



Centre de recherches routières
Votre partenaire pour des routes durables

Bulletin CRR

116

Agenda

Prenez le train du numérique et venez visiter *Digital Construction Brussels 2018* Mercredi 24 et jeudi 25 octobre 2018 – Tour & Taxis, Bruxelles

Nous y serons aussi!

3

Formation hivernale 2019 Routes durables Production, contrôle et exécution Jeudi 24 janvier – jeudi 28 mars 2019

4

Nouvelles publications CRR

4

Teneur en matières organiques des sols: résultats du projet MATOSOL

6

Résistance au gel-dégel du béton routier en présence de sels de déverglaçage – Premiers résultats du projet GELAVIA

10

Prix Gustave Magnel 2014-2018

15

Saint-Trond, ville pilote dans un projet visant à mesurer l'accessibilité des trottoirs

15

In memoriam

16

Dossier 19

Rénover durablement en appliquant des interfaces antifissures lors de la pose d'un recouvrement bitumineux sur des routes en béton

Le CRR passe en revue quelques projets expérimentaux
Voir page 2



Bulletin CRR

116



www.linkedin.com/company/brrc



www.youtube.com/c/BrrcBe

Centre de recherches routières
Votre partenaire pour des routes durables

Dossier 19 – Rénover durablement en appliquant des interfaces antifissures lors de la pose d'un recouvrement bitumineux sur des routes en béton – Le CRR passe en revue quelques projets expérimentaux



Les anciennes routes en dalles de béton sont souvent inconfortables pour les usagers. Les riverains aussi subissent des nuisances dues aux vibrations causées par le passage des vé-

hicules sur les joints et les fissures. Pour améliorer le confort des usagers et réduire les nuisances pour les riverains, on procède généralement à une rénovation avec recouvrement bitumineux.

Une des possibilités pour éviter que les fissures ou les joints du revêtement en béton existant ne se propagent rapidement au nouveau recouvrement bitumineux consiste à appliquer une interface antifissure avant de le recouvrir d'enrobé. Le CRR a réalisé pendant de nombreuses années le suivi de plusieurs sections expérimentales avec différents types de systèmes antifissures et présente maintenant les résultats dans le dossier consacré aux interfaces antifissures.

Agenda

Venez voir notre stand!

7 octobre 2018

Journée Découverte Entreprises
Nous aussi nous participons!

8, 9, 11 et 12 octobre 2018

Formation *Inspection visuelle pour la gestion du réseau routier*
Wavre
www.crr.be/fr/inspection_visuelle_octobre2018

18 octobre 2018

Concrete Day
Anderlecht
www.gbb-bbg.be

24-25 octobre 2018

Digital Construction Brussels
Bruxelles
digitalconstructionbrussels.be/fr

6, 7 et 13 novembre 2018

Formation *Inspection des égouts*
Wavre
www.crr.be/fr/examen_visuel_egouts_novembre2018

Jedi 24 janvier – jedi 28 mars 2019

Formation hivernale CRR
Routes durables
Production, exécution et contrôle
Sterrebeek
www.brrc.be/wintercourse



Prenez le train du numérique et venez visiter *Digital Construction Brussels 2018*

Mercredi 24 et jeudi 25 octobre 2018 – Tour & Taxis, Bruxelles

Nous y serons aussi!

■ *Digital quoi?*

Il n'est plus possible d'envisager notre vie quotidienne et professionnelle sans les technologies numériques.

Vous êtes actif en construction (routière)? Votre entreprise est-elle déjà passée à l'ère numérique? Ou bien les *big data*, *virtual reality* et autres drones sont pour vous de la science-fiction, ou ne représentent que des investissements onéreux dans des programmes complexes, sans aucune idée de leur rendement concret? Rassurez-vous, vous n'êtes pas seul, car à peine 5 % des entreprises du secteur sont passées au numérique. Néanmoins, ces nouvelles applications – de l'ERP au contrôle de présence sur le chantier en passant par le BIM (*Building Information Model*) et bien plus – offrent peut-être, pour votre entreprise aussi, une infinité de possibilités pour une gestion efficace des processus et des coûts, ce qui constitue un atout dans un marché en perpétuelle évolution et assurément concurrentiel.

■ *Digital Construction!*

Vous êtes curieux et vous voulez voir ces arbres qui cachent la forêt?

Répondez présent au deuxième salon *Digital Construction Brussels*, organisé par la Confédération Construction et le Centre scientifique et technique de la construction (CSTC) les mercredi 24 et jeudi 25 octobre 2018 sur le site de Tour & Taxis à Bruxelles. Comme l'ont fait plus de mille participants l'an dernier, venez établir des contacts avec des fournisseurs, assister à des séminaires intéressants et

élargir votre réseau. Cette année, des démonstrations avec des drones, *3D-scanning*, *virtual reality*, etc. auront lieu.

■ *Digital Road Construction?!*

Avec et pour les professionnels de la route, le CRR s'implique depuis plus de 65 ans déjà dans l'innovation et le progrès technologique dans le secteur.

Nous ne pouvons pas nous permettre de rater le train du numérique! De par notre position privilégiée dans le secteur, nous pouvons faciliter les contacts et le partage de connaissances entre les professionnels. C'est pourquoi nous participons en tant que partenaire à cet événement.

Passez voir le stand commun des organisateurs et des partenaires (dont le CRR), assistez le jeudi 25 octobre de 10h00 à 12h00 à notre *workshop Road 4.0* – (R)évolution numérique en construction routière? (en français dans la salle 6 ou en néerlandais dans la salle 5) et écoutez, pensez, débattiez et partagez vos expériences, soucis et attentes avec vos collègues et d'autres acteurs du secteur.

■ Participation et inscription

La visite du salon est gratuite, mais l'inscription préalable en ligne est obligatoire. Le code dans l'e-mail de confirmation vous permettra de vous inscrire gratuitement à notre workshop.

■ Informations

www.brrc.be/DigitalConstructionBrussels



■ Programme du workshop CRR (sous réserve de modifications)

Le workshop est construit selon une approche interactive, avec une brève présentation de chaque sujet par un fournisseur ou un autre acteur pour amorcer le débat et l'échange d'idées entre les participants. Il n'y aura pas de traduction simultanée et le workshop se déroulera en même temps en français et en néerlandais, dans des salles adjacentes.

Accueil et introduction par le modérateur Collaborateur CRR à confirmer

My digital journey as a contractor

Les entrepreneurs partagent leurs besoins, leurs attentes et leurs expériences
Orateurs à confirmer

L'innovation numérique – Le CRR prend aussi la route!

Présentation de quelques projets de numérisation
Orateurs à confirmer

Où en est la numérisation dans votre entreprise?

Démonstration d'un outil pour mesurer le niveau de numérisation d'une entreprise
Elke Kraemer, Localyse

Que peuvent signifier les drones pour la construction routière?

Démonstration de l'utilisation de drones, par exemple pour le contrôle géométrique et l'implantation de ralentisseurs
Pierre Desmets, Dronetechnix



Formation hivernale CRR Routes durables – Production, exécution et contrôle Jeudi 24 janvier – jeudi 28 mars 2019

Les mois d'hiver sont à nos portes, et vous savez que vous pouvez compter sur le CRR pour une nouvelle édition de sa Formation hivernale. Depuis 2004, nous vous présentons entre janvier et mars un cours de base de quatre ou cinq jours pour rafraîchir vos connaissances en construction routière et faire du réseautage avec les professionnels de notre secteur.

Fidèle à notre approche de cycle triennal, nous braquons chaque année les projecteurs sur une phase spécifique du cycle de vie de la route. L'année dernière, nous avons consacré une attention particulière à la conception et au choix des solutions et des matériaux à utiliser. Cette année, nous nous concentrons sur l'exécution des chantiers routiers et les aspects pratiques qui les entourent, y compris le contrôle. L'année prochaine, nous nous intéresserons à l'entretien et aux réparations.

Il est évident que cette approche ne ferme pas la porte à la programmation de sujets spécifiques ou dictés par l'actualité. En outre, le programme sera établi chaque année autour de l'un des trois piliers susmentionnés de sorte qu'il

existe en tant que tel et puisse être suivi indépendamment des éditions précédentes et à venir. En 2019, les cours concerneront donc principalement la production, l'exécution et les contrôles.

Les quatre grands domaines de travail du CRR seront abordés un par un, lors de leur propre journée de cours. Cette édition aura à nouveau droit à une journée qui sort de l'ordinaire avec le jour 2. En effet, après quelques présentations sur les terrassements et (sous-)fondations, nous vous proposerons une après-midi d'étude, en collaboration avec FEBELCEM et FEDIEX.

Vous retrouverez le programme complet et toutes les informations pratiques en temps opportun dans une invitation officielle et dans le numéro de décembre du Bulletin CRR. Vous pourrez vous inscrire en ligne via:

www.crr.be/wintercourse

Notez d'ores et déjà les dates dans vos agendas!

Jour 1 – Jeudi 24 janvier 2019
Aménagement et équipement de la route, mobilité et sécurité

Jour 2 – Mardi 19 février 2019
Terrassements et (sous-)fondations

Jour 3 – Jeudi 14 mars 2019
Routes en béton

Jour 4 – Jeudi 28 mars 2019
Revêtements bitumineux



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



Leen Bosmans
02 766 03 55
l.bosmans@brrc.be

Nouvelles publications CRR

Plusieurs nouvelles publications CRR sont sorties de presse récemment

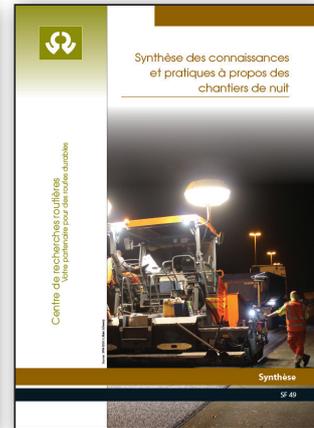
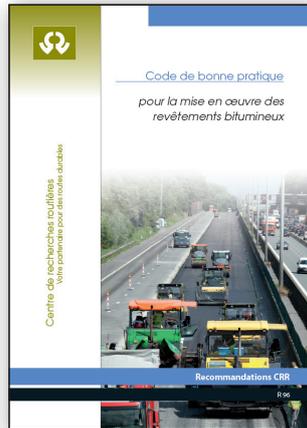
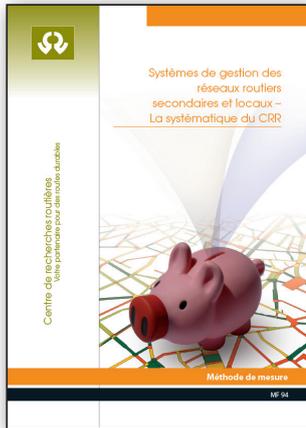
Systèmes de gestion des réseaux routiers secondaires et locaux – La systématique du CRR – Méthode de mesure MF 94

Tout l'art du gestionnaire routier consiste à investir au bon moment dans un entretien techniquement justifié, et qui permet de continuer à fournir sur le long

terme, avec un minimum de moyens financiers, les performances souhaitées.

Lorsqu'il doit prendre des décisions stratégiques concernant des investissements à réaliser dans l'entretien des routes, le gestionnaire peut se baser sur un système de gestion des routes (*Pavement Management System* – PMS). Il s'agit d'un processus systématique d'entretien,

de modernisation et d'exploitation du patrimoine, associant des principes d'ingénierie à des pratiques commerciales et à une justification économique solides, et fournissant des outils pour une approche plus organisée et plus flexible de prise des décisions nécessaires afin de répondre aux attentes de la population. Il s'agit également d'un outil permettant au gestionnaire de communiquer au



sujet des décisions prises et de l'impact qu'elles devraient avoir sur la qualité du réseau routier.

Cette publication décrit la systématique développée par le CRR pour les réseaux routiers communaux, urbains ou comparables. Elle traite aussi en profondeur, entre autres, de la valeur d'un patrimoine routier, de l'utilité d'un entretien réalisé correctement et en temps voulu, et de ce qu'est un système de gestion des routes. En outre, quelques exemples de PMS en action en Belgique et à l'étranger sont présentés.

Code de bonne pratique pour la mise en œuvre des revêtements bitumineux (R 96)

Des publications CRR précédentes avaient déjà fait le gros plan sur la formulation des enrobés bitumineux (R 69/97), le choix du revêtement bitumineux lors de la conception ou de l'entretien des chaussées (R 78/06) et la fabrication des enrobés bitumineux (R 72/02). Ce nouveau code de bonne pratique est plus spécifiquement dédié à la dernière étape: la mise en œuvre des enrobés bitumineux. Les auteurs ont choisi de ne pas reprendre les prescriptions des différents cahiers des charges types des Régions, mais de donner des informations qui sont complémentaires à celles-ci.

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

Revêtements modulaires en pierre naturelle (R 95)

Dans un projet d'aménagement de l'espace public, la pierre naturelle est généralement choisie en raison de son caractère historique ou esthétique. Au cours des dernières décennies, les possibilités d'aménagement urbain dans un style créatif et contemporain se sont multipliées grâce aux nouvelles techniques de fabrication des pavés et par la mise sur le marché d'éléments modulaires extrêmement diversifiés.

Les techniques de pose associées à ces revêtements contemporains se sont modifiées et ne sont plus du tout comparables à celles associées aux pavages dits «traditionnels», fondées sur la production de pavés encore clivés ou taillés à la main. D'autre part, force est de constater que durant une certaine période, les pavés ont été délaissés au profit de revêtements réputés plus performants et modernes. Suite à cette mise à l'écart temporaire de nos pavés, on constate une certaine méconnaissance des règles de l'art propres à ce type de revêtement.

Le code de bonne pratique pour les revêtements en pierre naturelle se veut un document technique de base pour toute personne impliquée dans un projet d'aménagement en pierre naturelle. Il s'adresse aux concepteurs, architectes, entrepreneurs, gestionnaires publics ou privés, ou fournisseurs de matériaux. Ce document constitue un ouvrage de référence pour la sélection des matériaux, la conception et le dimensionnement de projets, la mise en œuvre et l'entretien des voiries en pierre naturelle. La fabrication d'un élément en pierre naturelle trouvant tout d'abord son origine dans des processus qui datent parfois de plusieurs centaines de millions d'années, une introduction du document consacrée à la géologie trouve tout son sens.

Synthèse des connaissances et pratiques à propos des chantiers de nuit (SF 49)

A travers le monde, les autorités routières exigent souvent que davantage de projets de travaux soient conduits pendant les heures de moindre trafic – y compris la nuit – afin de réduire les impacts de la zone de travail sur les flux de circulation. L'idée de recourir plus fréquemment au travail de nuit s'accompagne toutefois d'une inquiétude quant à l'impact des activités nocturnes.

Cet ouvrage vise, d'une part, à établir une synthèse des connaissances et pratiques à propos des chantiers de nuit dans les trois Régions du pays et à l'étranger et, d'autre part, à analyser les avantages et inconvénients du travail de nuit au regard de divers paramètres tels que le trafic (congestion, sécurité) et les travaux (qualité, productivité, conduite des travaux), ainsi que les paramètres sociaux (santé des travailleurs, état des conducteurs), économiques (coût des travaux, coûts indirects aux usagers, etc.) et environnementaux (pollution lumineuse, bruit, etc.).

Toutes les publications peuvent être téléchargées gratuitement après enregistrement sur notre site web (www.crr.be).

Les membres ressortissants et les membres adhérents reçoivent gratuitement les nouvelles publications CRR.

Les non-membres peuvent les commander au CRR contre paiement:

Mme Dominique Devijver
02 766 03 26 (le matin);
publication@brrc.be

Teneur en matières organiques des sols: résultats du projet MATOSOL



Introduction

La teneur en matières organiques (MO) des sols naturels et empierrements est un paramètre important à mesurer. En effet, les matières organiques ont un effet néfaste sur la portance et peuvent nuire à l'efficacité du traitement avec des liants tels que la chaux ou le ciment.

En pratique, il existe différentes normes et méthodes de mesure de la matière organique (MO). Les résultats obtenus (quantitatifs ou qualitatifs) peuvent varier selon la méthode utilisée. Afin d'évaluer les essais disponibles et de proposer une méthodologie simple, le CRR, en partenariat avec le CRIBC, a effectué une recherche prénormative «MATOSOL: évaluation des méthodes de mesure de la teneur en matières organiques des sols», subsidiée par le SPF Economie et le Bureau de Normalisation (NBN). La première biennale du projet a permis d'établir une méthodologie de mesure de la teneur en MO suite à l'étude d'une vingtaine de sols argileux, limoneux et sableux représentatifs des sols belges. La seconde biennale du projet a permis de valider la méthodologie proposée sur davantage de sols et d'étudier l'influence de certains éléments chimiques perturbateurs sur la mesure de la teneur en MO. Cet article présente les résultats principaux du projet de recherche.

Méthodes de mesure de la teneur en MO

Il existe dans la littérature de nombreuses méthodes pour mesurer la teneur en matières organiques des sols. On distingue les méthodes chimiques, thermiques et thermochimiques. Pour les sols, le CCT Qualiroutes et le SB 250 proposent la méthode à l'eau oxygénée.

Une sélection de méthodes a été effectuée en tenant compte des pratiques courantes et de la simplicité de réalisation:

- la méthode au NaOH, NBN EN 1744-1, § 15.1 [1];
- la méthode au dichromate de potassium, NBN 589-207 [2];
- la méthode à l'eau oxygénée [2];
- la perte au feu, préséchage à 110 °C, 4 h à 550 °C, NBN EN 15935 [3];
- la méthode de référence: *flash combustion* avec calcimétrie, ISO 10693 [4] ou NF P94-048 [5].

La méthode de référence choisie pour le projet (*flash combustion*) est une méthode thermochimique qui permet de déterminer indirectement la quantité de carbone organique (CO). Cette méthode, disponible au CRIBC, est réalisée en deux étapes. La première étape mesure le carbone total par une combustion «flash» à très haute température (1 800 °C) oxydant l'échantillon à analyser. La deuxième étape est celle de la calcimétrie, que l'on retrouve dans l'ISO 10693 [4] ou la norme française NF P94-048 [5], mesurant la proportion de carbone inorganique. La différence entre le carbone total et le carbone des carbonates correspond à la quantité de carbone organique. La teneur en matières organiques est alors déterminée en utilisant un facteur de conversion ($\% \text{ MO} = 1,724 \times \% \text{ CO}$), considérant que les matières organiques sont composées de 58 % de carbone, ce qui est généralement admis pour les sols [6].

Mise au point de la méthodologie sur les sols belges

Mesures de la teneur en MO

Quelques sols (à caractère limoneux, argileux et sableux) ont été prélevés en Flandre et en Wallonie (tableau 1) afin d'avoir une bonne représentativité des sols rencontrés en Belgique. Pour chacun d'eux, une caractérisation géotechnique, minéralogique et chimique a été réalisée. Des mélanges ont aussi été constitués à partir des deux prélèvements de limon de Sterrebeek afin de couvrir une gamme plus large de teneur en matières organiques.

La teneur en matières organiques de ces sols a été mesurée par les méthodes sélectionnées et comparée à la méthode de référence (*flash combustion*). L'objectif est de déterminer une méthodologie permettant de définir la teneur en MO avec une précision suffisante en utilisant des essais les plus simples et les moins coûteux possibles. Pour cette raison, la *flash combustion* n'a pas été retenue dans la procédure finale.

La figure 1 présente les résultats de la méthode qualitative au NaOH, NBN EN 1744-1, § 15.1 [1], appliquée à tous les sols étudiés en première biennale. On observe que le résultat est toujours positif si la teneur en MO est supérieure à 1 %. Pour les teneurs en MO inférieures à 1 %, on note de faux positifs. Ceux-ci concernent surtout les sols granulaires.

	Indice de plasticité (%)
Bovenklei (argile de Boom)	27,2
Klei (argile de Boom)	33,8
Limon de Sterrebeek 0-1 m	6,6
Limon de Sterrebeek 1-2 m	6,1
Papzand (sable de Lubbeek)	-
Scherpzand (sable de Lubbeek)	-
Limon de Seneffe < 1 m	4,6
Limon de Seneffe > 1 m	6,3
Argile de Beloeil	10,3
Argile de Barry	39
Sable de Sirault	-
Limon d'Ecaussinnes	10,6
Argile Lebailly (Hautrage)	17,1

Tableau 1 – Sols prélevés pour la première biennale

Cette méthode, très simple, est intégrée dans la méthodologie d'essais car elle permet d'identifier facilement une grande partie des sols dont la teneur en MO est inférieure à 1 %.

La figure 2 reprend les mesures de teneur en MO des sols prélevés en Flandre. La méthode à l'eau oxygénée sous-évalue les résultats. La mesure a été répétée pour le limon de Sterrebeek 0-1 m et les résultats sont différents. La méthode au dichromate de potassium surévalue les résultats pour la *klei* et *bovenklei* (argiles de Boom). Cette surestimation a été attribuée à la présence de pyrite réagissant avec le dichromate de potassium. Le résultat pour les argiles est corrigé en utilisant la corrélation établie par Declerck et al. [7] pour l'argile de Boom. Cette corrélation lie la teneur en carbone organique à la pyrite. Les résultats obtenus par perte au feu pour le limon de Sterrebeek 1-2 m et les argiles (*bovenklei* et *klei*) sont également surestimés.

Les différentes méthodes ont aussi été appliquées aux sols prélevés en Wallonie. On retrouve les mêmes tendances que pour les sols prélevés en Flandre.

Corrélation entre la perte au feu (PAF) et la limite de liquidité

La perte au feu est une méthode simple à mettre en œuvre, mais qui surestime la teneur en MO (figure 2) suite à la perte de l'eau de constitution des argiles. Pour tenir compte de ce phénomène, une correction sur la perte au feu peut être appliquée en utilisant la limite de liquidité (wL, mesurée selon la NF P94-051 [8], limites d'Atterberg):

$$MO (\%) = PAF - 0,04 \times \text{limite de liquidité} (\%) \quad (1)$$

Cette correction est valable pour la plupart des sols étudiés en biennales 1 et 2 (figure 4).

Méthodologie

Ces résultats ont permis de proposer une méthodologie pour mesurer la teneur en matières organiques des sols. La démarche est résumée à la figure 3, p. 8.

Cette méthodologie a été appliquée aux vingt sols étudiés en première biennale: dix-huit résultats sont satisfaisants. Le limon de Sterrebeek 0-1 m répond à la méthodologie mais la teneur en MO après correction (= 1,59 %) est plus faible que la teneur en MO mesurée par *flash combustion* (= 2,51 %).

Éléments perturbateurs et validation de la méthodologie

La seconde biennale du projet avait pour objectif de valider la méthodologie proposée sur davantage de sols et d'étudier l'influence d'éléments chimiques courants en Belgique (pyrite, fer et carbonates) sur la mesure de la teneur en MO.

Sept sols ont été étudiés, dont plusieurs sols riches en fer et un sol marneux riche en carbonates. Une caractérisation géotechnique, minéralogique et chimique de ces sols a été réalisée.

De la pyrite a été ajoutée à l'argile noire afin de quantifier l'impact de la pyrite sur la mesure de la teneur en MO. Le Fe^{2+} de la pyrite peut en effet s'oxyder en Fe^{3+} et donc influencer le résultat des méthodes oxydantes et de la perte au feu.

Méthode à l'eau oxygénée

Comme dans la première biennale (figure 2), les teneurs en MO mesurées

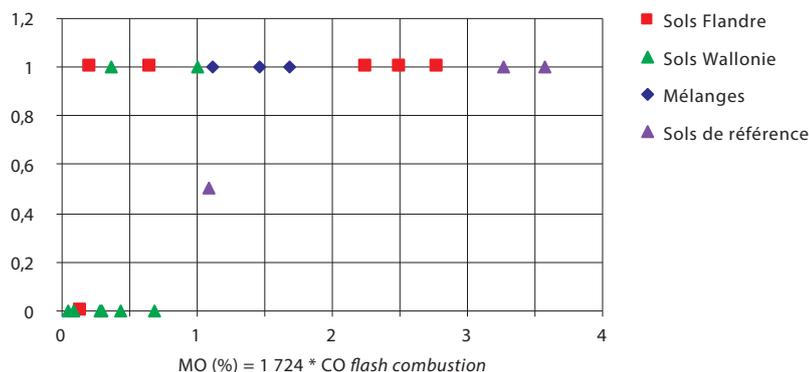


Figure 1 – Résultats de la méthode au NaOH en fonction de la teneur en MO (%)

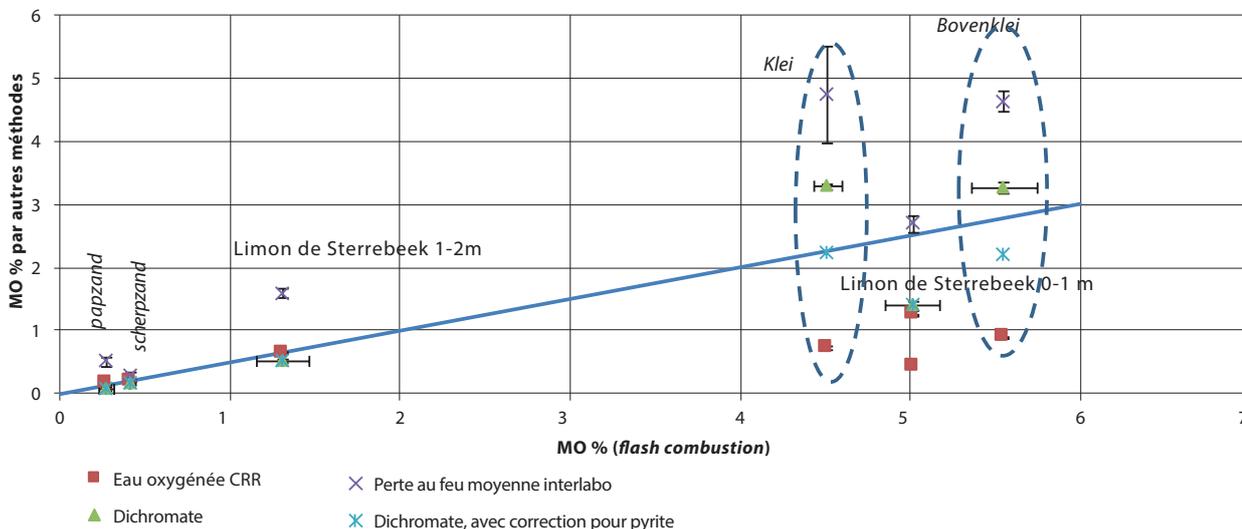


Figure 2 – Teneurs en MO % pour les sols de Flandre – Comparaison MO (%) par flash combustion

Négatif: OK (MO < 1 %)

Positif: poursuivre étude

à l'eau oxygénée sont sous-estimées par rapport à la méthode de référence. Un traitement à l'acide phosphorique, comme indiqué dans la norme NBN EN 15936 [9], pour éliminer les carbonates de la marne turonienne n'a pas impacté le résultat et n'a donc pas permis de réduire l'écart avec la méthode de référence.

Dichromate de potassium

Pour l'argile de Marche-en-Famenne, la marne turonienne et l'argile noire, la valeur au dichromate de potassium est significativement inférieure à celle de la méthode de référence.

L'ajout de 10 % de pyrite à l'argile noire n'a pas influencé le résultat de manière significative, ce qui est cohérent avec les résultats de Mohr [10]. Le prétraitement à l'acide sulfurique préconisé par la norme NBN 589-207 [2] pour oxyder la pyrite n'a pas impacté le résultat.

Perte au feu

La correction (1) basée sur la limite de liquidité a également été appliquée sur les sols de la seconde biennale (figure 4). La perte au feu corrigée des argiles de Wanlin et de Bourlers (riches en fer) reste supérieure à la valeur obtenue par *flash combustion*. Le résultat corrigé relatif à la marne, dont la limite de liquidité est élevée, est quant à lui sous-estimé.

Aux Pays-Bas, une norme de mesure de perte au feu [11] a été établie en réalisant une correction basée sur le passant à 2 microns ($p < 2 \mu\text{m}$) en (%) et la teneur en fer libre ($p(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ en %) si celle-ci est supérieure à 5 %.

$$\text{PAF, corrigé} = \text{PAF} - 0,07 \times p < 2 \mu\text{m} - 0,12 \times p(\text{Fe}_2\text{O}_3) \quad (2)$$

Cette correction a été appliquée aux sols de la seconde biennale et à quelques sols de la première biennale. Les pertes au feu des argiles de Wanlin et de Bourlers (riches en fer) ont été diminuées en tenant compte de la teneur en Fe_2O_3 de ces sols mais restent néanmoins supérieures aux valeurs de la flash combustion. Les résultats de l'argile de Marche-en-Famenne (riche en fer) et de la marne (teneur élevée en éléments inférieurs à 2 microns) sont par contre sous-estimés

Perte au feu PAF (NBN EN 15935 [3], 4 h 550 °C) [en combinaison avec limite de liquidité W_L] PAF - 0,04 W_L			
PAF - 0,04 $W_L < 1 \%$	1 % < PAF - 0,04 $W_L < 2,5 \%$	2,5 % < PAF - 0,04 $W_L < 3,5 \%$	3,5 % < PAF - 0,04 W_L
OK (MO < 1 %)	OK (MO < 3 %)	Valeurs proches des limites: étude approfondie - Dichromate - Eau oxygénée - Flash combustion	MO > 3 %

Figure 3 – Méthodologie proposée pour la mesure de la teneur en matières organiques des sols belges

	Indice de plasticité (%)
Marne turonienne (Betrechies)	44
Sable de Braine	-
Argile noire (Hautrage)	19
Argile d'Ecaussinnes	19
Argile de Wanlin	14
Argile de Marche-en-Famenne	28
Argile de Bourlers	16

Tableau 2 – Sols prélevés pour la seconde biennale

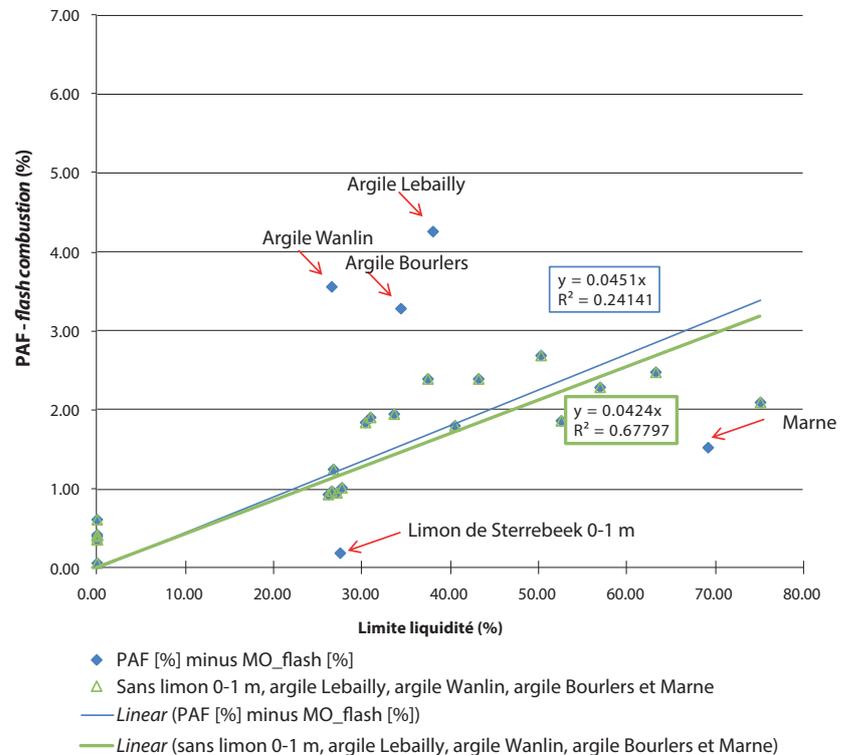


Figure 4 – Différence entre la perte au feu et la flash combustion en fonction de la limite de liquidité

après correction. Ces résultats montrent qu'il peut être utile de tenir compte de la

teneur en fer mais la correction développée pour les sols des Pays-Bas doit être

adaptée et validée sur davantage de sols belges.

L'ajout de pyrite à l'argile noire produit une surestimation de la teneur en MO mesurée par perte au feu (3 %), ce qui est cohérent avec la perte de masse de la pyrite mesurée à 550 °C.

Validation de la méthodologie

La méthodologie développée lors de la 1^{re} biennale (figure 3) a été testée sur les sols de la seconde biennale. La méthodologie n'est pas applicable pour la marne turonienne (résultat négatif au NaOH et valeur de la *flash combustion* légèrement supérieure à 1 %) et l'argile de Bourlers (riche en fer). Pour l'argile de Wanlin, la méthodologie est applicable, mais la perte au feu corrigée donne une valeur trop élevée par rapport à la mesure de référence.

Conclusions

La méthodologie reprise à la figure 1 est applicable pour la plupart des sols analysés dans cette étude (24/27).

À l'exception de la marne, le premier test consistant en la réaction simple et qualitative au NaOH, NBN EN 1744-1, § 15.1 [1] n'a pas présenté de faux négatif au cours de nos essais, ce qui permet d'identifier rapidement beaucoup de sols contenant un faible pourcentage de matières organiques (< 1 %).

Si le test au NaOH est positif, il est nécessaire de poursuivre les essais pour s'assurer si le sol peut ou non être utilisé en remblais (cf. cahiers des charges types).

La méthode de référence de notre étude (*flash combustion*/calcimétrie) a permis de mettre en évidence les limites des autres méthodes:

- réaction à l'eau oxygénée: résultat souvent sous-estimé;
- réaction au dichromate de potassium: résultat sous-estimé, mais moins que par la méthode à l'eau oxygénée;
- perte au feu à 550 °C (4h): résultat surestimé pour les sols argileux, influence du fer libre et la pyrite.

Les valeurs mesurées par la méthode à l'eau oxygénée (reprise dans le CCT Qualiroutes et le SB 250) sont souvent sous-estimées par rapport à celles de la

Bibliographie

- [1] **Bureau de normalisation (2013)**
Essais visant à déterminer les propriétés chimiques des granulats. Partie 1, analyse chimique.
Bruxelles: NBN. NBN EN 1744-1+A1.
- [2] **Institut belge de normalisation (1969)**
Essais des sables de construction : teneur en matières organiques.
Bruxelles: IBN. NBN 589-207.
- [3] **Bureau de normalisation (2012)**
Boues, bio-déchets traités, sols et déchets : détermination de la perte au feu.
Bruxelles: NBN. NBN EN 15935.
- [4] **International Organization for Standardization (1995)**
Qualité du sol : détermination de la teneur en carbonate : méthode volumétrique.
Genève: ISO. ISO 10693.
- [5] **Association française de normalisation (1996)**
Sols : reconnaissance et essais. Détermination de la teneur en carbonate - méthode du calcimètre.
La Plaine Saint-Denis: AFNOR. NF P94-048.
- [6] **Mathieu, Clément; Pieltain, Françoise (2003)**
Analyse chimique des sols : méthodes choisies.
Paris: Editions TEC & DOC - Lavoisier. 388 p.
- [7] **Decler, J.; Viaene, W.; Vandenberghe, N. (1983)**
Relationships between chemical, physical and mineralogical characteristics of the Rupelian Boom clay, Belgium.
In: Clay minerals 18(1), pp. 1-10.
- [8] **Association française de normalisation (1993)**
Sols : reconnaissance et essais. Détermination des limites d'Atterberg - limite de liquidité à la coupelle - limite de plasticité au rouleau.
La Plaine Saint-Denis: AFNOR. NF P94-051.
- [9] **Bureau de normalisation (2012)**
Boues, bio-déchets traités, sols et déchets : détermination de la teneur en carbone organique total (COT) par combustion sèche.
Bruxelles: NBN. NBN EN 15936.
- [10] **Mohr, C. (1979)**
Determination of soil organic matter by titration.
In: Vag-Och Vattenbyggaren, 25(7/8), pp. 19-21.
- [11] **Nederlands normalisatie-instituut (2014)**
Bodem : berekening van het gehalte aan organische stof volgens de gloeiverliesmethode
Delft: NEN. NEN 5754.

flash combustion. Cette méthode donne aussi souvent des résultats non mesurables et différents entre laboratoires.

Des écarts avec la méthode de référence ont été observés pour les sols calcaires (sous-estimation du résultat pour les méthodes à l'eau oxygénée et au dichromate de potassium; surestimation du résultat par perte au feu). L'application

d'un prétraitement des échantillons à l'acide suivant la norme NBN EN 15936 [9] n'a pas impacté la mesure à l'eau oxygénée et n'a donc pas permis de diminuer l'écart.

La correction appliquée sur la perte au feu basée sur la limite de liquidité s'est avérée efficace pour la majorité des sols analysés. Elle pourrait aussi tenir compte

de la teneur en fer mais nous ne disposons pas de suffisamment de résultats pour l'établir statistiquement.

Dans la mesure du possible, nous allons continuer à accumuler les données relatives aux sols belges que nous rencon-

trons dans nos analyses afin de valider ou redéfinir les corrections à appliquer.



Elia Boonen
02 766 03 41
e.boonen@brrc.be



Colette Grégoire
02 766 03 19
c.gregoire@brrc.be



Audrey Van der Wielen
02 766 03 87
a.vanderwielen@brrc.be



Stefan Vansteenkiste
02 766 03 85
s.vansteenkiste@brrc.be



Cathy Delmotte (CRIBC)
065 40 34 34
c.delmotte@brrc.be

Résistance au gel-dégel du béton routier en présence de sels de déverglaçage – Premiers résultats du projet GELAVIA



La durabilité d'un béton routier est fortement liée à la résistance de la composition du béton aux cycles de gel-dégel en présence de sels de déverglaçage. Jusqu'il y a peu, la méthode d'essai utilisée en Belgique pour évaluer la résistance au gel-dégel en présence de sels de déverglaçage était basée sur l'ancien projet de norme internationale ISO/DIS 4846-2 [1], avec lequel on a acquis une longue expérience et des valeurs limites pour la résistance à l'écaillage unanimement acceptées en cas de cycles de gel-dégel ont été fixées. Toutefois, depuis la publication de la spécification technique européenne CEN/TS 12390-9 [2], le Slab Test est de plus en plus mis en avant comme méthode de référence pour les cahiers des charges.

L'étude prénormative GELAVIA, qui a démarré le 1^{er} décembre 2016 avec le soutien du SPF Economie et en collaboration avec le CRIC-OCCN et le CSTC, analyse si la méthode du Slab Test récemment introduite permet de déterminer des classes de performance pertinentes concernant la résistance aux sels de déverglaçage, et ce pour des compositions de béton routier représentatives. Elle a aussi pour but d'étudier l'efficacité et la durabilité de produits d'imprégnation hydrophobe, appliqués dans certains cas pour augmenter la résistance aux cycles de gel-dégel en présence de sels de déverglaçage [3].

Nous développons ci-après l'état d'avancement de l'étude avec un résumé des principaux résultats, obtenus essentiellement pour le premier aspect, à savoir les exigences performantielles pour la résistance au gel-dégel du béton routier.

Introduction et problématique

Les cahiers des charges types belges imposent des exigences assez strictes pour le béton routier en termes de teneur minimale en ciment, de facteur eau sur ciment maximal et de teneur en air optimale pour obtenir un béton durable et résistant au gel. De plus, dans la norme européenne NBN EN 13877-1 [4], des directives spécifiques sont données suivant lesquelles la résistance au gel-dégel doit être déterminée selon la CEN/TS 12390-9:2016 [2].

Comme déjà mentionné, jusqu'il y a peu, en Belgique, on appliquait encore dans toutes les Régions «l'ancienne» méthode ISO/DIS [1], suivant une longue tradition et des valeurs limites pour la résistance

à l'écaillage en fonction de la charge de trafic étaient unanimement acceptées (voir p.ex. tableau 1). Cependant, en Flandre, on est passé en 2014 à la méthode dite du *Slab Test*, basée sur la méthode d'essai européenne.

D'après une étude menée précédemment au CRR [5 et 6], il est apparu clairement que le *Slab Test*, l'une des trois méthodes de référence mentionnées dans la CEN/TS 12390-9 [2], est la méthode la plus appropriée et la plus robuste pour tester la résistance à l'écaillage du béton en présence des sels de déverglaçage, et remplacer à terme l'ancienne méthode d'essai, basée sur l'ISO/DIS [1], en Belgique. En outre, le *Slab Test* a aussi été récemment introduit comme méthode de référence dans le processus de certification du béton routier, avec quelques

légères adaptations en termes de nombre de cycles, de dimensions, forme et conservation des éprouvettes et de surface à tester [7].

Par le passé, il a été constaté que les résultats (exprimés en kg/m² de perte de masse) obtenus avec la méthode ISO/DIS [1] après 30 cycles étaient en général deux à quatre fois inférieurs à ceux obtenus avec la méthode *Slab Test* après 28 cycles [8]. Cela dit, ces conclusions ne se basent que sur un nombre restreint de mesures qui n'ont pas nécessairement été effectuées sur du béton routier.

L'objectif principal de la recherche GELAVIA est de confirmer et/ou de vérifier le lien entre les deux méthodes de mesure, et ce sur base des compositions de béton routier les plus courantes en Belgique.

Ceci permettra de définir des classes de performance pertinentes pour la résistance au gel-dégel en présence de sels de déverglaçage déterminée, conformément à la méthode du Slab Test, sur base d'une étude comparative plus poussée entre les deux méthodes d'essai.

En outre, l'expérience pratique a montré qu'une mise en œuvre manuelle du béton routier ainsi que certaines applications particulières, comme les pistes cyclables colorées ou les revêtements en béton imprimé, sont plus sensibles aux effets des sels de déverglaçage et peuvent rapidement montrer des signes de dégradation. Dans ces cas spécifiques, l'application d'un produit d'imprégnation hydrophobe est imposée dans les cahiers des charges types pour améliorer la résistance à l'écaillage. Ces produits sont prescrits conformément aux directives de la NBN EN 1504-2 [9]. Cependant, les compositions en béton de référence, utilisées pour tester les produits, diffèrent fortement de celles d'un béton routier typique en Belgique. De plus, on s'interroge sur la durabilité dans le temps de l'action protectrice de l'imprégnation. Un deuxième objectif de l'étude susmentionnée consiste par conséquent à étudier et à élaborer des méthodes d'essai en vue d'évaluer l'efficacité et la durabilité de produits d'imprégnation hydrophobes appliqués sur des compositions de béton routier représentatives.

D'un point de vue expérimental

Méthodes d'essai

Il existe différentes méthodes d'essai pour déterminer la résistance au gel-dégel en présence de sels de déverglaçage [5]. La plupart d'entre elles consistent à appliquer des cycles de gel-dégel sur des éprouvettes dont la surface est recouverte d'une mince couche de solution saline. La résistance au gel-dégel est évaluée en pesant la quantité de matériau écaillé après un certain nombre de cycles.

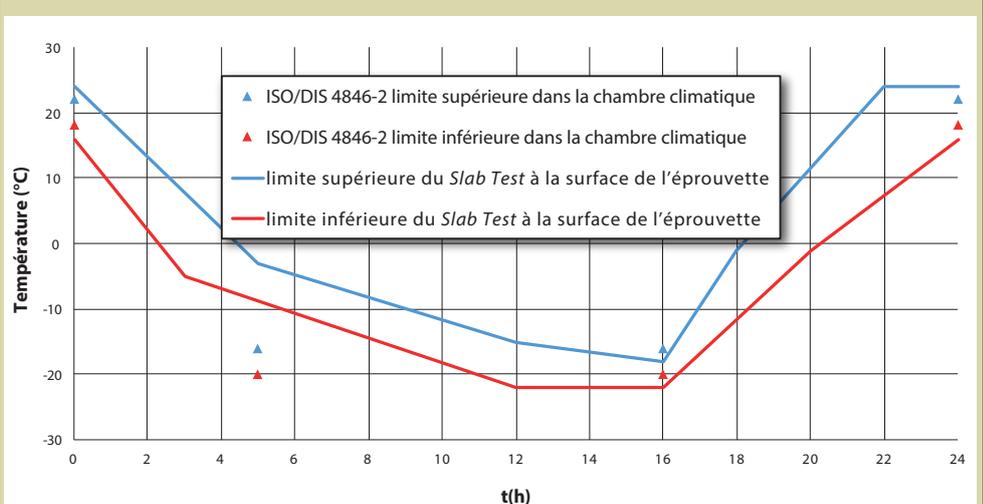
Dans l'étude actuelle, l'accent est mis, d'une part, sur la méthode qui jusqu'il y a peu était appliquée dans tous les cahiers des charges types régionaux, la méthode ISO/DIS [1]. D'autre part, nous étudions la méthode d'essai basée sur l'essai de référence selon la spécification CEN/TS 12390-9 [2] et reprise dans la récente note réglementaire RNR 06 pour la

Cahier des charges type	Méthode d'essai	Nombre de cycles	Unité	Classe de trafic	
				B1-B5/ Réseau I	B6-B10, BF/ Réseau II, III
CCT Qualiroutes, version 1/1/2018	ISO/DIS 4846-2 ("CME 53-16") [1]	30	g/dm ²	≤5	≤ 10
CCT2015	ISO/DIS 4846-2 [1]	30	g/dm ²	≤ 5	≤ 10
SB 250, version 3.1a	CEN/TS 12390-9 [2]	28	kg/m ²	≤1,500	≤3,000

Tableau 1 – Exigences pour la résistance gel-dégel (perte de masse maximale due à l'écaillage) dans les trois cahiers des charges types belges

	ISO/DIS 4846-2 [1]	Slab Test RNR 06 (basé sur CEN/TS 12390-9 [2])
Eprouvettes	Trois carottes (diamètre 113 mm, hauteur 45 mm)	Quatre carottes (diamètre 113 mm, hauteur 50 mm)
Surface testée	Partie supérieure d'une carotte prélevée dans un revêtement (surface avec finition)	Côté coffré d'un cube (mais aussi appliqué sur carottes prélevées dans un revêtement pour contrôle a posteriori)
Nombre de cycles	30 (24 h chacun)	28 (24 h chacun)
Sel de déverglaçage	3 % CaCl ₂	3 % NaCl
Conditionnement	Après carottage, au moins 14 j en chambre climatique à (20±2) °C et (60±5) %HR	28 j sous eau à (20±2) °C, puis 14 j en chambre climatique à (20±2) °C et (60±5) %HR
Isolation de l'éprouvette	Non 	Oui 
Récupération écaillage	Pissette	Pissette CEN/TS 12390-9: brosse
Unité des résultats	g/dm ²	kg/m ²

Différence dans les cycles de température



Note: pour la méthode du Slab Test, la température est mesurée à la surface d'une éprouvette isolée. Dès lors, les cycles de gel-dégel sont plus agressifs que ceux appliqués suivant la méthode ISO/DIS 4846-2 [1]

Tableau 2 – Principales différences entre deux méthodes d'essai étudiées: Slab Test RNR 06 et ISO/DIS 4846-2

Combinaison de code	Classe de trafic SB 250/ CCT Quali-routes	Teneur en ciment (kg/m ³)	Facteur E/C	Teneur en air (%)	Classe de consistance	Finition de surface
RI-400-S1-air-L	B1-B5/I	400	0,45	3-6	S1-S2	Dénudée
RII-375-S1 -air-L	B6-B10/ II	375	0,50	3-6	S1-S2	Dénudée
RII-375-S1-air-B	B6-B10/ II	375	0,50	3-6	S1-S2	Brossée
RI-400-S3- air-L	B1-B5/ I	400	0,45	3-6	S2-S3	Dénudée
RII-375-S3- air-L	B6-B10/ II	375	0,50	3-6	S2-S3	Dénudée
RII-375-S3-air-B	B6-B10/ II	375	0,50	3-6	S2-S3	Brossée
<i>RI-400-S3-L</i>	<i>B1-B5/ I</i>	<i>400</i>	<i>0,45</i>	- ⁽¹⁾	<i>S2-S3</i>	<i>Dénudée</i>
<i>RI-400-S3W-L</i>	<i>B1-B5/ I</i>	<i>400</i>	<i>(0,45)⁽²⁾ 0,51</i>	- ⁽¹⁾	<i>S2-S3</i>	<i>Dénudée</i>
<i>RII-375-S3-L</i>	<i>B6-B10/ II</i>	<i>375</i>	<i>0,50</i>	- ⁽¹⁾	<i>S2-S3</i>	<i>Dénudée</i>
<i>RII-375-S3W-L</i>	<i>B6-B10/ II</i>	<i>375</i>	<i>(0,50)⁽²⁾ 0,56</i>	- ⁽¹⁾	<i>S2-S3</i>	<i>Dénudée</i>
<i>RII-375-S3-B</i>	<i>B6-B10/ II</i>	<i>375</i>	<i>0,50</i>	- ⁽¹⁾	<i>S2-S3</i>	<i>Brossée</i>
<i>RII-375-S3W-B</i>	<i>B6-B10/ II</i>	<i>375</i>	<i>(0,50)⁽²⁾ 0,56</i>	- ⁽¹⁾	<i>S2-S3</i>	<i>Brossée</i>
RIII-360-S4-T	Revêtement extérieur	360	0,45	-	S4	Lissée
<i>RIII-360-S4W-T</i>	<i>Revêtement extérieur</i>	<i>360</i>	<i>0,55</i>	-	<i>S4</i>	<i>Lissée</i>

⁽¹⁾ Aucun entraîneur d'air n'a été appliqué pour ces combinaisons bien que les cahiers des charges types imposent une teneur en air entre 3 et 6 %.

⁽²⁾ Pour cette composition de béton, on prévoit initialement une valeur d'affaissement S1-S2 atteinte en utilisant un plastifiant, pour laquelle le facteur eau sur ciment entre parenthèses est respecté; on ajoute ensuite un complément d'eau pour atteindre une valeur d'affaissement conforme à la classe S3. Le facteur eau sur ciment obtenu après ajout de l'eau est aussi noté.

Tableau 3 – Combinaisons de compositions de béton étudiées dans le cadre de l'étude GELAVIA. Les compositions qui tombent «en dehors des spécifications» sont en italique

certification du béton routier, le *Slab Test* [7]. Les différences les plus significatives entre les deux méthodes d'essai sont illustrées dans le tableau 2.

Etant donné que la pertinence de la réalisation du *Slab Test* sur la face sciée ou coffrée d'une éprouvette suscite encore des discussions, une comparaison est faite entre les résultats obtenus sur une surface avec finition, une surface sciée et une surface coffrée.

Compositions de béton testées

Dans l'étude GELAVIA, les différentes combinaisons testées sont représentatives des compositions de béton et des finitions de surface typiques pour des chaussées fortement sollicitées (Réseau I en Wallonie ou *Bouwklassen* B1-B5 en Flandre et à Bruxelles) ou moyennement sollicitées (Réseau II ou *Bouwklassen* B6-B10) en Belgique. Deux types de finition de surface ont été testés (surface dénudée ou brossée transversalement) en fonction des exigences dans les cahiers des charges régionaux (voir tableau 3).

Une composition de béton spécifique est destinée aux revêtements extérieurs (360 kg/m³ ciment) où la surface est finie par talochage (à la truelle). Cette composition répond aux exigences de la classe d'exposition XF4 selon la NBN B15-001 [10] et la NBN EN 206 [11].

Pour les matières premières, des matériaux traditionnellement utilisés en Belgique dans le béton routier ont été sélectionnés. Toutes les compositions ont été fabriquées avec un ciment de type CEM III/A 42,5 N LA, deux sables ronds (0/2 et 0/4) et quatre fractions de granulats de porphyre (4/6,3, 6,3/10, 10/14, 14/20), sauf pour les compositions RIII-360-S4(W)-T à base de granulats calcaires.

Six compositions de béton satisfont à toutes les exigences imposées dans les cahiers des charges types en termes de teneur minimale en ciment, de facteur eau sur ciment et de teneur en air pour la charge de trafic visée et de calibre maximal des gravillons.

Pour obtenir l'ouvrabilité souhaitée, un plastifiant a été utilisé. Pour les mélanges destinés à une mise en œuvre manuelle, une classe de consistance S3 a été atteinte en utilisant un plastifiant ou en ajoutant de l'eau (code «S3W»). Ces dernières compositions ont un facteur

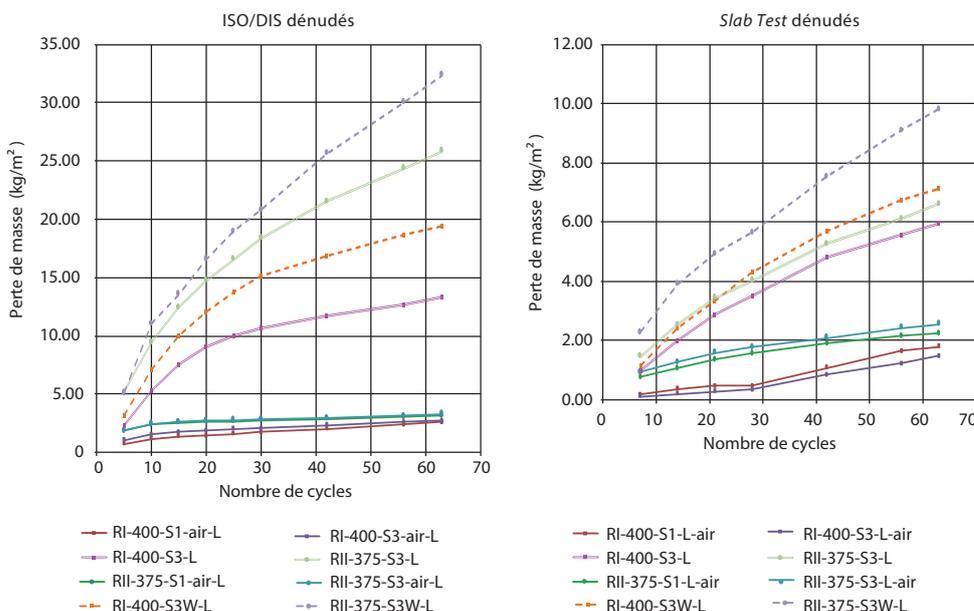


Figure 1 – Perte de masse en fonction du nombre de cycles pour les surfaces en béton dénudé (l'unité des pertes de masse selon la méthode ISO/DIS a été adaptée de g/dm² en kg/m²)

eau sur ciment plus élevé que la valeur maximum prescrite et ne satisfont par conséquent pas aux exigences. On s'attend donc à ce qu'elles présentent une résistance plus faible à l'écaillage.

En outre, quelques mélanges de béton ont expressément été confectionnés sans entraîneur d'air (bien qu'une teneur en air de 3-6 % soit imposée en fonction de la classe de trafic et du calibre maximal). Pour ces compositions, on peut donc s'attendre à ce que la résistance gel-dégel en présence de sels de déverglaçage soit faible.

Premiers résultats

Ci-dessous, nous décrivons les résultats obtenus pour les compositions de béton avec une finition de surface dénudée et une teneur en ciment de 375 et 400 kg/m³. Pour ce faire, tant la méthode ISO/DIS [1] que la méthode *Slab Test* ont été appliquées. La méthode ISO/DIS [1] a été appliquée sur la surface avec finition alors que le *Slab Test* a été réalisé aussi bien sur la surface avec finition que sur les faces sciées ou coffrées des éprouvettes prélevées dans des cubes d'essai (150 mm de côté).

De plus, tous les essais gel-dégel ont été réalisés jusqu'à 63 cycles (au lieu de 28 ou 30) parce que lors d'une recherche antérieure, il est apparu qu'il était possible d'obtenir ainsi des informations supplémentaires concernant la résistance intrinsèque du béton à l'écaillage [12].

L'évolution de la perte de masse par écaillage en fonction du nombre de cycles de gel-dégel est illustrée à la figure 1 sur laquelle les résultats obtenus selon les deux méthodes d'essai sont représentés. La perte de masse cumulée après 30 (ISO/DIS [1]) ou 28 (*Slab Test*) cycles est également reprise dans le tableau 4.

Comme attendu, les compositions de béton avec les teneurs en ciment les plus élevées (400 kg/m³), le facteur eau sur ciment le plus faible (0,45), et une teneur en air entre 3 et 6 % (RI-400-S1-air-L et RI-400-S3-air-L) présentent les pertes de masse les plus faibles après 28 cycles, avec un écaillage moyen mesuré suivant la méthode *Slab Test* respectivement de 0,47 et 0,34 kg/m². Ces compositions sont aussi conformes aux classes de trafic les plus exigeantes pour les routes les plus fortement sollicitées, où une valeur limite de 1,500 kg/m² est imposée en Flandre pour l'instant.

Méthode	ISO/DIS	<i>Slab Test</i>	<i>Slab Test</i>	<i>Slab Test</i>
Perte de masse	30 cycles	28 cycles	28 cycles	28 cycles
Surface testée	Dénudée	Dénudée	Sciée	Coffrée
Unité	g/dm ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²
RI-400-S1-L-air	1,74	0,47	0,23	0,71
RII-375-S1-L-air	2,76	1,57	0,24	1,40
RII-375-S1-B-air	7,64	2,58	n.m.	n.m.
RI-400-S3-L-air	2,08	0,34	0,24	0,93
RII-375-S3-L-air	2,82	1,78	0,26	1,89
RII-375-S3-B-air	8,37	2,40	n.m.	n.m.
<i>RI-400-S3-L</i>	<i>10,62</i>	<i>3,51</i>	<i>0,95</i>	<i>3,96</i>
<i>RI-400-S3W-L</i>	<i>15,11</i>	<i>4,33</i>	<i>1,19</i>	<i>4,07</i>
<i>RII-375-S3-L</i>	<i>18,38</i>	<i>4,03</i>	<i>1,92</i>	<i>4,33</i>
<i>RII-375-S3W-L</i>	<i>20,79</i>	<i>5,64</i>	<i>2,58</i>	<i>5,02</i>
<i>RII-375-S3-B</i>	<i>28,91</i>	<i>5,67</i>	n.m.	n.m.
<i>RII-375-S3W-B</i>	<i>32,18</i>	<i>6,31</i>	n.m.	n.m.
n.m. = non mesuré				

Tableau 4 – Perte de masse moyenne après 28 ou 30 cycles – Les compositions/valeurs non conformes (selon les cahiers des charges types) sont affichées en italique.

Les compositions avec une teneur en ciment de 375 kg/m³, un facteur eau sur ciment de 0,50 et l'utilisation d'un entraîneur d'air (RII-375-S1-air-L et RII-375-S3-air-L) présentent des pertes de masse plus importantes de 1,57 kg/m² et 1,78 kg/m² (après 28 cycles selon le *Slab Test*). Ces valeurs satisfont toutefois aux exigences pour les *Bouwklassen* inférieures en Flandre (valeur limite de 3,000 kg/m²).

Les autres compositions pour lesquelles aucun entraîneur d'air n'a été utilisé présentent beaucoup plus d'écaillage pour la surface avec finition, avec des valeurs qui se situent (bien) au-delà de la perte de masse maximale acceptée après 28 (*Slab Test*) ou 30 cycles (ISO/DIS [1]) comme imposé dans les cahiers des charges types régionaux.

Les plus grandes pertes de masse – indépendamment de la méthode d'essai – sont constatées pour la composition RII-375-S3W-L pour laquelle aucun entraîneur d'air n'a été utilisé et pour laquelle de l'eau a été ajoutée par la suite pour augmenter l'ouvrabilité. Pour ce mélange, le facteur eau sur ciment dépasse de 0,06 la valeur maximale autorisée (0,50).

On observe en général qu'à nombre de cycles égal, les pertes de masse par écaillage sont toujours plus importantes lorsque l'essai est réalisé suivant la méthode du *Slab Test*. On peut en conclure que les cycles de gel-dégel suivant la méthode CEN/TS 12390-9 sont plus sévères que ceux réalisés suivant la méthode «ISO/DIS».

Comme on le voit à la figure 2, les pertes de masse obtenues suivant la méthode

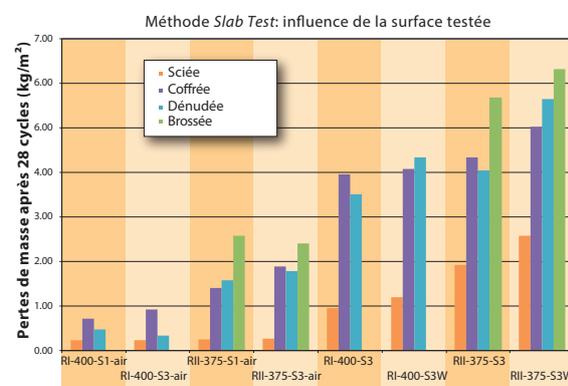


Figure 2 – Influence de la surface d'essai sur la perte de masse après 28 cycles selon la méthode *Slab Test*

Slab Test sont sensiblement inférieures sur les surfaces sciées que celles sur la surface avec finition. La surface sciée reflète probablement davantage la résistance intrinsèque à l'écaillage de la composition du béton et ne tient pas compte de la finition de surface ou de l'excès de pâte de ciment («peau du béton») à la surface exposée.

Pour les surfaces avec finition, on observe que, pour une composition de béton identique, les pertes obtenues sur surfaces brossées sont systématiquement plus importantes que celles obtenues sur surface dénudée. Cette observation n'est basée que sur quatre résultats et doit encore être étudiée plus en détail.

On peut également voir à la figure 2 que les résultats d'écaillage obtenus sur surface dénudée sont dans l'ensemble comparables aux résultats d'écaillage sur surface coffrée.

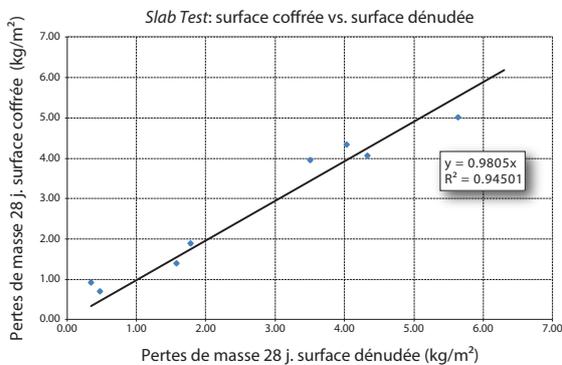


Figure 3 – Pertes de masse après 28 cycles selon le Slab Test sur une surface coffrée comparé à celles sur une surface avec finition (dénudée)

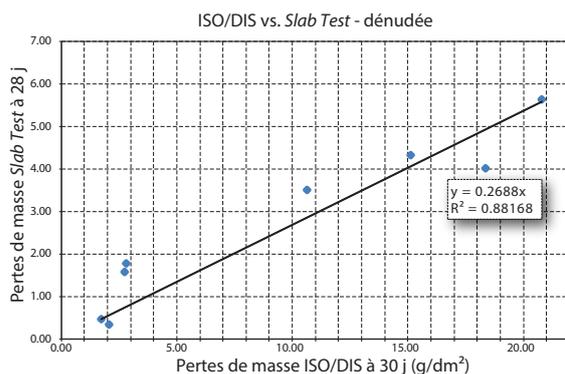


Figure 4 – Perte de masse d'une surface avec finition (dénudée) après 28 cycles selon la méthode Slab Test et après 30 cycles selon la méthode ISO/DIS

La figure 3 établit la comparaison entre les pertes de masse après 28 cycles selon le *Slab Test* pour une surface coffrée et une surface dénudée. Cette comparaison a son importance dans le cadre du nouveau processus de certification pour le béton routier [7], selon lequel le *Slab Test* doit être réalisé en laboratoire sur la face coffrée des cubes de béton. Comme on le voit à la figure 3, les résultats peuvent être considérés comme équivalents, mais bien entendu, des résultats complémentaires sont nécessaires pour confirmer cela.

La figure 4 rapporte les pertes de masse pour la surface avec finition (dénudée) mesurées après 28 cycles selon le *Slab Test* en fonction de celles mesurées après 30 cycles selon l'essai ISO/DIS [1]. Un facteur moyen d'environ 3 (2,7) est obtenu par régression linéaire entre des résultats pour la méthode *Slab Test* et la méthode ISO/DIS 4846-2 [1]. Cette valeur doit encore être confirmée par des résultats à venir, mais est en accord avec les études précédentes [8] et les exigences actuelles imposées dans le SB 250.

Conclusions et perspectives

Des compositions représentatives du béton routier pour des routes fortement et moyennement sollicitées en Belgique sont soumises à des essais de résistance au gel-dégel en présence de sels de déverglaçage sur base des deux méthodes d'essai appliquées actuellement (méthode *Slab Test* selon la RNR 06 et ISO/DIS [1]).

Sur base des premiers résultats de l'étude prénormative GELAVIA, on trouve un ratio d'environ 3 entre les résultats obtenus suivant la récente méthode d'essai du *Slab Test* [7] et ceux obtenus selon «l'ancien» essai ISO/DIS [1] (pour une surface de béton dénudée). Cette tendance doit encore être confirmée dans la recherche, mais doit permettre à terme d'introduire la méthode de référence selon la spécification européenne CEN/TS 12390-9 [2] dans tous les cahiers des charges types régionaux.

Il convient d'être attentif à l'interprétation des résultats obtenus sur différents types de surface, notamment les

Bibliographie

- [1] **Organisation internationale de normalisation (1984)**
Concrete : determination of scaling resistance of surfaces exposed to de-icing chemicals [projet de norme internationale, abandonné]. Genève: ISO. ISO/DIS 4846-2.
- [2] **Comité européen de normalisation (2016)**
Essais sur béton durci. Partie 9, résistance au gel dégel-dégel en présence de sels de déverglaçage (écaillage). Bruxelles: CEN. CEN/TS 12390-9.
- [3] **Beeldens, Anne; Boonen, Elia; Lybaert, Marijn (2015)**
Influence des traitements superficiels sur la résistance au gel et aux sels de déverglaçage du béton jeune. Rob Geuens et Nicolas Schevenhels (KULeuven). In: Bulletin CRR, (104), pp. 17-8.
- [4] **Bureau de normalisation (2013)**
Revêtements en béton. Partie 1, matériaux. Bruxelles: NBN. NBN EN 13877-1.
- [5] **De Myttenaere, Olivier (2007)**
Etude et comparaison des méthodes d'essais de résistance des bétons aux cycles de gel-dégel selon la prENV 12390-9, l'ISO/DIS 4846-2 et la NTN-018. In: Bulletin CRR, (72), pp. 3-7.
- [6] **Dooms, B.; Mosselmans, G.; Beeldens Anne (2014)**
Gélimité des revêtements extérieurs en béton : rôle du type de ciment. In: CSTC Contact, 11(3), p. 5.
- [7] **Organisme impartial de Contrôle de Produits pour la Construction (2017)**
Note réglementaire pour fiches techniques, notes justificatives et études préliminaires du béton routier. Zellik: COPRO. RNR 06, Version 1.0. 37 p. Disponible en ligne <http://tw.copro.eu:8000/coproWs/ServiceCopro.svc/select/unique/file/174890>, dernière consultation le 8/08/2018.
- [8] **Beeldens, Anne; Ployaert, Claude; Rens, Luc; De Winne, Pieter (2014)**
Belgian specifications for freeze-thaw-resistant pavement concrete. In: 12th international symposium on concrete roads, Prague, September 23-26. Brussels ; Prague ; Paris: European Concrete Paving Association ; Research Institute of Binding Materials Prague ; World Road Association. 10 p.
- [9] **Bureau de normalisation (2005)**
Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton : définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité. Partie 2, systèmes de protection de surface pour béton. Bruxelles: NBN. NBN EN 1504-2.
- [10] **Bureau de normalisation (2018)**
Béton : spécification, performances, production et conformité. Complément national à la NBN EN 206:2013+A1:2016. Bruxelles: NBN. NBN B 15-001.
- [11] **Bureau de normalisation (2016)**
Béton : spécification, performances, production et conformité. Bruxelles: NBN. NBN EN 206:2013+A1.
- [12] **Centre de Recherches Scientifiques et Techniques pour l'Industrie Cimentière; Centre de recherches routières; Centre Scientifique et Technique de la Construction (2015)**
Projet « new Gel-Dégel » : présentation des résultats de la convention CCN/PN/NBN 905 « Critères de résistance des bétons au gel-dégel II » au Comité d'Accompagnement, Sterrebeek, septembre 16. Bruxelles: CRIC; CRR; CSTC.

surfaces sciées, coffrées ou avec finition (brossées ou dénudées). En général, les surfaces sciées fournissent des valeurs d'écaillage beaucoup plus faibles, alors que sur base des résultats actuels, les résultats sur surfaces coffrées sont proches de ceux obtenus sur surfaces dénudées.

Enfin, dans une prochaine phase de la recherche, l'impact d'une imprégnation hydrophobe sera étudié du point de vue de l'amélioration de la résistance à l'écaillage. De plus, la durabilité de ces produits d'imprégnation (sous l'effet des rayons UV et de l'usure due au trafic par exemple) sera étudiée.

Prix Gustave Magnel 2014-2018

En hommage au professeur Gustave Magnel, qui fut l'un de ses cofondateurs et aussi son administrateur/gérant, le bureau de contrôle technique pour la construction SECO a créé le prix Magnel. L'objectif de ce prix est d'encourager la recherche appliquée au secteur de la construction. Il peut être attribué à des chercheurs dans des universités, des écoles militaires, des centres de recherche ou des administrations publiques d'états membres de l'UE.

Le prix est attribué alternativement à l'auteur d'une thèse de doctorat soit dans le domaine du génie civil traditionnel (prix indiqué par le label «Activités

Une campagne de prélèvements sur chantiers est également en cours afin de valider les résultats obtenus sur des bétons de laboratoire.

Nous vous tiendrons informés en temps voulu de l'évolution et des résultats obtenus dans nos prochaines publications et via notre site web (www.crr.be).

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier le SPF (Service public fédéral) Economie pour leur soutien (financier) au projet.

traditionnelles»), soit dans le domaine des thèmes nouveaux qui ont gagné en importance ces dernières décennies, et qui viennent compléter le processus de construction traditionnel. Pensons par exemple aux prestations énergétiques, à la flexibilité et à la durabilité. Ce prix est indiqué par le label «Nouvelles activités».

Les travaux de recherche doivent revêtir un caractère original, permettre des applications utiles et être en rapport avec les aspects traditionnels de la construction et avec les activités de SECO.

Pour être pris en compte, les travaux doivent être remis avant le 1^{er} novembre

Saint-Trond, ville pilote dans un projet visant à mesurer l'accessibilité des trottoirs

L'administration communale de Saint-Trond et le Centre de recherches routières (CRR) ont procédé ensemble à un examen de tous les trottoirs à l'intérieur des fortifications de la ville. La mesure détermine le confort du pavage et donnera une image objective de l'accessibilité des trottoirs.

Pour les mesures, un collaborateur du CRR a parcouru pendant deux semaines tous les trottoirs du centre-ville avec notre chaise roulante de mesure. Celle-ci mesure le confort et la pente longitudinale et transversale des trottoirs. Sur base de ces résultats, nous obtenons un score de 0 à 10 par 5 m et un score moyen par rue.

Tim Massart du CRR: «En tant que centre de recherches routières, nous considérons la route comme un espace public de façade à façade. Avec et pour les gestionnaires routiers, ainsi que d'autres acteurs du secteur, nous cherchons et développons des solutions innovantes pour réaliser des rues, des places et autres espaces publics durables et accessibles à tous. L'attention croissante pour les trottoirs nous a donné l'impulsion pour réfléchir à une manière objective de mesurer leur confort. Pour autant que nous le sachions, il n'existe pas encore d'outil objectif, que ce soit au niveau national ou international, pour déterminer en continu, rapidement et à faible coût la qualité des revêtements piétons.



Sylvie Smets
02 766 04 11
s.smets@brrc.be



Elia Boonen
02 766 03 41
e.boonen@brrc.be



2018. Le lauréat sera proclamé «titulaire du Prix Gustave Magnel – activités traditionnelles» pour la période 2014-2018. La remise des prix aura lieu le 6 juin 2019.

Pour connaître le règlement du concours et d'autres informations pratiques, consultez le site web de SECO (www.seco.be, rubrique News).



Aussi, nous nous sommes mis à la place d'une personne en chaise roulante, qui éprouve souvent plus de difficultés qu'une personne valide pour se déplacer d'un point A à un point B. Grâce à notre expérience avec nos véhicules de mesure, nous avons construit un appareil de mesure en prenant pour base une chaise roulante. Nous avons réalisé des mesures comparatives avec un premier prototype avec un groupe d'essai de vingt-huit participants, parmi lesquels on comptait aussi bien des personnes valides

que non valides, pour vérifier si notre évaluation objective correspondait au ressenti subjectif des usagers. Après les résultats très positifs, le prototype a été adapté pour pouvoir travailler plus efficacement. Nous sommes à présent prêts pour mesurer tout un réseau, comme ici à Saint-Trond.»

L'échevin de la Mobilité Bert Stippelmans: «Saint-Trond est une commune pilote pour cet examen. C'est aussi la première fois que la chaise de mesure du CRR est utilisée pour mesurer un réseau ininterrompu de rues. Il est rare que des données collectées permettent de faire une évaluation objective, même pour un petit bout de 5 m de trottoir.»

«En tant qu'administration communale, nous misons beaucoup sur l'accessibilité. Cependant, jusqu'à aujourd'hui, il était difficile de la mesurer sur les trottoirs. Tout le monde se plaint bien de temps en temps du mauvais état d'un bout de trottoir. Maintenant, nous pouvons aussi mesurer ce sentiment subjectif de manière objective. Avec les résultats, qui sont attendus dans la première moitié du mois d'octobre, nos services *Mobilité* et *Infrastructuur* pourront se mettre au travail. Sur base d'un planning réaliste, nous nous attaquerons à l'accessibilité des trottoirs», dit la bourgmestre Veerle Heeren.

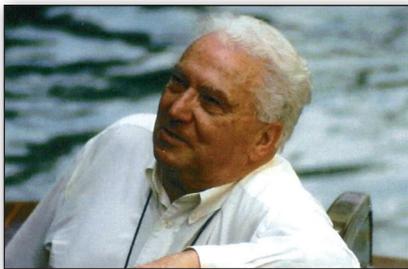
«Les résultats nous permettront aussi d'en apprendre beaucoup sur la me-

sure du confort de certains revêtements. Nous nous en servirons pour choisir les matériaux lors de projets futurs» conclut Bert Stippelmans.



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

In memoriam



C'est avec une grande tristesse que nous avons appris le décès, le 30 juin, à l'âge de 87 ans, de monsieur Emmanuel-Charles Trojan, ancien Président de la Confédération Construction Bruxelles-Capitale.

Au cours de sa carrière, monsieur Trojan a porté différentes casquettes, tant au

niveau de l'économie en général qu'au niveau de notre organisation patronale et des organisations connexes. Voici un bref aperçu de ses principaux mandats:

- administrateur de la SA Asphalte Trojan;
- président de la Confédération Construction Bruxelles-Capitale (1995 – 2001);
- membre du Comité directeur de la Confédération Construction (1995 – 2000);
- membre du Conseil National de la Confédération Construction (1995 – 2001);
- vice-Président de la Confédération Construction de Bruxelles-Hal-Vilvorde (1980 – 1991);

- président de la section provinciale du Brabant pour la Fédération belge des entrepreneurs de travaux de Voirie (1992 – 1994);
- commissaire aux comptes au CRR;
- administrateur de Group S (1993);
- administrateur de Sopa (1993).

Monsieur Trojan était naturellement bien plus qu'un entrepreneur routier: père de cinq enfants, passionné de course automobile et animé d'une joie de vivre que rien ne semblait pouvoir ébranler.

Nous présentons aux familles et aux proches de monsieur Trojan nos plus sincères condoléances.



Centre de recherches routières
Votre partenaire 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



www.linkedin.com/company/brrc



www.youtube.com/c/BrrcBe

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

Rédaction

D. Verfaillie
M. Van Bogaert
J. Cornil
J. Neven
J. Vandermeulen

ISSN: 0777-2572

