granulats recyclés et une température de production plus basse).

Dans le cas des analyses ACV, le calcul de l'ensemble d'un ouvrage de construction est basé sur une base de données élargie avec des données sur les éléments de construction sous-jacents, et le logiciel⁴ permet d'optimiser l'ouvrage en choisissant des variantes, par exemple des couches plus fines ou plus épaisses, d'autres types de matières premières,

d'autres moyens de transport des éléments ou des matières premières, d'autres machines pour la pose sur chantier, d'autres façons de traiter les déchets en fin de vie, etc. Tous ces ajustements peuvent être calculés et le résultat peut être jugé sur son impact environnemental modifié.

Dans l'étude, une optimisation pour la route bitumineuse est réalisée avec les éléments suivants: dans la couche de liaison, une partie des granulats naturels et du bitume est remplacée par un recyclage de 50 % des granulats bitumineux, l'enrobé pour la couche de roulement est produit à une température réduite (technique ETR avec du bitume-mousse), et dans la couche de fondation, le calcaire est remplacé par des granulats de béton recyclés.

Une comparaison entre la route de référence et la variante montre que le potentiel d'optimisation pour les différentes couches varie entre 7 et 46 % et que, pour l'ensemble de la structure routière, une réduction maximale de l'impact environnemental (total) d'environ 20 % peut être obtenue lorsque l'optimisation est appliquée aux trois couches. De meilleurs résultats sont obtenus pour l'indicateur du réchauffement climatique (émissions de CO₂).

Comme deuxième étude de cas (en plus de la route bitumineuse évoquée ci-dessus),

4 Pour cette étude, le logiciel LCA de SimaPro (version 9.0) et la base de données de Ecoinvent (version 3.5) ont été utilisés; voir <https://simapro.com/2019/whats-new-in-simapro-9-0/> et www.ecoinvent.ch pour plus d'infos.

une route en béton est également étudiée, pour être modélisée et calculée selon la méthode TOTEM de calcul de l'impact environnemental. Cette route en béton adaptée à une charge de trafic de classe B1 et d'une durée de vie théorique de 30 ans se compose d'une fondation de 30 cm (calcaire lié au ciment), d'une couche intermédiaire bitumineuse (type ABT) de 5 cm d'épaisseur et d'un revêtement en béton de 25 cm d'épaisseur en béton armé continu. La figure 3 montre le résultat de ce calcul pour la route en béton.

Les résultats pour la route en béton (figure 3) montrent que c'est la couche de roulement en béton (composée de béton routier prêt à l'emploi et d'une armature en acier) qui a l'impact le plus important, suivie par la fondation et la couche intermédiaire bitumineuse. L'importance relative des barres d'armature est très élevée, plus élevée pour l'impact environnemental total que pour l'indicateur du réchauffement climatique (émissions de CO₂).

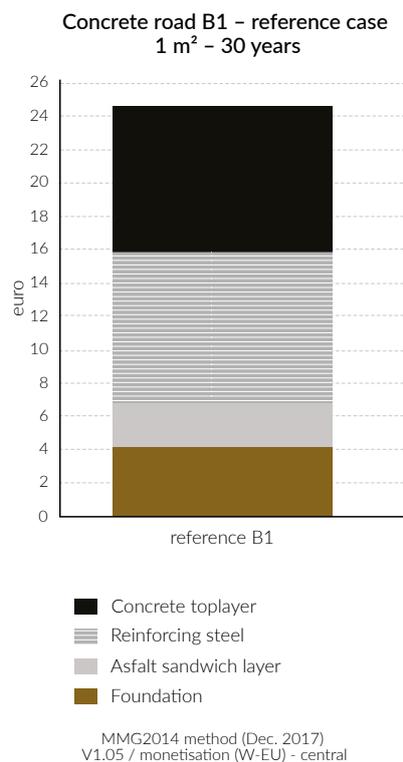


Figure 3 – Impact environnemental monétisé de 1 m² de la route en béton de référence sur une période de 30 ans, par type de couche (additionné sur toutes les phases du cycle de vie) (Janssen et al., 2020)

Attention: l'étude n'avait pas pour but de calculer une structure routière idéale, mais d'examiner si la méthodologie était utilisable à la fois pour les routes bitumineuses et celles en béton. Une comparaison un à un des routes en béton et bitumineuses n'est pas l'objectif visé; les routes de référence sont des routes destinées à des intensités de trafic différentes (dans ce cas, la classe de construction B5 pour la route bitumineuse et la classe de construction B1 pour la route en béton).

Les analyses ci-avant s'appliquent à une route individuelle, ou à un type de route, et sont transposées pour une unité fonctionnelle présélectionnée de 1 m² de surface de route. Cela peut ensuite être éventuellement transposé à un niveau supérieur. Afin d'avoir une idée de l'importance de l'impact environnemental du secteur de la construction routière pour une région entière, et en comparaison avec le secteur de la construction résidentielle en Flandre, une transposition approximative est réalisée, où l'impact de l'exécution annuelle de routes bitumineuses est comparé à celui de la construction annuelle de nouvelles maisons en Flandre. Cela montre que l'impact total (en termes de coût environnemental) des routes peut être aussi important que l'impact total des nouvelles maisons en Flandre, si la contribution de la consommation d'énergie opérationnelle des maisons n'est pas prise en compte. Toutefois, ces chiffres doivent être traités avec prudence, car plusieurs hypothèses (simplifiées) doivent être faites.

Enfin, dans son dernier chapitre, l'étude analyse les problèmes et les points à améliorer concernant l'utilisation potentielle de la méthode TOTEM et formule des recommandations concrètes sur les fonctionnalités nécessaires de TOTEM en cas d'extension à d'autres secteurs.

En conclusion, cette étude indique que la méthode générale TOTEM peut éventuellement être utilisée pour estimer la performance environnementale des travaux de construction autres que les bâtiments. Nous n'en sommes néanmoins pas encore là, et un certain nombre d'ajouts importants sont nécessaires pour la mise en œuvre pratique dans une version future de l'outil. Par exemple, cela nécessiterait la définition de scénarios supplémentaires (comme pour le transport ou la durée de vie finale) et de valeurs par défaut (par exemple pour la durée de vie de

référence) spécifiques à ces constructions, la bibliothèque des matériaux et des processus devrait être étendue et il est nécessaire de permettre ou de soutenir les changements au niveau des matériaux. Enfin, cette étude montre que des options ou des outils de modélisation supplémentaires pourraient être développés pour mieux évaluer et optimiser l'impact de la phase de construction (activités de construction).

Bibliographie

Allacker, K., Debacker, W., Delem, L., De Nocker, L., De Troyer, F., ... Bronchart, S. (2020). *Environmental profile of building elements* [mise à jour 2020]. Récupéré de <https://www.ovam.be/sites/default/files/atoms/files/Environmental%20profile%20of%20building%20elements%20-%20update%202020.pdf>

Janssen, A., Delem, L., Wastiels, L. & De Bock, L. (2020). *TOTEM potential. Part 2: Estimation of TOTEM for extension to subsectors in construction*. Malines: Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij (OVAM). Récupéré de <https://www.totem-building.be/pages/download/list.xhtml>

Wille, D. (Ed.). (2012). *Milieugere lateerde materiaalprestatie van gebouwelementen*. Récupéré de https://www.ovam.be/sites/default/files/FILE1349102121400ovor121001MMG_eindrapport.pdf

Luc De Bock
02 766 03 57
l.debock@brrc.be



Connected & autonomous vehicles et infrastructure routière – état des lieux et prospective

Les véhicules entièrement autonomes et connectés ne sont pas encore pour tout de suite. Toutefois, la généralisation progressive des systèmes d'aide à la conduite dans les nouvelles voitures offre aux constructeurs automobiles et aux entreprises technologiques des opportunités d'améliorer ces systèmes en vue d'une circulation autonome. Alors que les voitures évoluent sans cesse, la question du rôle de l'infrastructure routière dans ces développements technologiques se pose également. L'infrastructure routière doit-elle être adaptée pour permettre aux véhicules autonomes de fonctionner de manière optimale? Des adaptations sont-elles possibles aujourd'hui ou utiles en pensant aux véhicules autonomes de demain?

Après concertation au sein du CT1 et approbation par le Comité du Programme, le CRR a décidé d'y consacrer une brève étude. Au cours du premier semestre 2019, le CRR a finalement commencé à examiner plus de deux cents documents. Dans le même temps, un groupe de travail (le groupe de travail «CAV», *Connected & autonomous vehicles*) a été mis en place avec plusieurs partenaires pertinents. Avec les membres de ce groupe de travail, on a tenté de se faire une idée des évolutions attendues et des besoins.

Lors des discussions avec ces experts pendant les réunions du groupe de travail (six fois au total) et par le biais d'une concertation bilatérale, il n'a pas toujours été évident de maintenir l'accent sur l'infrastructure routière. Certains voient l'introduction des véhicules autonomes comme un tremplin pour permettre d'autres développements. En particulier dans les villes, l'introduction des véhicules autonomes semble être l'un des nombreux développements susceptibles d'avoir un impact sur l'aménagement de l'espace public. Des mesures d'accompagnement (promotion des systèmes partagés, renforcement des

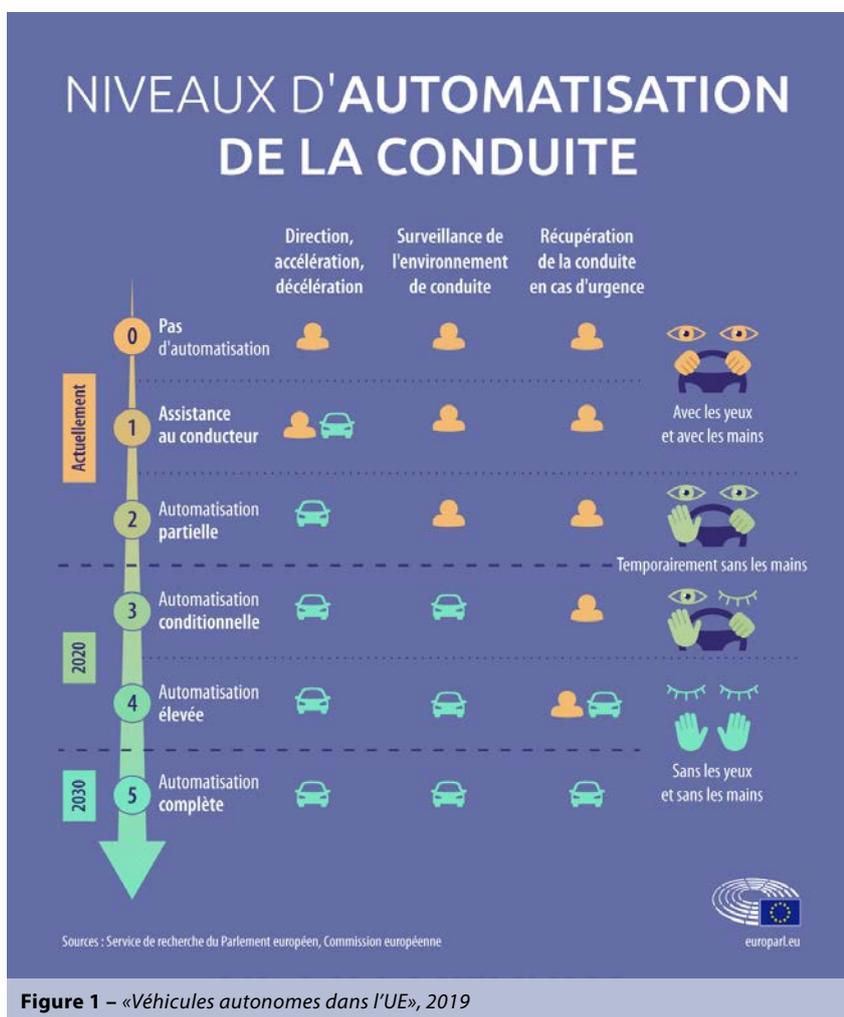


Figure 1 – «Véhicules autonomes dans l'UE», 2019

transports en commun, etc.) sont souhaitables, par exemple pour éviter que l'engorgement des villes ne s'aggrave.

Objectifs

Les gestionnaires routiers adoptent une attitude plutôt attentiste en ce qui concerne les conséquences en matière de sécurité routière et de mobilité. D'autre part, les données des véhicules connectés peuvent être utiles pour la

gestion du patrimoine et du trafic. La CE aussi y voit un avenir très prometteur (voir Règlements Délégués 886/2013¹ et 2015/962²). En outre, la CE espère que les développements autour des véhicules autonomes pourront être un déclencheur pour les investissements en matière de R&D et ainsi contribuer à la prospérité et à la croissance économique au sein de l'Union européenne. Pour les constructeurs automobiles, les véhicules autonomes et connectés ne sont pas une fin en soi. Ils voient cette évolution principa-

1 Règlement délégué (UE) n° 886/2013 de la Commission du 15 mai 2013 complétant la directive 2010/40/UE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les données et procédures pour la fourniture, dans la mesure du possible, d'informations minimales universelles sur la circulation liées à la sécurité routière gratuites pour les usagers (Règlement Délégué [UE] N° 886/2013, 2013)

2 Règlement délégué (UE) 2015/962 de la Commission du 18 décembre 2014 complétant la directive 2010/40/UE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne la mise à disposition, dans l'ensemble de l'Union, de services d'informations en temps réel sur la circulation (Règlement Délégué [UE] N° 2015/962, 2015)

lement comme un moyen d'arriver à des véhicules zéro incident et zéro émission, ce qui contribue à une bonne image dans un contexte de société durable.

La prospérité économique, la sécurité routière, la congestion, la mobilité, l'occupation de l'espace, l'efficacité énergétique et le respect de l'environnement, ainsi que la capacité routière sont autant de moteurs pour le développement des CAV. Il est utile de connaître les raisons pour lesquelles des véhicules connectés et autonomes sont autorisés à circuler sur la voie publique afin d'identifier la relation entre les CAV et l'infrastructure routière. La faisabilité des objectifs et des moteurs dépend fortement de la politique, de la concertation et de la coopération entre les différents acteurs, et de choix clairs qui tiennent compte des souhaits et des besoins de la société.

La promesse d'une meilleure mobilité, d'une occupation moindre de l'espace et d'une efficacité énergétique n'est pas seulement liée aux développements technologiques, mais dépend également des **choix sociétaux** (par exemple, la promotion des véhicules partagés, des transports en commun performants, des scénarios de disparition des véhicules à combustibles fossiles et la disponibilité d'une électricité «propre» en suffisance) (Morlion, 2018).

Obstacles

Selon une étude, 90 % des accidents de la route sont liés d'une manière ou d'une autre au conducteur. Le remplacement de ce conducteur par un algorithme infallible permettrait d'améliorer la sécurité routière de façon phénoménale. Cependant, il reste encore quelques obstacles à surmonter. Dans la période de transition vers une mobilité entièrement autonome, le conducteur humain continuera encore longtemps à jouer un rôle. Dans des circonstances de conduite que le véhicule autonome ne peut pas gérer, il est prévu qu'il soit demandé au conducteur humain de reprendre la tâche de conduite. Il reste à voir si des conducteurs ayant de moins en moins d'expérience de conduite (vu que la

voiture conduira souvent de manière autonome) seront à même d'évaluer assez rapidement ces situations critiques et de prendre le relais correctement. Certainement dans le cas des véhicules connectés qui déterminent notamment leur comportement de conduite grâce à des informations introduites dans le véhicule par des systèmes de communication, il est important que ces informations soient correctes et fiables (et par exemple suffisamment protégées contre les cyberattaques). La question qui se pose aussi est de savoir comment les véhicules intelligents vont interagir avec les piétons ou les cyclistes.

Toutes sortes d'améliorations technologiques permettraient aux véhicules autonomes de rouler plus près l'un de l'autre et d'utiliser ainsi plus efficacement l'infrastructure routière disponible (20 à 40 % de véhicules en plus). Avant d'en arriver là, il semble toutefois que la distance entre les véhicules dans le trafic mixte (autonome + non autonome) va augmenter et que la fluidité du trafic va encore diminuer. En outre, la capacité supplémentaire menace d'être absorbée par une demande de transport supplémentaire (jeunes, personnes à mobilité réduite).

Opportunités

Aujourd'hui, le Gouvernement flamand veut surtout se concentrer sur les transports en commun réguliers le long des grands axes, complétés par d'autres modes de transport pour le trajet vers ou depuis les axes desservis par les transports en commun. Pour ce trajet supplémentaire, les sociétés de transports en commun croient fermement aux taxis autonomes (taxis robots) et aux navettes. De Lijn, la STIB et divers autres fournisseurs de transport expérimentent des navettes autonomes; actuellement surtout sur terrain privé, mais à l'avenir élargies à la voie publique.

De nombreuses voitures particulières restent inutilisées pendant une grande partie de la journée, ce qui engendre une pression sur l'espace public, certainement en environnement urbain. Des véhicules partagés facilement disponibles peuvent

réduire le besoin d'une voiture particulière et ainsi soulager la pression sur l'espace public. Des simulations montrent que dans une ville de taille moyenne, une flotte limitée de taxis robots partagés (35 % pour les heures de pointe, 10 % en moyenne sur une période de 24 heures), combinée à des transports en commun performants suffit pour répondre à la demande de transport. Cette simulation implique que tous les utilisateurs de transport privé passent au transport partagé. Dans un tel scénario, bien qu'il y ait une légère augmentation du nombre de kilomètres parcourus, beaucoup d'espace est libéré en même temps, par exemple en raison d'un besoin moindre de places de parking.

Il est essentiel de réfléchir à des scénarios d'avenir concernant le stationnement des véhicules autonomes. Associer la politique de stationnement et la politique environnementale peut éliminer la menace de voir les villes bloquées par l'introduction incontrôlée de véhicules autonomes. Pendant la période la moins chargée, ces véhicules devraient pouvoir être garés de manière efficace en attendant la prochaine mission. Il convient d'éviter que les véhicules autonomes effectuent de longs trajets (inutiles) (contribuant ainsi à augmenter les temps d'arrêt) parce que les parkings seraient insuffisamment disponibles ou trop chers.

Infrastructure

Il est probable que les véhicules autonomes prouveront d'abord leur utilité dans des situations de circulation relativement simples, comme les autoroutes. Dans un environnement urbain, où les usagers de la route, les vitesses et les situations de conflit sont différents, le défi devient vite d'un tout autre ordre.

Le projet Inframix tente de déterminer quel niveau d'infrastructure est nécessaire pour permettre certains niveaux de trafic autonome le long d'une certaine section de route (ou dans un *Operational Design Domain*³ spécifique). Ces niveaux d'infrastructure sont définis comme des niveaux ISAD⁴ et concernent principalement l'infrastructure technologique et de communication.

3 *Operational Design Domain* ou ODD: se rapporte à un tronçon de route mais aussi au moment de la journée, aux conditions météorologiques, au trafic en place, etc.

4 Niveaux ISAD: *Infrastructure Support levels for Automated Driving*.

	Level	Name	Description	Digital information provided to AVs			
				Digital map with static road signs	VMS, warnings, incidents, weather	Microscopic traffic situation	Guidance: speed, gap, lane advice
Conventional infrastructure	E	Conventional infrastructure / no AV support	Conventional infrastructure without digital information. AVs need to recognise road geometry and road signs.				
	D	Static digital information / Map support	Digital map data is available with static road signs. Map data could be complemented by physical reference points (landmarks signs). Traffic lights, short term road works and VMS need to be recognized by AVs.	X			
Digital infrastructure	C	Dynamic digital information	All dynamic and static infrastructure information is available in digital form and can be provided to AVs.	X	X		
	B	Cooperative perception	Infrastructure is capable of perceiving microscopic traffic situations and providing this data to AVs in real-time.	X	X	X	
	A	Cooperative driving	Based on the real-time information on vehicle movements, the infrastructure is able to guide AVs (groups of vehicles or single vehicles) in order to optimize the overall traffic flow.	X	X	X	X

Figure 2 – Russ, Lytrivis & Datler, 2020

Une infrastructure numérique est de toute façon une condition pour un transport entièrement autonome. Une représentation numérique de l'infrastructure routière, de l'environnement, des règles applicables, de l'infrastructure de communication, etc. devrait aider à faire entrer des informations dans le véhicule; pour l'instant encore pour informer le conducteur humain, ultérieurement comme source d'information pour piloter activement les véhicules. Inversement, des données collectées par une flotte de véhicules connectés peuvent également s'avérer utiles pour la gestion du trafic, la planification de l'entretien et la mise à jour de la représentation numérique de l'infrastructure routière. L'infrastructure numérique peut venir soutenir une infrastructure physique qui présente des manquements (par exemple, la signalisation n'est pas suffisamment lisible). Les données des véhicules connectés peuvent être utilisées pour tenir à jour les cartes numériques. Il est bien sûr important que les deux restent synchronisées. Le règlement délégué EU/2015/962 (Règlement Délégué [UE] N° 2015/962, 2015) en attribue la responsabilité aux administrations routières, aux gestionnaires routiers et aux prestataires de services.

Les projets de directive pour les routes sont actuellement basés sur les besoins

des usagers de la route humains. On est encore loin d'un trafic complètement autonome et même les véhicules les plus perfectionnés continueront à dépendre du conducteur humain pendant un certain temps encore pour les situations problématiques. Toutefois, il est préférable de ne pas attendre que le transport soit entièrement autonome pour ajuster les projets de directive, mais plutôt d'opter pour une adaptation progressive, par exemple en examinant les adaptations possibles de certains éléments de la route afin de permettre un certain niveau d'automatisation.

Néanmoins, certaines tendances peuvent jouer un rôle dans la manière dont les routes seront construites et équipées à l'avenir. En prenant cela en compte dès aujourd'hui, il pourrait être possible de limiter les modifications futures (*no regret measures*).

Les capteurs tirent profit de messages bien visibles, simples et, de préférence, uniformes (aussi bien marquages routiers que panneaux de signalisation). Plusieurs constructeurs automobiles insistent sur ce point et des pistes sont explorées tant au sein des Nations unies⁵ que par la Commission européenne⁶ pour améliorer la situation. En outre, les panneaux à messages variables et les

feux de circulation peuvent être équipés de dispositifs de communication afin de pouvoir transmettre leur statut aux véhicules en approche ou de permettre l'ajustement du statut par les véhicules prioritaires en approche (influence des feux de circulation). D'autre part, certains sont convaincus que les possibilités des systèmes de caméras et des algorithmes de traitement permettront la reconnaissance et l'interprétation correctes des messages moins visibles.

Les voies d'entrecroisement permettent une meilleure fluidité du trafic sur les autoroutes très fréquentées, avec des entrées et des sorties très rapprochées. Dans le cas du trafic autonome avec des interdistances probablement plus courtes, il doit y avoir suffisamment d'espace pour permettre les entrecroisements. Il peut être utile d'en tenir compte lors de la construction des accès et des sorties et de garder à l'esprit la possibilité d'une extension ultérieure.

Le développement des véhicules autonomes va de pair avec celui des véhicules (électriques) plus propres. Il semble que la masse moyenne des véhicules nouvellement vendus ne cesse d'augmenter. Par exemple, pour le développement des dispositifs de retenue routiers et de poteaux de sécurité passive, il s'agit d'un développement qui pourrait jouer un rôle dans l'avenir. De surcroît, avec la tendance à l'augmentation de la taille des camions, à l'augmentation des transports collectifs et à la diminution des distances entre les véhicules (dans le cas d'un trafic purement autonome), il semble que la charge sur les infrastructures (routes, ponts, etc.) pourrait augmenter. Les projets de directive et les stratégies de maintenance devront probablement en tenir compte à l'avenir.

Dans une ville, la situation devient plus complexe. La vitesse est généralement beaucoup plus faible et moins homogène. De plus, l'espace est partagé entre les transports en commun et individuels, les cyclistes, les piétons et de plus en plus de formes alternatives de mobilité. Les infrastructures (voirie, parkings, infrastructures de chargement, etc.) doivent tenir compte de tous ces utilisateurs. Si, par

5 UNECE Global Forum for Road Traffic Safety, Expert Group on Road Signs and Signals <http://www.unece.org/trans/main/welcwp1.html>

6 Commission européenne: *Expert Group on Road Infrastructure Safety* préparant la révision de la Directive 2008/96/CE (Directive 2008/96/CE, 2008).



Figure 3 – Roston, 2017

exemple, les passages pour piétons disparaissent et que les piétons peuvent choisir où traverser, cela a des conséquences sur (l'utilisation de) l'infrastructure. Le trottoir et le revêtement de la route peuvent se trouver au même niveau et il faut pouvoir les distinguer (visuellement) d'une manière ou d'une autre.

L'introduction inconsidérée d'un transport (autonome) supplémentaire dans un environnement urbain est vue par certains comme une menace pour la qualité de vie. *MaaS (Mobility as a Service)* et le transport (autonome) partagé ont toutefois le potentiel de contribuer à cette qualité de vie⁷. Il est alors important que ce transport partagé soit facilement disponible. Dans une ville, il faut prévoir suffisamment d'endroits où un utilisateur peut passer d'un mode de transport à un autre, où il peut laisser sa voiture ou son vélo en toute sécurité et où il peut faire une course en vitesse si nécessaire.

Tout porte à croire que les transports en commun joueront un rôle important à l'avenir. Les sociétés de transports en commun considèrent les navettes autonomes comme un moyen d'augmenter leur offre. Les essais effectués à ce jour avec les navettes montrent, entre autres, l'importance d'une bonne qualité du revêtement routier et de l'absence d'obstacles pour le fonctionnement sécurisé d'une navette. C'est pourquoi, dans un certain nombre de cas, la situation du trafic (règles de priorité) a même été modifiée pour la durée du test. Lors de plusieurs essais, la couverture GPS s'est révélée insuffisante (trop peu précise)

et il a fallu placer des points de référence supplémentaires.

Quand?

Les prévisions concernant le moment où les véhicules autonomes courront les rues sont très variables. Les conducteurs normaux, humains devront rester longtemps encore le point de départ dans l'aménagement de l'infrastructure. Les véhicules autonomes profitent souvent de mesures qui ont également un sens pour les conducteurs humains (signalisation reconnaissable et uniforme, revêtement routier de qualité).

Les gestionnaires routiers ne pourront pas y échapper: ils vont devoir tenir compte d'un avenir incertain. Lors de la (re)construction d'une infrastructure, il est judicieux de prendre dès à présent en compte d'éventuelles modifications futures (aménagement pour l'infrastructure de communication, utilisation comme voie à affectation variable, etc.). Les villes, en particulier, devraient se pencher sur le rôle des véhicules – qu'ils soient automatisés ou non – dans leur vision d'avenir et sur la manière dont cela contribuera à déterminer l'aménagement de la ville.

On est encore loin d'avoir une flotte entièrement autonome (SAE L5). Si jamais cela se réalise, la conception et la construction de l'infrastructure peuvent changer radicalement. Le rapport mentionne aussi brièvement ce scénario, aujourd'hui utopique.

Conclusion

Les activités du groupe de travail CAV ont abouti à un rapport numérique disponible en anglais sur le site web du CRR (<https://brrc.be/fr/expertise/expertise-aperçu/connected-autonomous-vehicules-infrastructure-routiere>) et qui paraîtra prochainement en français et en néerlandais. Nous vous invitons à le lire et sommes déjà impatients de connaître vos réactions.

Vous y trouverez des informations fascinantes dans de nombreux domaines. Une première partie traite du contexte (description des CAV, objectifs, niveaux SAE, déploiement des CAV et obstacles). Une deuxième partie s'intéresse concrètement à la relation entre les CAV et l'infrastructure: infrastructure physique/numérique, thèmes «autoroutes», «routes en environnement urbain» et «navettes». Nous prêtons attention aux projets de directive, à la conception des routes et à l'équipement routier.

Le rapport contient également des conclusions sur les possibles conséquences pour l'infrastructure routière et les gestionnaires routiers. Il s'agit de conclusions dont on peut supposer qu'elles seront applicables plusieurs années après la publication du présent rapport dans le domaine de l'infrastructure routière même, ainsi que de la vision plus globale dans le domaine de «l'(in)certitude et de la complexité» et des «évolutions sociales et de la politique».

Enfin, nous tenons à remercier tout particulièrement les membres actifs du groupe de travail CAV.

Hinko van Geelen
02 775 82 39
h.vangeelen@brrc.be



Kris Redant
010 23 65 38
k.redant@brrc.be



7 Les voitures partagées pourraient remplacer 2,5 à 13 voitures particulières.

Bibliographie

Directive 2008/96/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 concernant la gestion de la sécurité des infrastructures routières. (2008). *Journal officiel de l'Union européenne*, L 319, 59-67. Récupéré de <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>

Morlion, P. (2018, Janvier 6). *Met de zelfrijdende auto krijgen onze mobiliteitsministers een historische kans op een visionair beleid* [Opinion]. Knack. Récupéré de <https://www.knack.be>

Règlement Délégué (UE) N) 886/2013 de la Commission du 15 mai 2013 complétant la directive 2010/40/EU du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les données et procédures

pour la fourniture, dans la mesure du possible, d'informations minimales universelles sur la circulation liées à la sécurité routière gratuites pour les usagers. (2013). *Journal officiel de l'Union européenne*, L247, 6-10. Récupéré de <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>

Règlement Délégué (UE) 2015/962 de la Commission du 18 décembre 2014 complétant la directive 2010/40/EU du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne la mise à disposition, dans l'ensemble de l'Union, de services d'informations en temps réel sur la circulation. (2015). *Journal officiel de l'Union européenne*, L157, 21-31. Récupéré de <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=fr>

Roston, B.A. (2017, avril 4). Bosch and Daimler team to make fully autonomous vehicles for city driving. *SlashGear*. Récupéré de <https://www.slashgear.com/>

Russ, M., Lytrivis, P. & Datler, B. (2020, mai). *Inframix press-conference* [Présentation]. Récupéré de <https://www.inframix.eu/presentations/>

Véhicules autonomes dans l'UE: De la science-fiction à la réalité. (2019, janvier 14). *Actualité Parlement européen*. Récupéré de <https://www.europarl.europa.eu/news/fr>

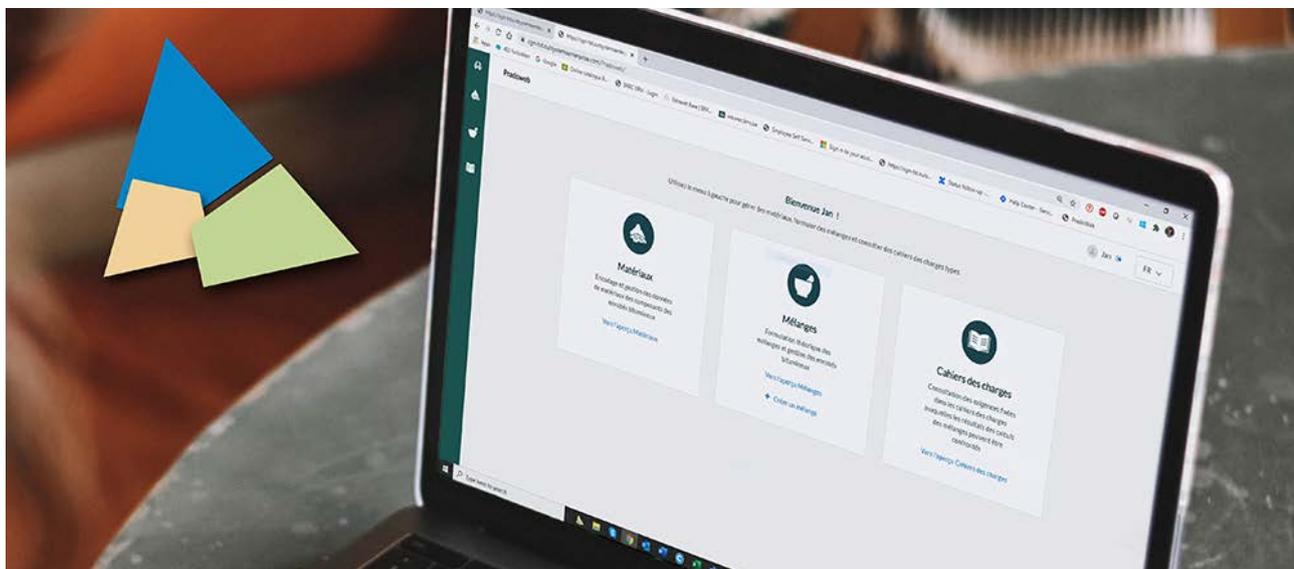
Licences PradoWeb

PradoWeb, le **nouveau logiciel du CRR pour la formulation théorique des enrobés bitumineux**, a été présenté le 26 novembre et le 3 décembre au public à l'occasion d'un webinaire interactif. Les objectifs de PradoWeb et les principales améliorations qu'il apporte par rapport à l'ancien logiciel (PradoWin) y ont été abordés. Au cours d'une brève démonstration, vous avez pu vous faire une idée

de sa facilité d'utilisation. Enfin, toutes les informations ont été données sur les modalités d'utilisation, les licences, le support et les formations.

Vous avez raté ce webinaire? Pas de problème, consultez notre site web pour un complément d'information (<https://brrc.be/fr/innovation/aperçu-innovation/pradoweb>).

Joëlle De Visscher
02 766 03 24
j.devisscher@brrc.be



BeP2S (Better Performing Slurry Surfacing): quatre années de recherche qui portent leurs fruits

Un MBCF est un mélange bitumineux de granulats minéraux, d'émulsion de bitume, d'eau et d'éventuels additifs, qui est préparé à froid et traité sur le chantier à l'aide d'un équipement mobile approprié (figure 1). Dès que l'émulsion de bitume est mélangée in situ avec les autres composants, le processus de rupture commence, libérant de l'eau et augmentant la cohésion du mélange.

Les MBCF sont appliqués comme traitement de surface, pour restaurer l'état de la surface de la route et pour protéger les couches sous-jacentes contre la pénétration de l'eau. Le prix de revient est faible, environ un quart du coût de remplacement d'une couche de roulement, et les inconvénients pour la circulation et les riverains sont limités. Après quelques

heures seulement, la route est de nouveau accessible à la circulation.

Une application régulière dans le cadre d'une stratégie d'entretien bien planifiée et préventive permet de maintenir l'état de la surface de la route à niveau, de prolonger la durée de vie des couches sous-jacentes et de réaliser des économies à court et à long terme. D'un point de vue écologique et social, c'est aussi une technique très durable. Après tout, il s'agit d'une application à froid, avec une consommation de matériaux limitée, moins de transport de matériaux et des nuisances limitées.

En Belgique, l'utilisation des MBCF est encore principalement limitée aux routes à faible trafic. L'extension aux routes à trafic plus dense, comme cela

se fait déjà dans d'autres pays, signifie qu'il existe encore un grand potentiel de croissance. En anglais, on fait une distinction au sein des MBCF (*slurry surfacing*) entre *microsurfacing* et *slurry seal*, où un *microsurfacing* est destiné à un trafic plus intense. La distinction réside dans l'utilisation d'une émulsion à base de bitume modifié par un polymère et souvent aussi dans une répartition plus discontinue des grains. En français, *microsurfacing* pourrait être traduit par «MBCF de haute qualité».

Toutefois, le succès d'un MBCF dépend de nombreux facteurs, tels que le choix des composants, la formule du mélange, l'état de la route, les conditions météorologiques prévues pendant la mise en œuvre, la réalisation du chan-



Figure 1 – MBCF à l'arrière de la machine

tier et le délai d'ouverture à la circulation. Cependant, l'impact de tous ces facteurs est encore insuffisamment connu, de sorte qu'un MBCF ne donne pas toujours le résultat escompté. Cela constitue un frein, surtout pour un élargissement à un trafic plus lourd. Il est donc nécessaire d'acquérir davantage de connaissances technico-scientifiques sur les MBCF si nous voulons exploiter pleinement leur potentiel.

Au cours des quatre dernières années, le CRR a mené des recherches approfondies pour élever la technologie des MBCF à un niveau de connaissance supérieur dans notre pays, grâce au soutien du Bureau de normalisation (NBN). Cette contribution décrit les objectifs et les principaux résultats de ce projet.

Objectifs du projet

L'objectif du projet subventionné par le NBN était de contribuer à des MBCF plus durables grâce à une recherche normative et d'étendre l'application à notre réseau routier, ce qui permet d'utiliser de manière optimale les budgets limités disponibles pour maintenir un réseau routier sûr, confortable et fiable.

Lors de la première biennale, le projet s'est concentré sur l'évaluation et l'**amélioration des méthodes d'essai européennes pour les MBCF** (série NBN EN 12274 «Matériaux bitumineux coulés à froid – Méthodes d'essai»). De nombreuses questions concernant les procédures, les conditions d'essai et la précision étaient sur la table. En outre, il existe également un certain nombre de méthodes d'essai non normalisées

connues en Europe, qui sont soit complémentaires, soit proposées comme alternatives aux méthodes d'essai européennes existantes.

Les méthodes d'essai pour les **émulsions et les liants résiduels** ont également été discutées. En effet, les caractéristiques de l'émulsion de bitume et l'interaction de l'émulsion avec les autres composants déterminent le processus de rupture et la construction de la cohésion, tandis que les caractéristiques du liant résiduel déterminent la performance du MBCF en phase d'utilisation.

L'**inspection visuelle des MBCF** est très importante pour le secteur, dans le cadre du «TAIT» (*Type Approval Installation Trial*) et lors de la livraison des chantiers de construction. L'inspection visuelle fait l'objet de la partie 8 de la série NBN EN 12274. Outre l'évaluation et l'amélioration de cette norme, un objectif supplémentaire consistait à formuler des recommandations concernant les exigences après un an et, dans le cas d'une prolongation de la période de garantie, après trois ans. Afin d'atteindre cet objectif, de nombreux chantiers ont été suivis, même avant la construction, et inspectés annuellement par la suite.

Au cours de la deuxième biennale, les objectifs du projet ont été atteints et **une procédure a été mise au point pour la formulation des MBCF**. Cette procédure de formulation permet de trouver de manière rationnelle et efficace, et en moins de temps, une bonne formule de mélange adaptée à la saison, à l'application et au trafic.

Qu'est-ce qui a été réalisé?

Essais sur MBCF

Un MBCF performant doit satisfaire aux exigences suivantes:

- une fois que les composants ont été mélangés in situ, le mélange doit rester malaxable pendant une période suffisamment longue. Sinon, il y a un risque de formation de caillots et d'obstruction de la machine;
- la consistance du mélange doit être adéquate: un mélange trop rigide est difficile à étaler et un mélange trop liquide entraîne une ségrégation et un ruissellement sur les bords;
- après la pose, la cohésion du mélange doit atteindre un niveau suffisamment élevé en peu de temps. Après tout, l'objectif est de rouvrir rapidement la route à la circulation;
- le MBCF doit offrir une bonne résistance à l'usure et au plumage causés par le trafic. L'eau est généralement un facteur aggravant;
- le MBCF doit offrir une bonne résistance au ressuage. C'est le phénomène de remontée du liant, qui donne lieu à une surface grasse dont la rugosité est fortement réduite.

Des essais ont été mis en place, évalués et améliorés pour chacune de ces performances. À titre d'illustration, les figures 2 à 4 montrent respectivement les essais européens de consistance, de renforcement de la cohésion et de résistance à l'usure. En plus des essais existants dans la série NBN EN 12274, de nouveaux essais alternatifs ont été conçus et évalués pour certaines de ces performances.



Figure 2 – Essai de consistance selon la NBN EN 12274-3

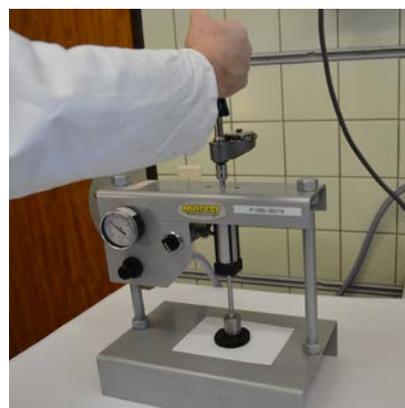


Figure 3 – Essai de cohésion selon la NBN EN 12274-4

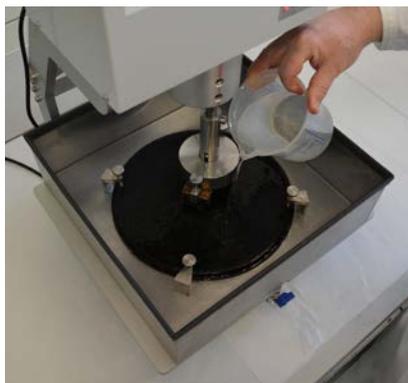


Figure 4 – Essai de résistance à l'usure selon la NBN EN 12274-5



Figure 5 – Essai d'abrasion par agitation selon la NBN EN12274-7



Une norme d'essai spéciale de la série NBN EN 12274 est la partie 7 (Essai d'abrasion par agitation) (figure 5). Il ne s'agit pas d'un essai sur le MBCF complet, mais sur la combinaison de l'émulsion de bitume avec une fraction tamisée (0/2 mm) des granulats et une petite quantité de ciment. Ainsi, l'essai n'évalue pas directement la performance d'un mélange, mais plutôt la compatibilité de l'émulsion avec les granulats. En ce sens, le test est important pour le choix des composants du mélange, c'est-à-dire la combinaison granulats-émulsion de bitume.

Concrètement, pour tous les essais, on a réalisé ce qui suit:

- évaluation de la répétabilité et du caractère discriminatoire et amélioration des méthodes pour augmenter ceux-ci;
- amélioration des conditions d'essai, pour mieux simuler les conditions de mise en œuvre;
- essais sur différentes variantes de mélanges, afin d'étudier l'impact des principaux paramètres (composants et composition);
- proposition de valeurs-cibles pour les résultats;
- recommandations d'amélioration des normes, transmises au comité européen de normalisation concerné CEN/TC227/WG2 *Surface Dressing, Sprays and Slurry Surfacing (incorporating Microsurfacing)*.

Le laboratoire est maintenant équipé pour tous ces essais, et nous disposons d'une grande expertise en matière de normes et d'essais.

Essais sur émulsions bitumineuses et liants résiduels

L'émulsion de bitume joue un rôle clé dans le MBCF. Il est donc crucial de faire

un bon choix, en fonction de la saison, de l'application et du trafic. Mais quelles sont les caractéristiques de l'émulsion nécessaires pour faire ce choix et quelles sont les méthodes d'essai appropriées?

Tout d'abord, il y a les caractéristiques classiques des émulsions de bitume, présentées dans le tableau 1. Ces caractéristiques sont utiles soit pour la formulation du MBCF, soit pour l'exécution ou les performances après la pose. Selon nos spécifications, ces caractéristiques doivent répondre aux exigences de la norme NBN EN 13808 (Cadre de spécifications pour les émulsions cationiques de liants bitumineux).

Toutes les émulsions utilisées dans ce projet ont été caractérisées selon les es-

sais du tableau 1. En outre, des analyses supplémentaires ont été effectuées sur les liants résiduels en utilisant des techniques telles que la spectroscopie FT-IR, la DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) et le latroscan (technique de séparation chromatographique), afin d'avoir plus d'informations sur la nature et la composition générique du liant. Par exemple, il a été possible de déterminer si le bitume appartient au groupe des bitumes «naphthéniques» ou «paraffiniques». Dans le passé, on n'utilisait que des bitumes naphthéniques, car ils sont plus faciles à émulsionner et assurent une augmentation rapide de la cohésion du MBCF. Cependant, la disponibilité future de ce groupe de bitume est incertaine et un passage à des émulsions à base de bitume paraffinique est actuellement en cours.

	Méthode NBN	Mesure	Importance des caractéristiques pour la
Résidu au tamis	EN 1429	Stabilité au stockage / finesse	Mise en œuvre (rupture)
IREC	EN 13075-1	Type de rupture	Formulation/Mise en œuvre
pH	EN 12850	Acidité/basicité de l'émulsion	Formulation (joue sur la réactivité)
Temps d'écoulement	EN 12846-1	Viscosité	Formulation/Mise en œuvre
Teneur en liant	EN 16849	Teneur en bitume de l'émulsion	Formulation
Pénétrabilité (pen)	EN 1426	Dureté du liant résiduel	Comportement MBCF aux températures moyennes
T Anneau & bille (TA&B)	EN 1427	Point de ramollissement du liant résiduel	Comportement MBCF aux températures estivales

Tableau 1 – Caractéristiques utiles des émulsions de bitume pour les MBCF

Une autre caractéristique de l'émulsion de bitume, spécifiquement pour l'application dans les MBCF, est sa stabilité au contact du ciment. Du ciment est souvent ajouté aux MBCF, bien qu'en petites quantités (1 à 3 %), pour améliorer la consistance et influencer la vitesse de rupture. Une émulsion instable au contact du ciment peut être très sensible dans un MBCF à l'ajout de ciment ou à la modification de la quantité de ciment. Cette dernière se produit encore pendant l'exécution. Pour cette caractéristique, c'est la méthode d'essai NBN EN 12848 «Détermination de la stabilité des émulsions de bitume en mélange avec du ciment» qui a été utilisée. La norme spécifie l'utilisation d'un type de ciment standard, mais dans ce projet, l'influence du type de ciment a également été étudiée. Le résultat de l'essai s'avère très sensible au type de ciment. Cela indique que le fait de changer le type de ciment dans un MBCF peut également avoir des conséquences majeures sur la rupture et les performances du MBCF. En outre, l'étude a fait des recommandations pour l'amélioration de la norme NBN EN 12848.

Pour les routes à trafic plus intense, une émulsion à base de bitume modifié par des polymères est le bon choix. Le projet a principalement testé des émulsions à base de bitume modifié SBS et quelques émulsions modifiées au latex. Ces dernières sont des émulsions à deux phases composées d'une émulsion de bitume et d'une émulsion de latex. Elles ont été fournies par des producteurs étrangers dans le cadre des activités du groupe de travail RILEM TC280-CBE (*Cold Bitumen Emulsion Technologies*), auquel le CRR participe. Les émulsions de bitume modifiées au latex seraient plus faciles à produire et resteraient stables plus longtemps.

Dans le cas des émulsions de bitume modifiées par des polymères, des essais supplémentaires ont été effectués sur les liants résiduels: DSR (*Dynamic Shear Rheometer*, NBN EN 14770) pour déterminer le module de rigidité complexe et l'essai de Vialit (NBN EN 13588) pour déterminer la cohésion. L'application de cette dernière méthode d'essai a donné lieu à des recommandations pour l'amélioration de la norme. L'essai est distinct pour différents liants, mais malheureusement aucune corrélation n'a pu être établie avec les essais sur les MBCF. Il est probable qu'en plus de la cohésion du liant, de trop nombreux autres facteurs influencent la cohésion du MBCF.

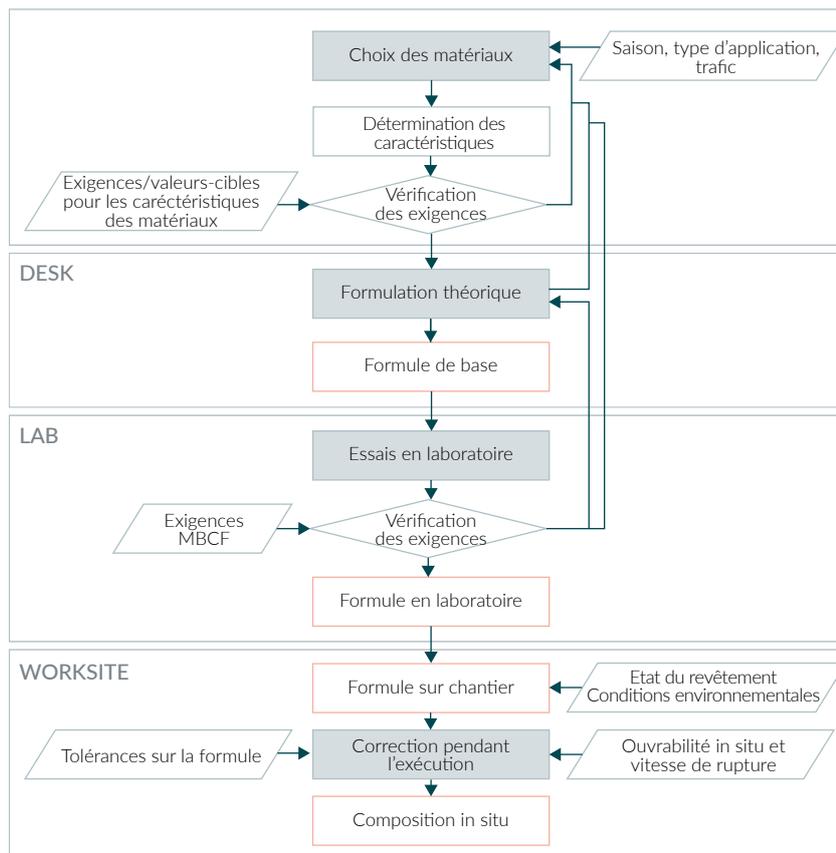


Figure 6 – Représentation schématique du processus de formulation

Par conséquent, l'essai est peu pertinent pour la caractérisation des émulsions pour les MBCF.

Procédure de formulation des MBCF

Une procédure a été élaborée pour la formulation des MBCF. L'objectif de la procédure est de trouver une bonne formule de mélange le plus rapidement possible, de manière efficace et avec un minimum d'essais. La procédure couvre toutes les phases de la formulation, du choix des matériaux à la mise en œuvre (figure 6).

Des recommandations ont été établies pour le choix des matériaux en fonction de la saison, de l'application et du trafic. Par exemple, dans le cas d'un trafic lourd, une émulsion de bitume modifié par un polymère sera choisie. Le choix ne repose pas seulement sur les caractéristiques des matériaux individuels, mais aussi sur les caractéristiques des combinaisons de matériaux. Pour évaluer la compatibilité entre le granulat choisi et l'émulsion de bitume, l'essai NBN EN 12274-7 est effectué et pour la stabilité de l'émulsion au contact du ciment, l'es-

sai NBN EN 12848 est effectué avec le type de ciment choisi.

Une phase théorique est prévue avant la phase d'essais en laboratoire sur MBCF. Lors de cette phase, une estimation théorique est faite de la quantité d'émulsion nécessaire, à partir de la granulométrie des granules. Dans cette phase, la granulométrie peut être ajustée. Pour le trafic lourd et rapide, une teneur en pierres plus élevée est choisie, en raison de sa stabilité et de sa plus grande rugosité. Une étude théorique préliminaire prend relativement peu de temps et évite d'avoir à «essayer» trop de variantes dans la recherche en laboratoire.

La phase de laboratoire utilise les essais que nous recommandons sur base de ce qui précède pour toutes les méthodes d'essai (tableau 2, p. 20). Ils sont classés selon leur complexité (temps et matériel requis) et sont donc de préférence exécutés dans cet ordre. Si l'on ne parvient pas à obtenir le résultat souhaité, il faut revenir à la formulation théorique ou modifier le choix du matériau. Une formulation efficace du mélange signi-

Caractéristique performantielle	Méthode d'essai	Résultat	Valeur-cible
Malaxabilité	Essai de malaxage manuel	Temps de malaxage (en s)	Temps de malaxage \geq 120 s
Consistance	NBN EN 12274-3	Écoulement (en cm, jusqu'à la 1 ^{re} décimale)	Écoulement entre 2,0 et 3,0 cm
Constitution de la cohésion (C)	NBN EN 12274-4	Couple de torsion (en Nm, jusqu'à la 1 ^{re} décimale)	Après 30 minutes: C \geq 1,2 Nm Après 60 minutes: C \geq 2,0 Nm
Résistance à l'usure/au plumage	NBN EN 12274-5	Perte de matériau (en g/m ²)	Perte de matériau \leq 540 g/m ²
Résistance au ressuage/à la déformation (*)	Essai d'orniérage avec conditions adaptées, en combinaison avec un essai à la tache de sable	Profondeur d'ornière (en mm) Profondeur de texture (en mm)	Pas encore établie

(*) optionnel, uniquement pour les «MBCF de haute qualité», donc le trafic plus lourd.

Tableau 2 – Méthodes d'essai et valeurs-cibles recommandées dans le cadre de la formulation du mélange

fié que toute modification du MBCF doit être très axée sur l'amélioration d'une performance particulière, sans avoir un impact négatif sur les autres performances. Cela nécessite une bonne compréhension de l'influence de tous les paramètres de mélange possibles sur les différentes performances. Ce projet a permis d'acquérir un maximum de connaissances à ce sujet, sur base des nombreux résultats d'essais et de données supplémentaires provenant de la littérature internationale. Pour certains paramètres, nous pouvons donc prévoir avec précision l'impact. Pour les autres paramètres, en revanche, ce n'est pas toujours possible, car beaucoup dépend de l'interaction avec les autres composants. Une certaine connaissance des propriétés physico-chimiques de l'émulsion utilisée et du ciment peut aider, mais cette connaissance n'est généralement pas à la disposition du producteur de MBCF. Les essais sur MBCF sont donc vraiment nécessaires pour déterminer finalement si une formule de mélange donnée fonctionne.

Enfin, des ajustements pourront éventuellement être faits sur le chantier lui-même, en fonction des conditions météorologiques. Il est toutefois fortement déconseillé de changer de composants à ce stade.

Le nouveau code de bonne pratique CRR pour les MBCF (Centre de Recherches

Routières [CRR], 2020) sera complété ultérieurement d'un chapitre consacré à la formulation. Ce code de bonne pratique est disponible sur le site web du CRR: <https://brrc.be/fr/expertise/expertise-aperçu/code-bonne-pratique-matériaux-bitumineux-coules-froid>.

Méthode d'inspection visuelle et recommandations d'exigences pour les cahiers des charges

L'objectif initial était d'évaluer et d'améliorer la norme existante NBN EN 12273-8. Cependant, l'application de la norme à un certain nombre de chantiers par différents inspecteurs a rapidement montré que la reproductibilité est problématique et peut difficilement être améliorée en adaptant la norme. Les causes de la faible reproductibilité ont pu être clairement démontrées, en particulier la combinaison de différentes dégradations dans un même résultat, une mauvaise définition des dégradations, l'absence de degrés de gravité par dégradations et l'estimation de la superficie des dégradations. C'est pourquoi une approche différente et le développement d'une nouvelle méthode CRR ont été résolument choisis.

La nouvelle méthode CRR part de définitions plus claires des dégradations (plumage, pelade, ressuage, etc.) et est basée sur l'idée de diviser la zone de chantier à inspecter en rectangles standardisés

(subdivisions) pour lesquels le degré de gravité des dégradations est enregistré. Le résultat donne le pourcentage des subdivisions touchées et le degré de gravité des dégradations. La nouvelle méthode CRR a été appliquée sur différents chantiers par différentes équipes d'inspection. Il a été possible de démontrer que les résultats sont reproductibles et que la méthode reflète avec précision l'évolution des dégradations dans le temps.

Sur base de cette nouvelle méthode d'inspection CRR, des exigences performantielles réalistes ont déjà pu être proposées pour la principale dégradation, le «plumage». Pour les autres dégradations, le traitement des données de toutes les inspections est toujours en cours, de sorte que la faisabilité d'éventuelles exigences performantielles ne peut être validée pour le moment. Il est recommandé d'adapter les spécifications de type en fonction des nouvelles exigences performantielles lors de la prochaine révision. Ce projet de recherche montre également que la période de garantie de trois ans imposée par la Wallonie pour les MBCF est réalisable.

Cette nouvelle méthodologie CRR sera expliquée plus en détail dans le code de bonne pratique CRR pour les MBCF (Centre de Recherches Routières [CRR], 2020).

L'idée de rapporter les dégradations non pas sur base de la superficie estimée, mais sur base de leur présence dans des sous-

divisions prédéfinies, a été reprise par le groupe de travail CEN/TC227/WG2, qui travaille actuellement sur une nouvelle méthode pour l'inspection des chantiers de MBCF au niveau européen (prEN 12274-9).

Recommandations pour l'exécution

Au cours des quatre dernières années, une vingtaine de chantiers ont été visités, dont plusieurs ont fait l'objet d'inspections visuelles. Si possible, la situation a été visualisée au préalable avec l'Imajbox®, un système de caméra monté sur un véhicule en mouvement (figure 7). Sur base des images, un indice visuel des chantiers MBCF (Iv_{MBCF}) a été déterminé, qui est une mesure de l'état structurel global de la route existante. Toutefois, Iv_{MBCF} est différent de l'indice visuel (Iv) décrit dans la méthode de mesure CRR MF 89: Inspection visuelle et gestion des réseaux routiers. L' Iv_{MBCF} utilise des facteurs de pondération adaptés pour donner plus d'importance aux dégradations structurelles qu'aux dégradations superficielles dans la couche de roulement. Lorsque Iv_{MBCF} est inférieur à un certain seuil ($Iv_{MBCF} < 0,7$), un recouvrement avec un MBCF n'a plus de sens et des interventions structurelles sont nécessaires. Les fissures et autres défauts locaux doivent en tout cas être traités ou réparés à l'avance, sinon ces dommages se répercuteront très rapidement sur le MBCF nouvellement posé (voir le code de bonne pratique (Centre de Recherches Routières [CRR], 2020).

La participation à ces chantiers nous a beaucoup appris sur les bonnes pratiques d'exécution. Un exemple est l'utilisation de compacteurs à pneus, qui augmentent la cohésion et donnent une texture uniforme. Ces recommandations, ainsi que d'autres recommandations de mise en œuvre, seront précisées dans le code de bonne pratique CRR pour les MBCF (Centre de Recherches Routières [CRR], 2020).

Conclusions

Le CRR dispose aujourd'hui d'un laboratoire dans lequel tous les essais de la série NBN EN 12274 sont opérationnels, ainsi que des essais supplémentaires utiles pour la caractérisation des composants, des combinaisons de composants ou du MBCF dans son ensemble. L'expertise et l'expérience acquises lors de ces essais sont au service de l'ensemble du secteur.

Ces recherches ont permis d'acquérir un niveau élevé de connaissances sur l'influence des composants, de la composition et des conditions environnementales sur les performances.

Une procédure de formulation du mélange a été établie. Grâce à une phase théorique préliminaire et à un ajustement ciblé du MBCF sur base des connaissances ci-dessus, une composition meilleure et plus durable peut être obtenue en moins de temps et avec moins de ressources.

Une nouvelle méthode pour l'inspection visuelle des défauts des MBCF a été mise au point. Contrairement à la méthode d'essai européenne actuelle, la reproductibilité est très bonne.

Les nombreux chantiers qui ont été suivis dans le cadre de ce projet permettent de faire des recommandations pour la mise en œuvre, ce qui améliorera la qualité et la durabilité des MBCF.

Perspectives

Il y a beaucoup d'avenir pour les MBCF, dans le cadre d'une gestion durable des routes avec des budgets limités. La demande d'application sur les routes à fort trafic va également augmenter.

Aujourd'hui, il n'est plus possible de continuer à se fier aux recettes connues pour les MBCF, car le secteur connaît beaucoup de mouvements et de changements. Quelques exemples:

- compte tenu de la disponibilité réduite du bitume naphthénique dans le futur, la production d'émulsions passe au bitume paraffinique. Le développement de ces émulsions n'est pas facile et les performances des MBCF ne doivent pas en être compromises;
- pour les applications sur les routes à trafic plus intense, il convient d'utiliser des émulsions avec des liants modifiés



Figure 7 – Imajbox®, pour visualiser l'état du revêtement

aux polymères. Dans notre pays, il s'agit généralement d'émulsions à base de bitumes modifiés SBS. À l'étranger, cependant, nous constatons une utilisation croissante des émulsions de bitume modifié à base de latex et il faut s'attendre à ce que celles-ci soient bientôt introduites en Belgique également;

- le type de ciment qui est généralement utilisé aujourd'hui dans notre pays (type CEM II/B-M (S-V) 32,5 N) disparaîtra du marché dans les années à venir en raison d'une pénurie de cendres volantes. D'autres types devront donc être utilisés. Cela nécessitera des ajustements des formules de MBCF, compte tenu de l'impact du type de ciment sur la rupture et les performances du MBCF.

Le secteur est donc confronté à de nombreux changements et à de nouveaux défis. C'est pourquoi il est important que les producteurs d'émulsion et les exécutants de MBCF puissent se préparer et utiliser au mieux les essais et les connaissances

disponibles. En partie grâce à ce projet, le CRR est prêt à aider le secteur à cet égard.

Remerciements

Ce projet a vu le jour grâce au soutien financier du NBN (conventions CCN/NBN/PN16A04,B04 et CCN/NBN/PN18A21,B21).

Nous souhaitons également remercier tous les fournisseurs, producteurs et exécutants de MBCF, pour leur agréable coopération; Eddy Wouters, Philippe Bourdon, Anne Fondu, Joeri Feremans, Erik Kestens, Philippe Peaureaux, Yerrick Pinte, Els Schelkens et Peter Vanelven, pour leurs efforts soutenus et le soin apporté aux nombreux essais, au suivi des chantiers et aux inspections visuelles; Tim Massart et Alain van Buylaere pour leur aide et le partage de leur expérience lors du développement de cette nouvelle méthode d'inspection.

Co-auteurs

Alexandra Destrée, Nathalie Piérard, Stefan Vansteenkiste, Bart Beaumesnil, Ben Duerinckx et Tine Tanghe.

Joëlle De Visscher
02 766 03 24
j.devisscher@brrc.be



Bibliographie

Centre de Recherches Routières (CRR). (2020). *Code de bonne pratique pour les matériaux bitumineux coulés à froid* (Recommandations CRR No R98 – V1). Bruxelles : Auteur.

Digital Workshops – Avancez sur l'autoroute numérique!

En 2019, le CRR et plusieurs partenaires actifs en matière de numérisation ont organisé le **Digi-Barometer**, un benchmark en ligne pour les entreprises en construction routière. Ses résultats ont montré qu'elles ont toutes – grandes et petites – trouvé la voie de l'autoroute numérique. Elles sont, pour la plupart, déjà très avancées en termes de gestion interne, d'organisation et d'automatisation, tandis que d'autres tendances sont encore en phase de découverte, comme le BIM. Tous les participants sont toutefois conscients de la pertinence d'une progression de la **numérisation** dans leurs métiers.

Pour inspirer les entreprises de construction routière dans le domaine des possibilités numériques, l'équipe du Digi-Barometer a décidé d'organiser en 2020 deux séries d'ateliers en ligne: une au début de l'été et une au mois de novembre. Lors de ces workshops, des études de cas et des témoignages concrets ont, entre autres, été partagés.

Vous avez assisté à l'un de ces Digital Workshops et trouviez le sujet intéressant? Vous avez envie d'en faire profiter vos collègues? Ou, au contraire, vous n'avez pas pu être des nôtres?

Vous trouverez sur notre site web les liens vers les enregistrements des différents **Digital Workshops**:

<https://brrc.be/fr/innovation/apercu-innovation/digital-workshops-avancez-lautoroute-numerique>

Vous pourrez ainsi les voir ou les revoir à votre guise.



Xavier Cocu
010 23 65 26
x.cocu@brrc.be



Le CRR mesure la déflexion des routes

Portance d'une route: attentes d'un usager de la route et d'un gestionnaire routier

Une route doit permettre aux personnes de se déplacer et aux marchandises d'être transportées confortablement et en toute sécurité pendant des décennies dans un grand nombre de véhicules. La portance de la structure routière doit être suffisante pour supporter les lourdes charges du trafic. Par conséquent, dans la phase de conception, la structure routière est dimensionnée pour le nombre prévu de véhicules pendant la durée de vie souhaitée de la route. La durée de vie théorique d'une route est généralement de vingt, trente ou quarante ans. Le trafic qui empruntera la route pendant cette période doit être prévu, généralement sur la base de comptages récents du trafic et d'une hypothèse de croissance annuelle du trafic au cours des décennies suivantes.

Les routes s'usent et les deux facteurs principaux de cette usure sont les conditions météorologiques et la charge du trafic. Lorsque le trafic réel correspond au trafic prévu dans la phase de conception, la structure de la route sera suffisamment solide pour supporter le trafic. Cependant, les matériaux utilisés dans la structure routière s'useront sous les charges imposées par les véhicules: les revêtements bitumineux peuvent se fissurer, des ornières peuvent se former, des fondations liées au ciment peuvent aussi se fissurer. La présence d'eau dans une fondation routière réduira la portance. Une mauvaise adhérence entre les différentes couches de la structure réduit la transition de la charge du trafic vers les parties inférieures de la structure routière et provoque un vieillissement accéléré des couches supérieures. Les calculs effectués lors de la phase de conception tiennent donc compte des déformations et des contraintes dues à la charge du trafic à différentes profondeurs, estimées critiques, de la structure routière, sur la face inférieure ou supérieure des différentes couches.

Le chargement de la route par un essieu provoque une petite déflexion temporaire de la route. Les mesures de déflexion mesurent la déflexion de la surface de la route causée par une charge contrôlée de la route. L'interprétation de

la courbe de déflexion fournit des informations intéressantes sur la portance d'une route existante.

Appareils traditionnels pour les mesures de déflexion

Pour les mesures de déflexion d'une route, il existe un grand nombre d'appareils différents.

- La «poutre de Benkelman» est une ancienne valeur parmi les appareils: une poutre avec un détecteur mobile est placée sur la route, un camion roule lentement en marche arrière à côté de la poutre, ce qui provoque le fléchissement de la surface de la route. Le détecteur mesure la déflexion. Cette mesure est très contrôlée mais aussi très lente. Le camion roule si lentement que la charge est presque statique.
- En bref, le déflectographe Lacroix français et sa version britannique utilisent la technique de mesure de la poutre de Benkelman montée sur un camion. Ces appareils peuvent prendre des mesures à une vitesse de 4 à 8 km/h tous les 5 à 10 m.
- Le Curviamètre aborde la question différemment avec trois géophones montés sur une chaîne: le mouvement contrôlé de la chaîne place un géophone à un endroit fixe sur la chaussée tandis que le camion assure une charge de passage sur la route. Les trois géophones mesurent à tour de rôle un point. Ainsi, la route est échantillonnée à 18 km/h tous les 5 m. Le Curviamètre a longtemps été le véhicule le plus rapide pour les mesures de déflexion, une dizaine ont été construits et sont toujours utilisés en Espagne, en France et en Amérique du Sud. L'inconvénient de toutes ces techniques est qu'elles ne permettent pas de mesurer avec suffisamment de précision les très petites déflexions des routes en béton.
- Le déflectomètre à masse tombante (FWD) est un appareil de mesure qui existe aussi depuis très longtemps. Il est maintenant utilisé dans le monde entier sur les routes et les aéroports et est considéré comme une nouvelle référence. Plusieurs centaines sont utilisés, dispersés sur toute la planète. La mesure avec un FWD se fait à l'arrêt: un

pois qui tombe transmet une force à la route pour simuler le passage d'un véhicule tandis que sept géophones ou plus, à différentes distances du lieu de l'impact, mesurent simultanément la déflexion de la route dans un court intervalle de temps.

- Le *Heavy Weight Deflectometer* (HWD) est une variante qui peut exercer des forces plus importantes et qui est utilisée sur les aéroports. Les géophones du FWD sont dix fois plus sensibles que ceux du Curviamètre et peuvent donc être utilisés sur des routes en béton. Vu que les mesures sont effectuées à l'arrêt, le FWD est un appareil de mesure idéal pour effectuer des mesures très spécifiques au niveau du projet. Outre l'évaluation de la portance, le FWD et le HWD sont également utilisés pour l'évaluation du transfert de force aux joints entre deux dalles de béton. Une fois de plus, l'inconvénient est que l'échantillonnage d'un point de mesure prend vite plusieurs minutes.
- Le *Fast FWD* est une adaptation moderne du FWD classique, qui permet de travailler deux à trois fois plus vite.

Mesures de déflexion à la vitesse du trafic

Tous ces appareils de mesure gênent le trafic. Cependant, pour pouvoir effectuer des mesures de déflexion avec un véhicule circulant dans le trafic, il faut utiliser des capteurs sans contact. Depuis les années 1990, des lasers ont été testés à cet effet avec un succès variable: un prototype du *Rolling Wheel Deflectometer* (RWD) est opérationnel aux États-Unis. Au début de ce siècle, le *Traffic Speed Deflectometer* (TSD) a été introduit sur le marché par la société danoise Greenwood. Le TSD utilise une série de lasers Doppler qui mesurent la vitesse à laquelle la route fléchit sous la charge du camion.

Actuellement 16 TSD ont été mis en service dans le monde, notamment en Allemagne, en Italie, en Pologne, au Danemark et en Angleterre, ainsi qu'en Australie et en Nouvelle-Zélande, en Afrique du Sud, aux États-Unis et en Chine. Ils font un rapport tous les 10 m et roulent à des vitesses allant jusqu'à 80 km/h. La version la plus récente des lasers Doppler devrait

permettre de mesurer et de signaler de plus petites déflexions à des distances plus courtes que tous les 10 m, mais cela est encore à l'étude et en phase expérimentale. Il y a quelques années, la société Dynatest a développé le Raptor, avec un type de laser différent: les mesures de trois lasers ligne consécutifs se superposent et une méthode de calcul ingénieuse permet d'obtenir des déflexions. Le Raptor a maintenant été repris par la société Ramböll et il reste à voir si cette technologie sera utilisée plus souvent.

Mesures de déflexion par le CRR

Équipement

Le CRR réalise déjà depuis longtemps des mesures de déflexion: dans un premier temps avec une poutre de Benkelman, plus tard avec un déflectographe Lacroix de type long, qui a à son tour été remplacé en 1994 par le Curviamètre, mis hors service en 2019. En 2004, on a investi dans un déflectomètre à masse tombante (FWD) avec neuf géophones. Récemment, le CRR a fait l'acquisition d'un *Fast Falling Weight Deflectometer* (Fast-FWD, ci-dessous), également avec neuf géophones, qui remplacera prochainement le FWD vieux de 16 ans.

Le nouveau Fast-FWD est équipé d'un GPS intégré, qui permet de référencer plus facilement les résultats de mesure sur une carte s'il n'y a aucun point de réf-

rence (poteaux hectométriques, numéros de maison, poteaux d'éclairage, etc.) dans les environs. Cela se produit dans les espaces ouverts tels que les parkings et les zones industrielles. Une autre application du GPS est de pouvoir trouver rétrospectivement une position où une mesure FWD a été effectuée afin de procéder à un carottage.

Afin d'interpréter correctement les déflexions mesurées, il faut connaître la structure de la route: les épaisseurs de couches et les matériaux utilisés. Ces informations font souvent défaut pour les routes plus anciennes et il est utile de pouvoir mesurer les épaisseurs de couches. En combinant des mesures continues à l'aide d'un géoradar (*Ground Penetrating Radar*, GPR) avec quelques carottages bien ciblés, il est possible de se faire une bonne idée de la structure de la route. Nous constatons que les utilisateurs d'appareils de mesure des déflexions utilisent également le GPR. C'est également le cas du CRR, qui a investi dans son propre GPR depuis 2010 et s'est équipé d'antennes de différentes fréquences, adaptées à diverses situations et applications.

Qualité des mesures

Afin de pouvoir fournir des résultats de mesure de haute qualité, il est important de maîtriser entièrement l'appareil de mesure, de surveiller régulièrement la qualité de ses propres mesures, d'échanger des expériences avec d'autres utili-



sateurs d'un tel appareil de mesure et de participer à des mesures comparatives.

Les appareils de mesure étant plutôt rares, les utilisateurs cherchent à établir des contacts par-delà les frontières. Pour garantir la qualité des FWD, des campagnes de mesures comparatives sont organisées aux Pays-Bas (par le CROW, tous les deux ans), en Allemagne (par le BAST, chaque année) et en Angleterre (par TRL, tous les deux ans). En France, le STAC organise régulièrement des mesures comparatives pour les HWD et les FWD qui font des mesures dans les aéroports. Le CRR et l'AWV participent souvent aux mesures comparatives aux Pays-Bas. Le CRR a également participé à deux reprises à celles qui ont eu lieu en Allemagne et une fois en



France.

Echange d'expériences

Aux États-Unis, une réunion annuelle est organisée pour les utilisateurs de FWD. En Europe, neuf rencontres de ce type ont déjà été organisées par des utilisateurs européens au cours des vingt dernières années et le CRR a organisé l'une d'entre elles à Sterrebeek en 2010. Le site web du *European Users' Group* est hébergé par le CRR.

L'action COST 336, l'un des projets soutenus par l'UE qui rassemble les utilisateurs de FWD, a publié un document important contenant des recommandations détaillées pour l'utilisation du FWD. Le rapport est presque prénormatif et constitue la principale référence européenne pour les utilisateurs de FWD. Le CRR a également contribué à ce document.

Le DaRTS group (*Deflections at near Road Traffic Speed*) a été mis sur pied à l'initiative de TRL et *Highways England* en 2012 et a pour but de pouvoir suivre de près les développements les plus récents sur les mesures de déflexion. Le groupe s'est déjà réuni treize fois depuis sa création. Il s'agit d'un cercle sélectif composé de chercheurs, de prestataires de services et de gestionnaires routiers du monde entier, dont la plupart utilisent le TSD. Le groupe a été complété par des utilisateurs du Curviamètre et par le fabricant du Raptor. Le CRR a été invité dès la toute première réunion du DaRTS group, en raison de notre longue expérience avec le Curviamètre. Le DaRTS group se réunit souvent en marge de conférences ou d'ateliers auxquels les membres contribuent régulièrement par des présentations et des articles. L'intérêt des utilisateurs du TSD du DaRTS group pour les expériences avec le Curviamètre a incité le CRR à organiser un atelier sur le Curviamètre en 2015, comme déjà mentionné dans le Bulletin CRR 102. Notre présence au sein du DaRTS group nous permet de suivre les derniers développements dans le domaine des appareils pour les mesures de déflexion. Grâce à notre participation active au DaRTS group et au groupe d'utilisateurs européens de FWD, nous sommes connus dans le monde entier et sommes un interlocuteur privilégié.

Le FeHRL a lancé le groupe de travail *Bearing Capacity at Traffic Speed* (BeCaTS), qui

travaillera sur des documents standard sur l'utilisation d'appareils tels que le TSD et le Raptor et l'interprétation de leurs résultats de mesure. Une initiative semblable a également été lancée aux États-Unis avec le projet NCHRP 10-105 *Verification of Traffic Speed Deflection Devices' (TSDDs) Measurements*, principalement destiné aux TSD et RWD. La dernière réunion du DaRTS group a abouti à des échanges fructueux. Il existe également un groupe d'utilisateurs du TSD, qui échange des expériences directement liées à cet appareil de mesure spécifique.

Services au secteur

Chaque année, les gestionnaires routiers font appel au CRR pour évaluer la portance des routes. Les applications sont de nature diverse: tronçons de route dans des zones industrielles, gérées par des communes, des intercommunales ou *Brussels Airport Company*, routes autour des bâtiments d'une société de distribution, mesures dans les nouvelles installations WIM du SPW, sur les quais d'un terminal à conteneurs. Dans le passé, le SPW a également fait appel au CRR pour des mesures en vue de l'élaboration d'un cahier des charges pour des projets spécifiques.

Dans le cadre d'un projet PPP aussi, il a été demandé au CRR d'effectuer des mesures de déflexion et de les interpréter, afin de rendre compte de l'état *as-built* à l'AWV. Juste après la construction d'une nouvelle route, il est intéressant d'effectuer une première mesure qui fournit des données sur l'état initial de la route. Les mesures ultérieures, lorsque la structure routière est fatiguée, peuvent alors être comparées à l'état initial.

Au niveau du projet, les mesures de déflexion peuvent donner une indication des faiblesses locales dans la structure routière d'une route existante. De cette façon, le gestionnaire routier peut le cas échéant renforcer la fondation de manière ciblée. La possibilité de telles interprétations dépend fortement de la nature de la structure routière et nécessite une expertise.

Dans le passé, nous avons formé les futurs utilisateurs du FWD et aidé des étudiants en leur fournissant des informations et de la documentation. Le FWD a également été utilisé dans certains projets de recherche subventionnés. Le Fast-FWD

continuera à être utilisé à des fins de recherche à l'avenir.

Comme son prédécesseur, le Fast-FWD sera déployé au niveau du projet pour permettre aux gestionnaires routiers d'évaluer la portance restante de la structure routière existante. Le Fast-FWD peut être utilisé en combinaison avec un géoradar sur les petits réseaux routiers, tels que les zones industrielles, où circulent de nombreux poids lourds, afin d'évaluer rapidement l'ensemble du réseau routier et de fixer des priorités pour améliorer la portance. Dans le passé, nous avons également utilisé le FWD pour évaluer le transfert de charge au niveau des joints de routes en dalles de béton. Cette caractéristique des dalles de béton ne peut être confondue avec le battement des dalles, qui peut être mesuré à l'aide du Faultimètre. Les recherches menées par le CRR ont précédemment montré une conformité entre les deux mesures, mais pas une relation de 1 à 1, le transfert de charge et le battement étant deux phénomènes différents.

Le CRR est toujours disponible pour réaliser des mesures à l'aide du Fast-FWD pour le compte d'entrepreneurs, de gestionnaires routiers ou d'autres parties comme dans le cadre d'un contrat PPP.

Personne de contact pour commander les mesures

Tim Massart
010 23 65 43
t.massart@brrc.be



Plus d'informations sur le Fast-FWD et d'autres appareils pour les mesures de déflexion

Carl Van Geem
010 23 65 22
c.vangeem@brrc.be



Le CRR et l'AWV testent ensemble des diffracteurs sur un écran bas le long de la N445 à Zele

Un diffracteur, qu'est-ce que c'est?

Les diffracteurs sont une invention¹ récente qui peut contribuer à réduire l'exposition des habitations situées à proximité d'axes routiers. Ils consistent en une série de fentes étroites de profondeurs variées, disposées parallèlement à l'axe de la route. Le bruit de la circulation qui se propage par le sol et passe sur le diffracteur en direction des maisons voisines fait vibrer l'air dans les fentes comme s'il s'agissait de longs tuyaux d'orgue plats. Les différentes fentes vibrent à des longueurs d'onde différentes et forment à leur tour des sources de bruit secondaires, dont le bruit dévie vers le haut le bruit excessif de la circulation. Il en résulte une réduction de l'exposition au bruit de la circulation au niveau des habitations.

Aux Pays-Bas, des diffracteurs ont déjà été intégrés dans le sol à plusieurs endroits (figure 1), ce qui entraîne typiquement une réduction du bruit de 2 à 3 dB.



Figure 1 – Diffracteurs en béton préfabriqué, intégrés dans le sol. Hummelo, province de Gelderland, Pays-Bas, 2015 (4SILENCE)



Figure 2 – Diffracteurs temporaires sur écran bas le long de la N445 à Zele, 2019

Toutefois, lorsque les diffracteurs sont placés sur un écran bas, des réductions beaucoup plus importantes sont possibles, du moins à des distances plus courtes du système. En 2017 déjà, le CRR a mené avec l'AWV une campagne de mesures le long d'un dispositif temporaire près d'une route secondaire à Enschede, aux Pays-Bas. Cette campagne a donné des résultats encourageants, jusqu'à 9 dB de réduction pour le bruit des voitures, alors que la hauteur de l'écran et des diffracteurs n'était que de 45 cm.

Un premier dispositif en Flandre

Durant l'été 2019, à la demande de l'AWV, un dispositif temporaire de 140 m de long a été placé le long de la N445 à Zele, dont le revêtement routier récent est constitué de dalles de béton goudonnées. Le dispositif se composait de diffracteurs d'une largeur de 1,05 m, placés sur un écran de 1,10 m de haut

(figure 2). L'objectif était de mesurer à de plus grandes distances et à différentes hauteurs pour voir si cette mesure pouvait être utile pour des routes régionales à 2 x 1 voie avec des habitations à proximité immédiate.

Des mesures de bruit ont été effectuées à 15, 50 et 70 m derrière les diffracteurs, ainsi qu'à un endroit similaire mais sans diffracteurs, à titre de référence. Une voiture particulière roulant à 70 km/h et un camion roulant à 50 km/h ont été utilisés comme source de bruit. A chaque fois, le niveau sonore maximal au passage a été mesuré. Les deux passages ont été pris en compte, dans la voie adjacente et dans la voie opposée aux diffracteurs, afin d'évaluer l'influence de la distance de la source de bruit. Les réductions de bruit mesurées en fonction de la distance et pour la voiture particulière se trouvant dans la voie la plus proche sont indiquées à la figure 3.

Pour une voiture particulière sur l'autre voie, la réduction est un peu moins importante, surtout pour un observateur à courte distance du dispositif, et cela s'applique également à un camion comme source de bruit.

Détermination de l'effet net du diffracteur

Une question importante de l'étude à laquelle les mesures effectuées à Zele n'ont pas permis de répondre de manière satisfaisante est la suivante: quelle partie des réductions de bruit est due à l'effet de l'écran bas et quelle partie est due aux diffracteurs mêmes? C'est ce qui a conduit, en juin 2020, l'AWV et le CRR à effectuer conjointement une série de mesures supplémentaires sur un site spécial à Twente (un aéroport qui a été déclassé) avec un dispositif similaire à celui de Zele. A cet endroit toutefois, il y avait aussi un écran exactement de la même hauteur, mais sans diffracteur. Des mesures similaires y ont été effectuées avec une voiture particulière et un camion, les véhicules passant

1 Développée à l'Université de Twente, aux Pays-Bas et commercialisée par la société 4SILENCE.

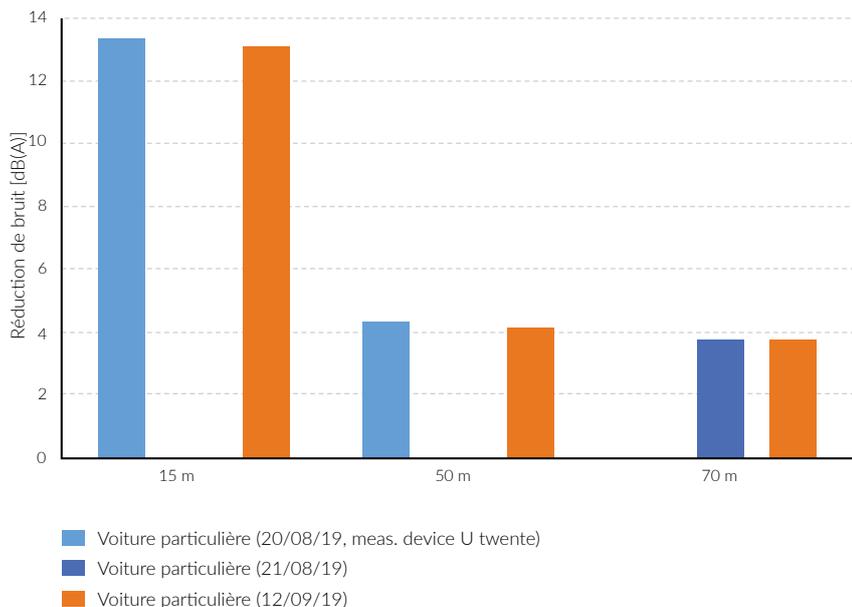


Figure 3 – Différence de niveau sonore avec et sans dispositif d'essai pour les voitures particulières sur la voie de circulation la plus proche (Vanhooreweder & Goubert, s.d.)

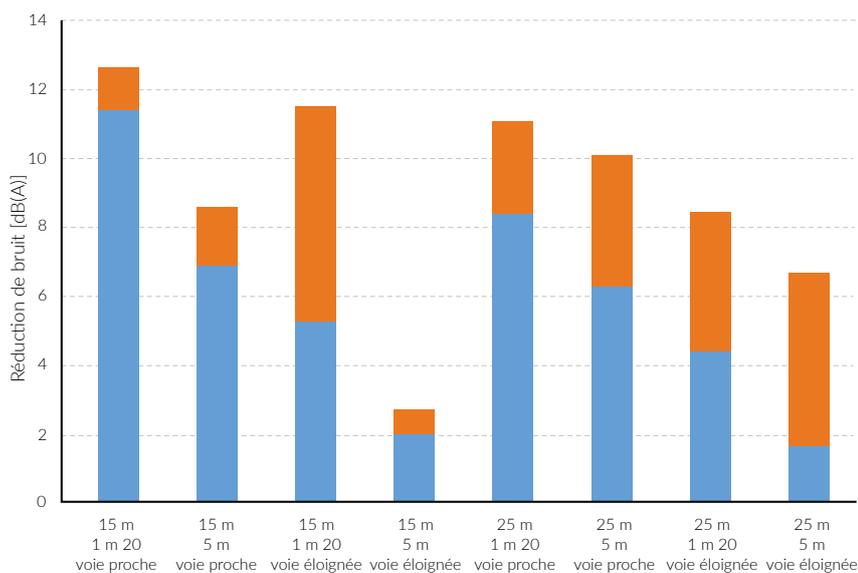


Figure 4 – Différence de niveau sonore avec et sans dispositif d'essai pour la voiture particulière; la partie rouge est la part des diffracteurs; la partie bleue est celle de l'écran absorbant de 1 m de haut; pour les libellés en abscisse, le chiffre supérieur est la distance de l'observateur par rapport à la face avant de l'écran; le deuxième chiffre est la hauteur de mesure et, enfin, il est également indiqué sur quelle «voie» (fictive) la voiture particulière se trouvait (Vanhooreweder & Goubert, s.d.)

à la même distance des dispositifs et à la même vitesse que lors de l'essai à Zele.

Il s'avère que la contribution des diffracteurs et du mur varie en fonction de la situation. L'écran seul offre une grande réduction du bruit lorsque l'observateur et la source se trouvent tous deux près des

diffracteurs sur un écran bas (et du microphone à faible hauteur). Dans cette situation, les diffracteurs n'apportent qu'une contribution marginale. La contribution des diffracteurs est par contre significative lorsque l'observateur et/ou la source sont éloignés du dispositif, sauf lorsque la ligne de mire n'est plus interrompue. C'est

le cas d'un microphone à 5 m et d'une voiture dans la voie la plus éloignée.

Conclusions

Le dispositif complet (un mur absorbant d'1 m de haut surmonté de diffracteurs) fournit de belles réductions de bruit sur une route de 2x1 voie. A une distance un peu plus grande, le diffracteur contribue significativement (environ 3 dB) à la réduction totale du bruit.

Les réductions totales de bruit mesurées sont inférieures à celles d'un mur antibruit classique de 4 m de haut (= 12 dB(A) à 30 m et 10 dB(A) à 50 m), mais la gêne visuelle pour les riverains et les usagers de la route est très limitée en raison de la faible hauteur du dispositif d'essai. L'effet réducteur de bruit peut être comparé à un revêtement routier AGT, mais avec l'avantage que l'effet acoustique ne diminue pas avec le temps et que la durée de vie fonctionnelle est beaucoup plus longue (comparable aux écrans antibruit). L'inconvénient est qu'un revêtement AGT est une mesure à la source et que l'effet est perceptible beaucoup plus loin qu'avec une mesure de transfert.

Bibliographie

Vanhooreweder, B. & Goubert, L. (s.d.). *Rapport: Proefproject diffractoren N445 Zele (Zomer 2019), vliegbasis Twente (Juni 2020)*. S.l.: Auteurs

Luc Goubert
02 766 03 51
l.goubert@brrc.be



Barbara Vanhooreweder
(AWV)





Le CRR analyse la performance et la durabilité de coussins berlinois en caoutchouc à Bruxelles

En 2016, Bruxelles Mobilité (via sa Direction Gestion et Entretien des Voiries) a souhaité tester plusieurs types de coussins berlinois en caoutchouc ne nécessitant pas d'ouverture dans le revêtement. Afin d'évaluer notamment la durabilité et la performance de ces dispositifs, elle a fait appel au CRR. Le CRR a entrepris de suivre le processus de sélection des sites, de choix des coussins et le placement de ceux-ci. Six coussins berlinois ont été installés avenue Louise, sur la contre-allée. Afin de procéder aux évaluations, des mesures (analyse du trafic, bruit et vibrations) et des observations (évolution de l'état des coussins et des revêtements) sur site ont été réalisées par le Centre durant ces trois dernières années.

Par ailleurs, afin également d'évaluer l'effet acoustique et vibratoire de ces dispositifs, Bruxelles Environnement a organisé le placement de sonomètres et d'accéléromètres sismiques en bordure de voirie.

Au terme de ce travail, le CRR a rédigé un rapport regroupant l'ensemble des

données collectées par les différentes parties. Certains enseignements sur la durabilité de ces coussins en caoutchouc ainsi que leurs effets, d'une part sur le trafic, et d'autre part sur l'environnement au travers des effets acoustiques et vibratoires sont également présentés. Cet article donne un aperçu des informations reprises dans ce rapport, dont le contenu complet est disponible sur simple demande auprès du CRR.

■ Méthodologie

Au total, six coussins, de trois modèles différents provenant de trois fournisseurs, ont été installés en six emplacements de l'avenue Louise, dans la contre-allée. Les emplacements ont été sélectionnés stratégiquement au regard des données collectées sur le terrain par le CRR (deux types de revêtement et des sections avec des volumes de trafic différents).

Le tableau 1, p. 29 présente les trois coussins berlinois fabriqués en caoutchouc vulcanisé. Chacun présente une

longueur de 2 m, une largeur de 1,80 m et une hauteur de 65 mm.

Nos équipes ont effectué deux campagnes d'analyses du trafic à l'aide de compteurs à tubes pneumatiques (type Metrocount MC5600) et un radar à effet Doppler (type Icoms TMS SA), avant et après le placement des coussins berlinois. La première campagne a eu lieu du 8 au 16 novembre 2017 et la seconde du 6 au 13 novembre 2018.

Plusieurs données ont été collectées afin d'évaluer l'effet des coussins:

- vitesses des véhicules avant et après placement afin d'évaluer l'effet du coussin du point de vue de la modération des vitesses pratiquées (efficacité);
- volume et type de trafic, dans l'optique d'évaluer la résistance du coussin aux sollicitations du trafic.

Complémentairement à ces mesures, le CRR a réalisé quatre visites sur site en mars 2017, juillet 2018, avril 2019 et mai 2020, sous la forme d'inspections

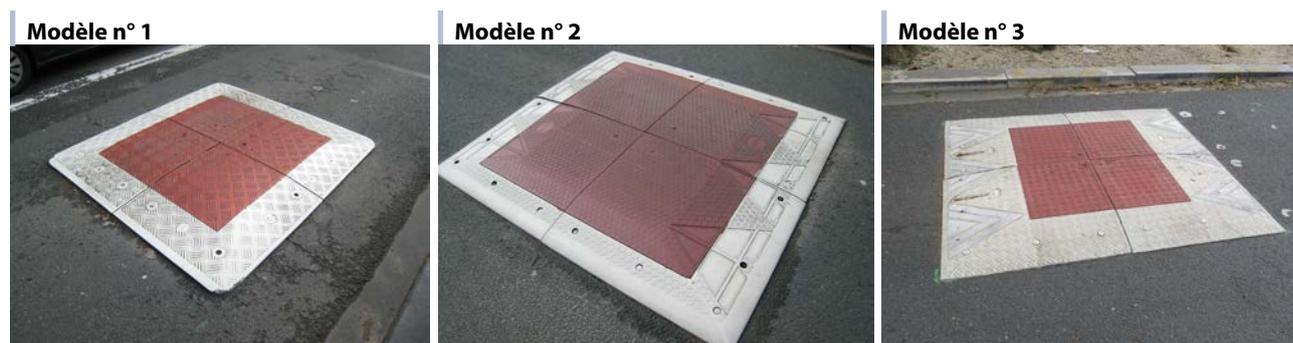


Figure 1 – Différents modèles de coussins

Site	Localisation du coussin (n° d'habitation)	Modèle du coussin	Équipement d'analyse du trafic
1	N° 360	Modèle n° 1	Radar Doppler
2	N° 322	Modèle n° 2	Pas de mesures réalisées sur ce site
3	N° 280	Modèle n° 3	Tubes pneumatiques
4	N° 230	Modèle n° 2	Tubes pneumatiques
5	N° 208	Modèle n° 1	Pas de mesures réalisées sur ce site
6	N° 120	Modèle n°1	Tubes pneumatiques

Tableau 1 – Lieux des coussins et équipements de mesure

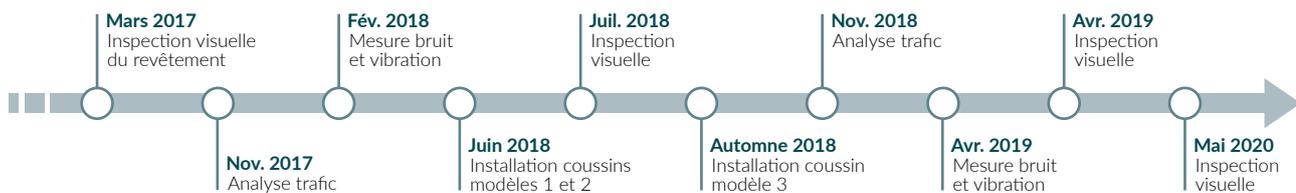


Figure 2 – Dates des mesures et interventions effectuées

visuelles afin d'observer l'évolution de l'état du revêtement et des coussins.

Par ailleurs, une campagne de mesures a été conduite par Tractebel, à la demande de Bruxelles Environnement, pour déterminer les effets acoustiques et vibratoires des coussins. Durant la campagne, des mesures de vibrations ont été effectuées avant et après l'installation, à hauteur des n° 270 et n° 116, et des mesures acoustiques ont été réalisées à hauteur du n° 120, également avant et après l'installation du coussin. Le rapport a été fourni au CRR afin d'être intégré dans l'analyse.

La figure 2 résume de façon schématique les mesures et interventions effectuées (type et période).

Résultats

Les résultats relatifs à l'ensemble de ces mesures sont présentés à l'aide de fiches types. Pour chaque site, une fiche est proposée, comprenant toutes les informations disponibles pour cette localisation. Chaque fiche contient les informations reprises ci-après.

- **Localisation**: présentation schématique du site avec l'endroit du coussin et les points de mesure.
- **Caractéristique du site**: distance entre le début de la section et le coussin, pré-

sence éventuelle d'un passage pour piétons, d'emplacements de stationnement, position du coussin sur la largeur de la voie, etc.

- **Type et état du revêtement.**
- **Modèle du coussin.**
- **Date d'installation.**
- **Etat du coussin**: évolution de l'état du coussin après les inspections visuelles avec des photos (du 23 juillet 2018 au 14 mai 2020).
- **Volume de trafic et types de véhicules (si ces données sont disponibles)**: nombre de véhicules par jour et répartition des véhicules en différentes catégories: vélos, motos, voitures, camionnettes, camions et bus, camions articulés. Evolution du trafic en 2018 par rapport à 2017.
- **Effet du coussin sur les vitesses pratiquées (si données disponibles)**: comparaison de la vitesse des véhicules avant et après installation du coussin.
- **Bruit et vibration (si données disponibles)**: analyse du rapport mis à disposition par Bruxelles Environnement, comparant les effets des coussins en matière de bruit et vibration avant et après installation.

Conclusion

Etat des coussins

Le type de trafic est quasiment identique pour tous les sites avec une majorité de voitures (74 %) et environ 5 % de bus et camions (LTB). Le volume de trafic est re-

lativement conséquent sur toute l'avenue avec un maximum de 6 847 véhicules par jour pour le site 4.

Cette étude se voulait principalement exploratoire. Elle n'avait pas pour prétention de développer un protocole d'essai complet permettant d'explorer en détail tous les cas de figure. Sur la base des informations disponibles, il n'est dès lors pas possible d'établir une conclusion robuste à propos de la durabilité des différents modèles de coussin testés, ni de faire un lien entre la résistance d'un modèle de coussin et le type et la densité du trafic. En effet, d'une part le nombre de sites disponibles est insuffisant pour couvrir toutes les combinaisons de paramètres variables, et d'autre part, les données de trafic ne sont pas disponibles pour l'ensemble des sites.

Cependant, des premiers éléments de réflexion peuvent être établis à propos de l'usage de ce type de coussins. En effet, au terme de cette étude, on peut constater que deux des six coussins installés ont dû être enlevés, après 1,5 à 2 ans. Après deux ans, trois des quatre autres dispositifs présentent des traces d'usure sensibles au niveau du passage des roues des voitures (coins et bords). Il conviendra de continuer à observer l'évolution de ces dégradations et de vérifier la stabilité des éléments des coussins au cours des prochains mois.

A la vue de ce seul résultat, par précaution, et dans l'attente d'une étude plus

Sites	Modèle	2019					Dates Installation - Retrait	Type du revête- ment	Etat du revêtement (2020)	Etat du coussin (2020)
		Total/ jour	Auto (%)	Van (%)	LTB (%)	ATT (%)				
Site 1 (n° 360)	Modèle n° 1	4800	/	/	/	/	06/2018 - /	Stone Mastic Asphalt	Fissures dans le revêtement	Bords du coussin abimés
Site 2 (n° 322)	Modèle n° 2	/	/	/	/	/	06/2018 - /	Stone Mastic Asphalt	Aucune fissure, bon état	Aucune déformation, bon état
Site 3 (n° 280)	Modèle n° 3	5544	75 %	7 %	3 %	0,4 %	11/2018 - 05/2020	Stone Mastic Asphalt	Dégradations superficielles du revêtement	Détachement des éléments et retrait du coussin
Site 4 (n° 230)	Modèle n° 2	6847	74 %	8 %	5 %	0,5 %	06/2018 - /	Schlamm	Légères fissures	Petits détachements aux bords du coussin
Site 5 (n° 208)	Modèle n° 1	/	/	/	/	/	06/2018 - 05/2020	Schlamm	Traces de produit d'adhé- rence après retrait	Détachement des éléments et retrait du coussin
Site 6 (n° 118)	Modèle n° 1	5343	73 %	6 %	4 %	0,4 %	06/2018 - /	Stone Mastic Asphalt	Aucune fissure, bon état	Bords du coussin abimés

Tableau 2 – Etat des coussins (Van= Camionnette, LTB= Light Truck and Bus, ATT= Art. and Trail Truck)

complète, on ne peut que recommander de restreindre l'usage de ces modèles de coussins fixés sur la chaussée à des installations temporaires de quelques mois, pour des voiries dont le trafic journalier moyen est de l'ordre de 5 000 à 6 000 véhicules. Leur usage pouvant être envisagé sur une période plus longue sur des voiries supportant un trafic local réduit.

Effet des coussins sur la vitesse

Le tableau 3 indique clairement que l'installation des coussins a eu un effet positif sur la réduction des vitesses pratiquées.

Nous pouvons observer qu'après installation des coussins, la vitesse des véhicules sur tous les sites a diminué, et ce quel que

soit le modèle de coussin. La réduction de la vitesse caractéristique du 85^e percentile (V85) varie entre 2 et 7 km/h, selon la vitesse V85 initiale et la distance entre le dispositif et le point de mesure. Les résultats démontrent que la proportion de véhicules circulant au-delà de 30 km/h a sensiblement diminué.

Bruit et vibration

Des mesures de bruit ont été effectuées au niveau du site 6 (n° 116). Selon le rapport de Tractebel, il n'y a presque pas de différence de bruit entre les résultats obtenus avant et après installation des coussins. Cependant, les valeurs de bruit en 2018 et 2019 sont supérieures aux valeurs de bruit de référence communément tolérées.

Des mesures de vibration ont été réalisées sur le site 6 (n° 116) et le site 3 (n° 270). D'après le rapport de Tractebel, les niveaux de vibration après installation des coussins ont légèrement augmenté.

Perspectives

Cette étude exploratoire permet de mieux cerner le cadre d'usage des coussins berlinois en caoutchouc fixés sur la chaussée et ne nécessitant donc pas d'ouverture dans le revêtement. Toutefois, comme indiqué précédemment, le nombre de sites disponibles a été insuffisant pour couvrir toutes les combinaisons de paramètres variables. Par ailleurs, le cadre de l'étude, et le contexte

Sites	Modèle	2017		2018		Distance entre coussin et point de mesure	Réduction V85
		V85 km/h	> 30 km/h	V85 km/h	> 30 km/h		
Site 1 (n° 360)	Modèle n° 1	42	64 %	39	51 %	41 m	- 3 km/h (7 %)
Site 2 (n° 322)	Modèle n° 2	/	/	/	/	/	/
Site 3 (n° 280)	Modèle n° 3	37	44 %	33	26 %	29 m	- 4 km/h (11 %)
Site 4 (n° 230)	Modèle n° 2	40	49 %	38	34 %	28 m	- 2 km/h (5 %)
Site 5 (n° 208)	Modèle n° 1	/	/	/	/	/	/
Site 6 (n° 118)	Modèle n° 1	42	68 %	35	39 %	22 m	- 7 km/h (17 %)

Tableau 3 – Effet des coussins sur la vitesse pratiquée

local propre à chaque site n'ont pas permis de collecter des données de trafic complètes pour l'ensemble des sites, ni même de mener une étude approfondie de l'état de la structure des voiries. Réalisés de nuit, dans le cadre d'un contrat général d'entretien, le placement des dispositifs n'a pas pu être complètement documenté.

Cette première étude présente donc diverses lacunes qu'il serait utile de combler dans le cadre d'une éventuelle future analyse plus détaillée.

À la suite de la présentation de ce rapport auprès de Bruxelles Mobilité et Bruxelles Environnement, il a été décidé que les éventuelles prochaines installations de ces coussins sur voirie régionale bruxelloise puissent être suivies par nos équipes afin de compléter différents paramètres et de continuer à approfondir l'expertise dans ce domaine.

Si vous êtes entrepreneur ou gestionnaire de voiries régionales ou communales et que vous témoignez d'une certaine expérience en matière de placement de ces dis-

positifs ou par rapport à la durabilité/aux effets de ceux-ci, n'hésitez pas à nous en informer. Nous verrons ensemble comment tirer le meilleur profit de ces éléments.

Ertan Dzhambaz
010 23 65 19
e.dzhambaz@brrc.be



Une nouvelle publication CRR est maintenant disponible! Méthode pour représenter et mesurer la couleur des chantiers d'enrobés colorés



d'essai plus objective pour cartographier la couleur in situ des enrobés bitumineux colorés directement sur le chantier et la mesurer lorsque cela est possible.

Cette méthode MF 99 comprend:

- une inspection visuelle de la chaussée en termes de couleur;
- l'utilisation d'un spectrophotomètre dans les zones mesurables;
- le traitement et l'expression des résultats des mesures de couleur dans les zones mesurables.

Cette méthode est destinée à représenter la couleur d'un chantier en enrobé coloré. Il est important de souligner qu'elle:

- ne conduit pas à un résultat univoque de la couleur de l'ensemble du chantier;
- n'indique pas si la couleur du chantier est conforme ou non.

La méthode est à considérer comme un outil permettant:

- de représenter l'homogénéité de la couleur du chantier;
- de cartographier les éventuelles sections présentant des hétérogénéités (et/ou des salissures) qui ont un impact sur la couleur;
- d'identifier les zones où des mesures de couleur peuvent être effectuées de manière judicieuse (on parle de zones «mesurables» dans cette méthode d'essai) avec le spectrophotomètre (type 45°/0°);

- de mesurer la couleur dans les zones identifiées comme mesurables.

Cette méthode n'aurait pas vu voir le jour sans la collaboration proactive des membres du groupe de travail CRR BAC-6 «Revêtements colorés» et des collaborateurs de la division Chaussées asphaltiques, autres applications bitumineuses et chimie du CRR. Nous les remercions chaleureusement!

Actuellement, cette méthode est uniquement disponible en version électronique sur le site du CRR:

<https://brrc.be/fr/expertise/expertise-aperçu/methode-representer-mesurer-couleur-chantiers-denrobés-colorés>

La perception de la couleur est une interprétation subjective de certains stimuli et elle varie grandement d'une personne à l'autre. Cette perception dépend de différents facteurs tels que l'état du revêtement, les conditions atmosphériques et l'observateur et sa position.

Sur chantier, cette subjectivité de la couleur peut mener à de nombreuses discussions entre les différents intervenants impliqués dans l'exécution d'enrobés colorés. Le revêtement bitumineux coloré mis en œuvre peut sembler bordeaux/brun pour une personne et rouge pour une autre.

Afin de proposer une solution à ce problème, le CRR a mis au point une méthode

Alexandra Destrée
02 766 03 88
a.destree@brrc.be



Ann Vanelstraete
02 766 04 02
a.vanelstraete@brrc.be





Belgisch **Wegen**congres
Congrès belge de la **Route**

LEUVEN • 4-7.04.2022

De **weg** ter harte
Au cœur de la **route**



Report du 24^e Congrès belge de la Route

Nouvelles dates: du 4 au 7 avril 2022 – Campus Gasthuisberg, KULeuven, Louvain

Dans le contexte actuel de la pandémie covid 19, le Comité d'Organisation du **Congrès belge de la Route** a pris la décision de reporter la **24^e édition**, afin de pouvoir tenir ce congrès sous son format habituel, alliant échanges de connaissances et moments de réseautage.

Les nouvelles dates retenues sont fixées du **4 au 7 avril 2022**, toujours au Campus Gasthuisberg de la KULeuven.

Ne manquez pas cet événement incontournable pour le secteur et notez dès à présent ce rendez-vous dans votre agenda!

Le programme se construit petit à petit. N'hésitez pas à contacter le secrétariat pour en connaître les dernières évolutions ou pour toute marque d'intérêt et demande d'informations.

Bénédicte Houtart
02 775 82 33
info@abr-bvw.be



Centre de recherches routières

Ensemble pour des routes durables

Etablissement reconnu par application de l'arrêté-loi du 30.01.1947

Ed. resp.: A. De Swaef, Boulevard de la Woluwe 42 – 1200 Bruxelles

Siège social

Boulevard de la Woluwe 42
1200 BRUXELLES
Tél.: 02 775 82 20

brrc@brrc.be

Laboratoires

Fokkersdreef 21
1933 STERREBEEK
Tél.: 02 766 03 00

Avenue A. Lavoisier 14
1300 WAVRE
Tél.: 010 23 65 00



www.linkedin.com/company/brrc



www.youtube.com/c/BrrcBe

Rédaction

M. Van Bogaert
J. Cornil
J. Neven
J. Vandermeulen
M. Descamps

ISSN: 0777-2572

