



Centre de recherches routières
Votre partenaire pour des routes durables

Bulletin CRR

108

Agenda

Formation hivernale CRR 2017
Routes durables – Entretien et réparations
26 janvier 2017 – 28 mars 2017



3

Evaluation globale des réseaux de voiries communales – Une méthodologie, des formations, un accompagnement!

3

Analyse croisée de densimètres – Le CRR et les entrepreneurs investissent davantage dans la qualité du compactage des revêtements bitumineux

5

APERROUT: étude des performances des recyclés mixtes en domaine routier

6

Le CRR participe au projet de réaménagement de la place Eugène Keym à Watermael-Boitsfort

9

ECORoads, pour une gestion uniforme de la sécurité routière sur les routes et dans les tunnels

11



Bulletin CRR

108



www.linkedin.com/company/brrc



www.youtube.com/c/BrrcBe

Centre de recherches routières
Votre partenaire pour des routes durables

La nouvelle publication CRR *Méthodologies pour l'utilisation du géoradar en auscultation de routes (MF 91/16)* va bientôt paraître!



Le géoradar (*Ground-Penetrating Radar – GPR*) est une technique géophysique non destructive permettant de visualiser les changements dans les chaussées. Le choix de l'équipement et la collecte, le traitement et l'interprétation des données de

mesures requièrent néanmoins des connaissances et de l'expérience de la part des utilisateurs.

Dans cette nouvelle publication, le CRR formule des recommandations pratiques afin de les aider dans cette démarche. Le premier chapitre décrit la réalisation des mesures. Le deuxième chapitre aborde le traitement des données. Les deux annexes complémentaires traitent respectivement de l'estimation des épaisseurs de couches sur base de l'amplitude de réflexion et de la durée de propagation, et de la détermination des zones homogènes.

Une journée d'étude sera organisée à l'automne 2017, afin de présenter en détail

ces recommandations. La date, le programme complet et les informations pratiques figureront en temps voulu sur notre site web www.crr.be et dans le Bulletin CRR.

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 commander une version papier au CRR contre paiement:

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

Agenda

6 octobre 2016

Journée d'étude *Ecrans antibruit*,
Sterrebeek
www.crr.be/fr/agenda_f20161006

11 octobre 2016

Journée de l'Espace Public,
Namur
www.maisondelurbanite.org/activites-externes/2016/journee-de-lespace-public-namur

11 octobre 2016

Séminaire final ROSANNE,
Sterrebeek
<http://rosanne-project.eu>

13 octobre 2016

Concrete Day, Bruxelles
www.gbb-bbg.be/fr/concrete-day-2016

14, 16, 23 & 25 novembre 2016

Formation *Visueel weginspecteur voor netbeheer*, Gand
www.ocw.be/nl/visuele_inspectie

26 janvier 2017 – 28 mars 2017

Formation hivernale CRR 2017
Routes durables – Entretien et réparations, Sterrebeek
www.crr.be

4-6 octobre 2017

XXIII^e Congrès belge de la Route,
Bruxelles
www.cbr-bwc.be

Reportez-vous également à la rubrique AGENDA de notre site web www.crr.be



Formation hivernale CRR 2017 Routes durables – Entretien et réparations Jeudi 26 janvier 2017 – mardi 28 mars 2017

La treizième édition de notre formation hivernale a elle aussi rencontré un grand succès. C'est pourquoi nous abordons les préparatifs de la quatorzième édition avec enthousiasme.

Si vous souhaitez en savoir plus sur l'entretien et les réparations des routes, vous ne devez certainement pas rater la troisième série de formations de notre cycle de base triennal. Ces aspects constituent la conclusion capitale pour des routes durables.

Il n'est pas nécessaire d'avoir suivi le cycle précédent pour s'inscrire à celui-ci.

Notez d'ores et déjà les dates dans votre agenda!

Jour 1 – Jeudi 26 janvier

Diagnostic, auscultation et gestion des travaux

Jour 2 – Mardi 21 février

Tranchées et égouts – Nouveaux développements sur le plan du contrôle, de l'entretien et des réparations

Jour 3 – Jeudi 9 mars

Entretien et réparations durables de routes en béton

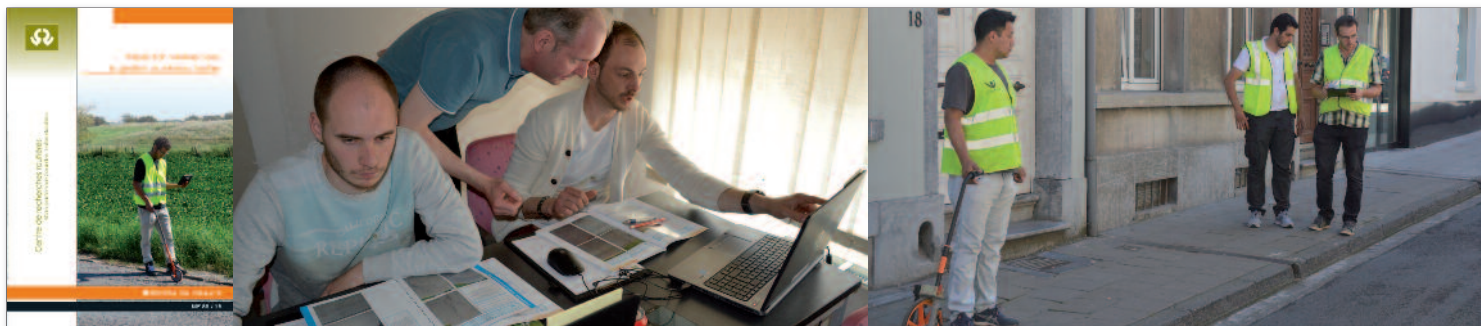
Jour 4 – Mardi 28 mars

Entretien et réparations durables de revêtements routiers et revêtements de ponts avec des matériaux bitumineux

Le programme complet et les informations pratiques seront communiqués en temps voulu par le biais d'une invitation officielle et dans le numéro de décembre du Bulletin CRR. Vous pouvez vous inscrire en ligne via notre site web www.crr.be



Evaluation globale des réseaux de voiries communales – Une méthodologie, des formations, un accompagnement!



De longue date, les gestionnaires de voiries communales, tant rurales qu'urbaines et assimilables (zones portuaires, aéroportuaires, autres sites propres) sont confrontés aux difficultés que représente l'évaluation régulière et en première analyse de l'état global de leurs chaussées (approche **réseau**).

Au travers de nos enquêtes, constat a été fait qu'il existe une réelle attente de la part de nombreux gestionnaires à disposer d'une **méthode cadrée, accessible, crédible et pérenne** visant précisément à rencontrer cet objectif d'évaluation globale d'un réseau de voiries.

Dans cet esprit, soucieux de répondre aux attentes du secteur, le CRR a actualisé début 2015 sa longue expérience et son ex-

pertise en matière d'inspection visuelle des chaussées. En septembre 2015, le fruit de ce travail a été formalisé dans une méthode de mesure CRR *Inspection visuelle pour la gestion du réseau routier* (MF 89/15 – www.brrc.be/fr/article/mf8915), proposant une méthodologie rationnelle et raisonnablement applicable sur terrain tout en laissant au gestionnaire une latitude quant à sa mise en application. Ainsi l'inspection visuelle, plus particulièrement appliquée aux surfaces de voiries carrossables, peut être conduite à pied, à partir d'un véhicule, sur base de photos ou vidéos, par du personnel local formé ou en sous-traitance.

Pour chaque section ou sous-section, les dégradations observées sont encodées conformément à la méthodologie. Un in-



A pied



A partir d'un véhicule

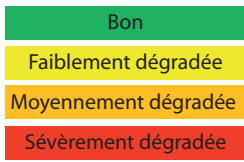


Sur base de photos



Sur base d'images vidéo

dicateur dont la valeur est comprise entre 0 et 0,9 est ensuite calculé et attribué à chacune d'entre elles. Cela permet de catégoriser les sections ou sous-sections en quatre classes. Pour une sous-section qui se trouve près du seuil entre deux classes,



Indicateur

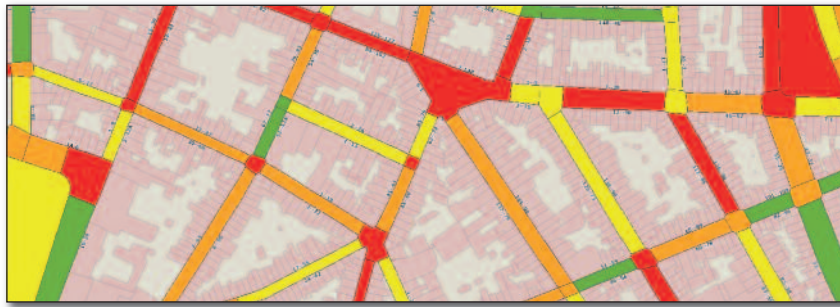


Illustration fictive de la dégradation d'un réseau routier qui ne correspond pas à la situation réelle

la réalisation d'un entretien préventif permettra de repousser la nécessité d'une intervention plus coûteuse. A terme, une politique d'entretien préventive conduit à une optimisation des enveloppes budgétaires allouées annuellement. Les résultats de l'inspection visuelle peuvent être facilement illustrés sur fond cartographique permettant de faire apparaître notamment tant l'état de dégradation absolu des sections que les sections proches de seuils. Si souhaité, les indicateurs obtenus pour chaque (sous-)section peuvent également alimenter un logiciel plus élaboré de type PMS (Pavement Management System). Le logiciel ViaBEL en est un exemple. Il représente une aide visant à identifier sur le moyen terme (trois à dix ans) les choix de stratégies d'entretien préventif et curatif les plus pertinents en regard des coûts associés, le tout répondant au mieux aux attentes du gestionnaire.

Le CRR complète cette méthodologie en proposant des cycles de formation destinés aux futurs inspecteurs. Ces formations financièrement accessibles s'étalent sur quatre jours et sont proposées tant en français qu'en néerlandais. Le CRR propose ensuite gratuitement aux participants une cinquième journée d'assistance locale et individualisée tant au bureau que sur le terrain.

L'équipe pluridisciplinaire du CRR, composée de techniciens et de chercheurs (voir encadré), se charge de la méthodo-

Catégories I_G	Type d'entretien	Remarques
$0,9 \geq I_G > 0,8$	Entretien ordinaire	Aucune réparation nécessaire
$0,8 \geq I_G > 0,5$	Réparations locales	Réparer uniquement des dégradations locales
$0,5 \geq I_G > 0,3$	Réparations générales	Réparer les couches supérieures sur toute la longueur de la sous-section
$0,3 \geq I_G$	Renforcement	Approche structurelle sur toute la longueur de la sous-section de route



5^e journée: accompagnement à Saint-Josse-ten-Noode, le matin, dans leur bureau



5^e journée: accompagnement à Saint-Josse-ten-Noode, l'après-midi, sur le terrain

logie, des formations et de l'accompagnement.

Par ailleurs, cette méthodologie entraîne également dans son sillage l'intérêt d'autres acteurs privés tant en Belgique qu'à l'étranger. Selon le cas, ces acteurs se positionnent en proposant des outils paramétrables (tablette, logiciel dédié) facilitant l'encodage des dégradations rencontrées sur terrain, des prestations de services ou encore un système logiciel de gestion globale intégré de type PMS. Le

CRR travaille en collaboration avec ces différents acteurs.

Suite à l'intérêt que rencontre cette approche d'évaluation auprès des gestionnaires, le CRR a déjà organisé depuis la parution de sa méthodologie trois cycles de formation. Notre quatrième cycle de formation se tiendra en néerlandais à Gand les 14, 16, 23 et 25 novembre 2016. Informations et inscriptions: www.ocw.be/nl/visuele_inspectie (le nombre de participants est limité!).

Equipe CRR pluridisciplinaire pour l'inspection visuelle du réseau routier

Mathieu Draps
Technicien
Inspecteur de terrain



010 23 65 53
m.draps@brrc.be

Maarten Laforce
Technicien
Inspecteur de terrain



010 23 65 41
m.laforce@brrc.be

Alain Van Buylaere (auteur)
Technicien
Responsable adjoint de l'équipe Auscultation



010 23 65 42
a.vanbuylaere@brrc.be

Hugues Genard
Chercheur
Cartographie



010 23 65 14
h.genard@brrc.be

Tim Massart
Chercheur
Responsable de l'équipe Auscultation



010 23 65 43
t.massart@brrc.be

Carl Van Geem
Chercheur
Traitement et interprétation de mesures



010 23 65 22
c.vangeem@brrc.be

Contact

Analyse croisée de densimètres – Le CRR et les entrepreneurs investissent davantage dans la qualité du compactage des revêtements bitumineux

Contexte et objet

Les entrepreneurs procèdent de plus en plus souvent à l'acquisition d'un densimètre afin de mesurer in situ la qualité du compactage des revêtements bitumineux. Riche de sa longue expérience en matière de mesures de ce type, le CRR a pris l'initiative d'organiser des essais comparatifs portant sur l'utilisation des densimètres.

A l'heure actuelle, le secteur routier belge emploie deux types d'appareils: les densimètres nucléaires et les densimètres électromagnétiques.

Lors de cette campagne de mesures, les utilisateurs auront l'opportunité de comparer leur appareil avec des modèles similaires utilisés dans notre pays. L'attention se portera également sur la comparaison et l'optimisation des procédures de mesure.

En partageant de la sorte nos connaissances avec le secteur, nous souhaitons améliorer la qualité des mesures ainsi que celle des travaux réalisés.

Campagne de mesures

Tous les utilisateurs belges de densimètres connus du CRR ont été invités à participer à la campagne de mesures et ont accepté. Ceci confirme la nécessité et l'intérêt porté à des essais de ce type.

Tous les participants réaliseront des mesures au même endroit, selon leur propre méthode et selon une procédure prescrite par le CRR.

La recherche d'un site de mesure adéquat a débuté et nous espérons pouvoir réaliser la campagne de mesures au début de l'automne 2016.

Résultats et diffusion des informations

Le CRR traitera et analysera les résultats, pour ensuite rédiger un rapport. Tous les participants le recevront et seront invités



Figure 1 – Mesures de densité in situ effectuées par le CRR

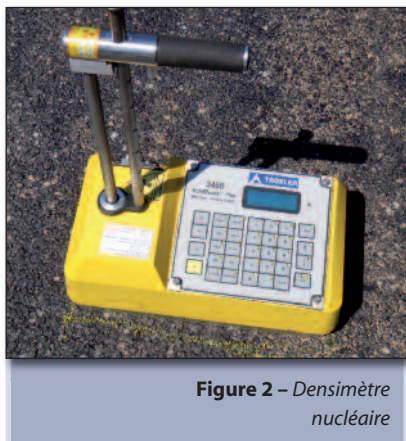


Figure 2 – Densimètre nucléaire

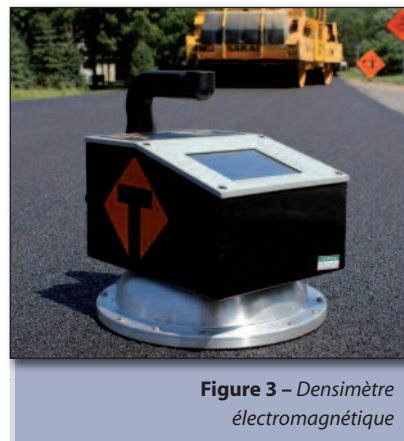


Figure 3 – Densimètre électromagnétique

Source: Transtech

pour une présentation détaillée, tout en respectant bien entendu la confidentialité comme il se doit.

Par le biais d'une analyse récapitulative et de conclusions, nous vous informerons en temps voulu via notre site web et le Bulletin CRR.

Nous espérons que les enseignements que nous tirerons de cette campagne de mesures constitueront un apport positif pour l'ensemble du secteur routier.



Ben Duerinckx
02 766 03 75
b.duerinckx@brrc.be

Projet APERROUT: étude des performances des recyclés mixtes en domaine routier



Figure 1 – Une première planche d'essais a été mise en œuvre pour observer in situ le comportement de granulats recyclés mixtes soumis à des cycles naturels de gel-dégel durant deux périodes hivernales

Contexte

En Belgique, plus de six millions de tonnes de granulats recyclés mixtes (béton, maçonnerie) sont produits annuellement à partir de déchets de construction et de démolition. Ces granulats contiennent jusqu'à 50 % de déchets de maçonnerie (briques, tuiles, béton cellulaire non flottant). Ils représentent entre 30 et 40 % des granulats recyclés produits dans notre pays, vu la présence relativement abondante dans les chantiers régionaux wallons de ces matériaux. Les principaux domaines d'application de ces matériaux sont les fondations en empierrements liés ou non, les sous-fondations et les remblais, pour autant qu'ils respectent les critères adéquats fixés dans les cahiers des charges.

Malgré le fait que leur utilisation en sous-fondation soit prévue dans le CCT Qualiroutes, l'utilisation des recyclés mixtes dans les chantiers régionaux wallons reste limitée. Dans ce contexte, le CRR a coordonné le projet de recherche APERROUT



Figure 2 – Les granulats recyclés mixtes peuvent contenir jusqu'à 50 % de déchets de maçonnerie

(Amélioration des Performances des Recyclés mixtes en domaine Routier par Optimisation des Unités de Traitement) en collaboration avec le Centre Terre et Pierre (CTP) et l'Université de Liège (Service GeMMe).

Ce projet, qui s'est achevé en mars 2016, s'est notamment intéressé à l'influence de la teneur en fines ($\varnothing < 63 \mu\text{m}$) des échantillons sur leurs performances, ainsi qu'à leur comportement lorsqu'ils sont soumis à des cycles de gel-dégel. Cet article reprend quelques conclusions du projet relatives à ces problématiques.

Influence de la teneur en fines des échantillons

Prélèvements

Dans le cadre du projet APERROUT, différents échantillons de déchets de démolition (bruts) et de granulats recyclés (après traitement) ont été prélevés et analysés en laboratoire.

Ces essais ont révélé une certaine variabilité de composition et de caractéristiques physico-chimiques dans le temps et l'espace. Le type de chantiers dont sont issus ces matériaux (bâtiment, ouvrage d'art, voirie), le contexte géologique et la diversité des bétons sont autant de paramètres qui influencent le comportement général du matériau.

Un autre paramètre qui a pu être mis en évidence est la difficulté d'obtenir une

bonne représentativité du lot lors de l'opération d'échantillonnage. La méthode d'échantillonnage a une influence certaine sur les caractéristiques mesurées en laboratoire. Des différences granulométriques significatives apparaissent ainsi selon que l'échantillon est pris à la sortie de la bande transporteuse, dans le tas ou sur le chantier même. Sur un même chantier, des différences importantes peuvent aussi apparaître en fonction de la localisation de la prise d'échantillons.

Influence des fines sur les performances

La teneur en fines ($\varnothing < 63 \mu\text{m}$) des matériaux est l'un des paramètres les plus influencés par la méthode d'échantillonnage. Pourtant, cette teneur peut avoir des effets (positifs ou négatifs) non négligeables sur différentes propriétés de l'empierrement compacté:

- **la compacité, la portance du matériau et la résistance aux différents types de déformations:** les fines, pour autant que leur teneur soit limitée, ont tendance à remplir les espaces intergranulaires lors des opérations de compactage, ce qui permet d'améliorer la masse volumique du matériau et donc sa compacité et sa portance. Par contre, à partir d'une certaine teneur (située entre 20 et 25 % selon la porosité initiale du squelette granulaire du matériau), l'ajout de fines engendre un phénomène inverse, à savoir une diminution de la densité. Les fines n'occupent plus uniquement les interstices mais elles écartent les gros éléments. De plus, une teneur en fines élevée entraîne également une augmentation de la sensibilité à l'eau du matériau, ce qui signifie qu'une teneur en eau supérieure à la teneur en eau optimale générera une diminution plus importante de la portance;
- **la perméabilité:** les fines présentes dans les interstices réduisent la perméabilité du matériau par remplissage des pores. Cependant, tant que leur pourcentage en masse reste modéré, l'eau continue à circuler dans les interstices sans trop de problème. Par contre, à partir d'une certaine valeur (liée à la granulométrie du matériau), les fines favorisent l'accumulation de l'eau dans le matériau plutôt que la circulation de cette dernière;



Figure 3 – L'essai triaxial cyclique permet de simuler les contraintes subies par les matériaux de sous-fondation lors du passage de véhicules

- **la sensibilité au gel:** l'eau stationnaire gèle plus facilement que l'eau en mouvement. Le passage de l'état liquide à l'état solide provoque un accroissement du volume sous forme de gonflement. Ce processus se caractérise soit par un soulèvement de la structure supérieure, soit par une augmentation des contraintes sur les différents matériaux, ce qui facilite dans ce cas la rupture et la production de fines et ne fait qu'accélérer les phénomènes de dégradation mécanique du matériau. Une structure non drainante et riche en fines accélère la propagation des fronts de gel et de dégel.

Pour ces différentes raisons, la majorité des cahiers de charges belges limitent la teneur en fines à une valeur maximale de 7 à 9 % pour les couches de fondation et sous-fondation.

Dans le cadre du projet, les teneurs en fines mesurées sur les échantillons recyclés mixtes étaient souvent élevées (jusqu'à 15,3 %) et généralement supérieures aux 7 % requis par le CCT Qualiroutes en sous-fondations. A l'inverse, les teneurs en fines mesurées sur les déchets bruts étaient toutes inférieures à 5 %, ce qui tend à montrer que la majorité des particules fines sont créées au cours des opérations de concassage.

Étude des déformations au moyen de l'essai triaxial cyclique

L'essai triaxial cyclique (figure 3) est un essai de laboratoire qui simule les sollicitations du trafic routier sur les empierre-

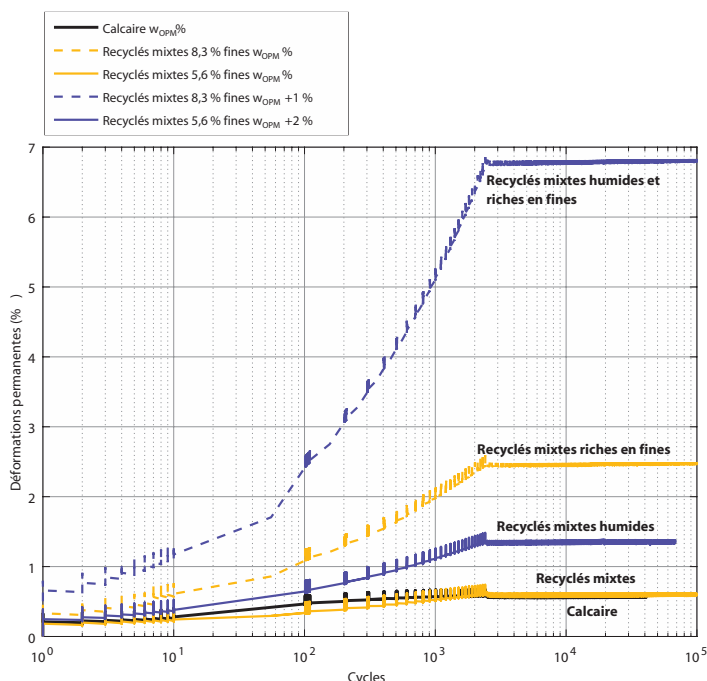


Figure 4 – Des teneurs en fines et en eau élevées augmentent les déformations permanentes mesurées à l'essai triaxial cyclique

ments non liés utilisés en fondation ou sous-fondation routière. L'objectif de la mesure est de déterminer les déformations permanentes à l'origine de l'ornièrage, qui caractérisent le comportement à long terme du matériau. Les modules résilients, utiles pour un calcul de dimensionnement de la structure routière, peuvent également être mesurés. Au cours de l'essai, l'éprouvette est soumise à une contrainte axiale cyclique (σ_1) et à une pression de confinement (σ_3) qui varient dans le temps afin de mieux représenter les sollicitations générées par un passage de roue. Les essais sont réalisés en présence d'eau dans la cellule triaxiale (fluide incompressible) [2].

Dans le cadre du projet, des essais ont été réalisés avec deux recyclés mixtes. Le premier présente une faible teneur en fines (5,6 %), tandis que le second présente une teneur plus importante (8,3 %), correspondant mieux aux teneurs mesurées dans le cadre du projet. Les deux matériaux ont été soumis à l'essai triaxial cyclique après avoir été compactés à leurs teneurs en eau optimales (déterminées à l'aide de l'essai Proctor Modifié), puis à des teneurs en eau légèrement supérieures. Les déformations permanentes obtenues sont comparées à celle d'un granulat calcaire à la figure 4.

La déformation permanente des recyclés mixtes, après 100 000 cycles, est quasiment identique à celle des granulats calcaires (0,5 %) lorsque le matériau a une teneur en fines limitée et que le mélange est à sa teneur en eau optimale. Les déformations du recyclé mixte augmentent

néanmoins à 1,3 % lorsque la teneur en eau augmente légèrement et à 2,5 % lorsque la teneur en fines augmente. Les déformations mesurées s'élèvent même à 6,8 % lorsque le matériau est à la fois humide et riche en fines. Ces résultats montrent l'importance de limiter la teneur en fines des matériaux recyclés mis en œuvre et de contrôler leur teneur en eau lors de la pose et du compactage, afin que les déformations permanentes restent à un niveau acceptable (< 1 %).

Représentativité de l'essai de sensibilité aux cycles de gel-dégel (F)

Le CCT Qualiroutes exige une valeur du critère de résistance au gel-dégel F inférieure ou égale à 2 % pour tout matériau granulaire utilisé en fondation et sous-fondation. Ce critère est souvent le plus difficile à atteindre pour les granulats recyclés. Une enquête réalisée par le CRR sur les exigences requises en matière de durabilité dans différents pays d'Europe a montré que les critères utilisés y sont en général moins stricts, notamment en ce qui concerne l'utilisation des matériaux recyclés, mais que l'utilisation y est souvent limitée à des classes de trafic plus faibles.

Les valeurs de F mesurées au cours du projet varient entre 4 et 18 % pour les recyclés mixtes et de 6 à 12 % pour les recyclés de béton. Elles sont donc très éloignées du seuil de 2 %. En pratique, sur base uniquement de ce critère, la quasi-totalité des recyclés sont exclus pour les applications en fondation et sous-fondation.

Afin de trouver une solution à cette problématique, le CRR a réalisé différentes planches d'essais dans le but d'observer in situ le comportement de granulats soumis à des cycles réels de gel-dégel. Des essais triaxiaux cycliques ont également été réalisés.

Les deux planches d'essais réalisées étaient composées de recyclés mixtes pour la première (figure 1, p. 6) et de calcaire naturel et recyclés de béton pour la seconde (figure 5). Pour ces planches d'essais, les matériaux ont été mis en œuvre sur une trentaine de centimètres d'épaisseur et des capteurs de température ont été positionnés en surface et à différentes profondeurs dans la couche. Les matériaux, non recouverts, ont été laissés tels quels durant une à deux saisons hivernales. Différentes mesures ont été périodiquement réalisées au droit de ces planches: relevés topographiques, gammadensimètre, sonde de battage CRR, plaque statique belge, plaque dynamique allemande et essai PANDA.

Les principales conclusions issues de ces mesures sont les suivantes:



Figure 5 – La deuxième planche d'essais réalisée dans le cadre du projet APERRROUT a permis de comparer les performances de recyclés de béton (à gauche sur la photo) et de granulats calcaires (à droite sur la photo)

- les hivers concernés n'ont pas été très rigoureux en Belgique. Les capteurs de température ont montré la présence d'une succession de cycles de gel-dégel en surface, mais le front de gel associé est rarement descendu à une profondeur supérieure à 5 cm. Seuls les granulats de surface ont donc été impactés par le gel;
- les propriétés du matériau sont modifiées temporairement en présence de gel (figure 6): des phénomènes de gonflement et une augmentation momentanée de la portance dynamique ont été observés sur les trois matériaux testés. Cela s'explique probablement par la présence d'une fine couche superficielle de glace;
- les trois matériaux présentent un gonflement progressif, dont l'amplitude dépend du matériau testé (figure 6). Ce gonflement est plus faible pour le calcaire (0,9 % après un hiver) que pour les recyclés de béton et mixtes (1,5 % et 1,4 %). La poursuite des mesures au cours d'un second hiver pour les recyclés mixtes a montré que le phénomène se poursuivait, avec un gonflement total de 2,4 %. Le suivi de la seconde planche d'essais se poursuivra au cours des prochains mois;
- une augmentation progressive de la portance (statique et dynamique): après un hiver, toutes les valeurs mesurées sont plus de deux fois plus élevées que lors de la mise en œuvre. Ceci tend à confirmer l'hypothèse selon laquelle des réactions secondaires se produisent dans les recyclés non liés suite à la présence de particules de ciment non hydraté et/ou de chaux libre. Cependant, dans le cas d'une sous-fondation où le rôle drainant est important, il conviendrait de voir comment la perméabilité du matériau est affectée par ces réactions. Des études ultérieures sont prévues à ce sujet;

après l'hiver, des échantillons ont été prélevés à différentes profondeurs et ont fait l'objet d'essais de laboratoire (gel-dégel et granulométrie). Les variations entre les résultats sont très faibles par rapport à la précision des essais et à l'hétérogénéité des matériaux. On peut néanmoins conclure que le gel modéré auquel ont été soumis les échantillons de surface ne semble pas avoir modifié de façon significative leur teneur en fines ou leurs performances aux essais de laboratoire.

Des tests ont été réalisés au triaxial cyclique afin de comparer les déformations permanentes d'éprouvettes ayant subi préalablement dix cycles de gel-dégel aux déformations des éprouvettes de référence. Ces essais n'ont pas permis de mettre en évidence un accroissement des déformations suite au gel-dégel. On peut penser que des particules fines se sont créées lors des cycles de gel-dégel et que le matériau subit donc moins d'attrition lors de l'essai triaxial cyclique. Ceci sera à vérifier sur d'autres matériaux.

Suite à ces résultats, une proposition de modification du critère de gel-dégel, basée sur les exigences requises en Allemagne, a été faite au niveau du groupe de travail GT02 (Terrassements, fondations, démolitions, matériaux recyclés) du CCT Qualiroutes. Ce nouveau critère fixerait la valeur seuil de F à 4 % (au lieu de 2 % actuellement) et tolérerait des valeurs de F pouvant aller jusqu'à 10 %, à condition que le matériau ne produise pas trop de fines lorsqu'il est soumis à l'essai gel-dégel et qu'il soit protégé de toute venue d'eau.

Conclusion et perspectives

Tant la revue bibliographique que les essais réalisés au cours de ce projet indiquent qu'une teneur en fines ($\varnothing < 63 \mu\text{m}$) trop élevée a une influence néfaste sur le comportement des granulats recyclés. Or, ces fines se trouvent souvent en grande quantité dans les matériaux recyclés (jusque 15 % pour les matériaux prélevés au cours de ce projet). Ces fines pourraient être écartées totalement ou en partie au cours du processus de recyclage en utilisant un crible en fin de traitement, mais il faudrait alors développer de **nouvelles voies de valorisation** pour ces matériaux fins. Des applications pour ce type de matériau sont déjà prévues en Flandre dans le SB250, notamment pour les lits de pose

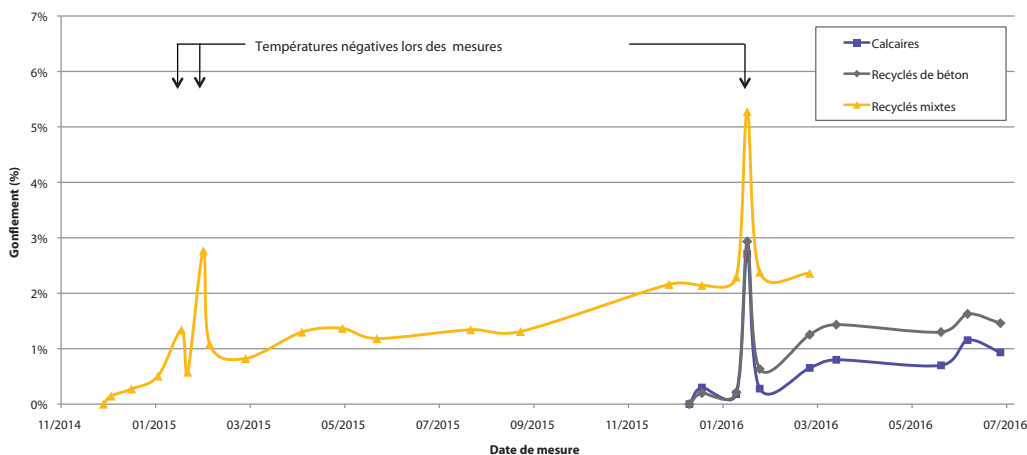


Figure 6 – Les recyclés mixtes et de béton semblent présenter un gonflement deux fois plus important que celui de granulats calcaires

Références

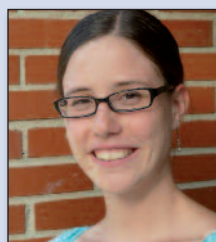
1. Rapport d'activités 2015 COPRO
www.copro.eu/content/Vaste_doc/jaarverslagen/2015%20FR/index.html
2. C. Grégoire, R. De Bel et B. Dethy
Caractérisation des matériaux granulaires non liés (naturels ou recyclés/secondaires) par l'essai triaxial cyclique.
In: Bulletin CRR 85, pp. 14-19
www.crr.be/fr/article/bul85
Octobre-novembre-décembre 2010
3. SB250 versie 3.1 Hoofdstukken 3 – 7.1.2.14 C Steenslag voor granulaat-cement, 7 Rioleringen en afvoer van water et 9 Allerhande werken.
<http://wegenverkeer.be/standaardbestek-250-versie-31>
4. Guide de bonnes pratiques des Matériaux Autocompactants Réexcavables, (MAR)
www.brcc.be/fr/Materiaux_Autocompactants_Reexcavables_Guide
2014

et remblais de tranchée [3]. On peut aussi imaginer, dans un premier temps, une utilisation en sous-fondation ou en fondation liée au ciment pour des voies à trafic faible, voire moyen, ainsi que pour les réseaux de mobilité douce. Les fines de concassage pourraient également être intégrées dans la formulation d'un MAR (matériau auto-compactant réexcavable) [4].

L'effet néfaste du gel sur les granulats recyclés n'a pas pu être mis en évidence au cours du projet par les essais triaxiaux ou les planches d'essais. Il faut cependant nuancer ces résultats, car les hivers durant lesquels les essais ont été menés ont été particulièrement doux.

Les planches d'essais mises en œuvre dans le cadre du projet ont toutefois per-

mis de mettre en évidence d'autres phénomènes: un gonflement et un raidissement progressifs. Les contraintes subies par les recyclés au sein de ces planches sont néanmoins relativement éloignées de celles d'une structure routière classique. En effet, les recyclés n'y sont pas protégés des intempéries par les couches de fondation et de revêtement et n'y subissent aucune sollicitation due au trafic. Il serait intéressant de réaliser une **planche d'essais dans une structure routière classique soumise au trafic**, avec mise en place en sous-fondation de différents matériaux recyclés et naturels. Une autre solution pourrait être d'assurer, à partir de l'exécution, le suivi à long terme d'un tronçon de route pour lequel un recyclé a été mis en œuvre en sous-fondation.



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



Benoît Janssens
02 766 03 91
b.janssens@brcc.be



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

Le CRR participe au projet de réaménagement de la place Eugène Keym à Watermael-Boitsfort

Contexte

Aménagée dans les années septante, la place Keym est maintenant confrontée à des problèmes de sécurité, en raison notamment de sa vétusté, de nombreuses dégradations ou encore de son encombrement. L'ampleur des désagréments est telle qu'un réaménagement en profondeur de la place est maintenant nécessaire.

Pour ce faire, la commune a décidé d'opter pour un processus participatif. À l'automne 2015, les habitants et les commerçants ont eu l'opportunité de faire entendre leur voix lors de trois ateliers. Au terme de ceux-ci, un avant-projet a été mis sur pied, en collaboration avec un groupe d'experts, et concilie au mieux des différents avis et souhaits exprimés.

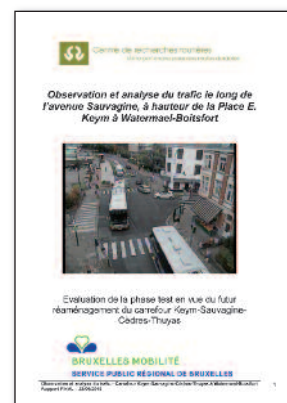
Principe de réaménagement

Le réaménagement a notamment pour objectif de faire de la Place Keym un espace partagé, attractif et dynamique. Les éléments gênants seront retirés afin de permettre l'organisation d'événements (marchés, brocantes, etc.). Les arbres, le mobilier urbain et les éléments ludiques tels que des jeux et une fontaine seront quant à eux conservés (sous leur forme actuelle ou non).

Les rues seront également réaménagées, afin d'améliorer l'accessibilité, le confort et la sécurité des piétons, des personnes à mobilité réduite et des cyclistes, ainsi que la fluidité de déplacement de tous les usagers. Il n'y aura ainsi plus qu'une seule bande par sens de circulation (sans

voie de bus ni îlot central), et certains feux de signalisation disparaîtront. Les différences de niveau inutiles seront supprimées. La vitesse sera limitée et les parties circulables mieux indiquées. Outre de meilleurs aménagements pour les cyclistes, les trottoirs seront également élargis et les traversées piétonnes rehaussées et raccourcies.

Le choix de matériaux antidérapants et harmonieux devrait également jouer en faveur de l'attractivité, de la sécurité et du confort de la place.



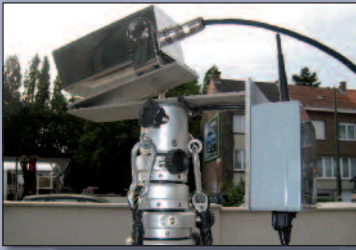


Figure 1 – Aperçu de la caméra (en haut) et du dispositif sur le mât télescopique sur le site test (en bas)



Figure 2 – Radar Doppler pour les mesures de vitesse

Il n'est pas prévu de faire de la Place Keym un espace totalement piétonnier, car cela aurait pour effet de reporter le trafic sur d'autres voiries. De plus, les habitants ont émis le souhait de conserver les accès routiers existants ainsi que les places de stationnement disponibles.

Rôle du CRR lors de l'évaluation préliminaire

Outre des simulations informatiques, un aménagement provisoire a été mis sur pied pendant trois mois (du 4 avril au 4 juillet 2016), afin de confronter les effets du réaménagement à la pratique et d'adapter le projet si nécessaire avant le début des travaux.

Lors de cette phase de test, la société bruxelloise de transports en commun STIB a collecté des données sur la vitesse commerciale (la vitesse moyenne réelle d'un train, tram, bus ou métro sur un certain trajet ou sur une certaine ligne) pour les lignes de bus concernées.

Il a été demandé au CRR de réaliser une analyse complémentaire sur les causes possibles des éventuels impacts positifs ou négatifs du réaménagement sur la circulation des bus, ainsi que sur les interactions entre les bus, les modes de transport actifs et les autres usagers, et sur le respect de la limitation de vitesse de 30 km/h. Un enregistrement vidéo et des

mesures de vitesse ont été réalisés pour cette analyse.

Pour ce faire, le Centre dispose de l'équipement suivant:

- une caméra analogique jour/nuit installée sur un mât télescopique pour les enregistrements vidéos;
- des radars Doppler pour les mesures de vitesse.

Pour l'analyse des flux de trafic et des interactions entre les usagers, un enregistrement vidéo a été effectué pendant 12 h lors d'un jour de semaine type. La caméra placée à 10 m de hauteur sur le mât télescopique a été placée en dehors de la chaussée, sur une bande de stationnement adjacente, afin de ne pas entraver le trafic lors de l'enregistrement.

Pour les mesures de vitesse, deux radars Doppler ont été installés et un relevé horodaté des plaques d'immatriculation a été effectué à quatre moments de la journée, afin de calculer la vitesse des véhicules motorisés.

Conclusions et suite du projet

L'évaluation réalisée par les différents partenaires (Bruxelles Mobilité, STIB, bureau d'architecture, CRR) était essentiellement positive. Le réaménagement n'a pas de conséquence négative pour la régularité des lignes de transport en commun et dans certains cas, induit même une légère amélioration. De manière générale, cela est aussi le cas pour la fluidité du trafic. La vitesse moyenne se situe autour des 30 km/h. Dans le projet définitif, il faudra tenir compte de différents points d'attention, notamment le fait que les girations de certains bus sont problématiques car elles entrent en conflit avec le trafic des voitures et le fait qu'il est impératif de garantir des livraisons fluides, le respect de la limitation de vitesse, ainsi que le confort et la sécurité des piétons et des cyclistes.

Le bureau d'architecture en charge du projet va à présent poursuivre la préparation des plans en vue de déposer une demande de permis d'urbanisme, et une enquête publique sera organisée, afin que chacun puisse remettre un avis.

Pour de plus amples informations

Les rapports du CRR et de la STIB peuvent être téléchargés sur le site web du projet www.keym1170.be (voir *Evaluation positive du test place Keym*). Vous y trouverez aussi de plus amples informations concernant le réaménagement.



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

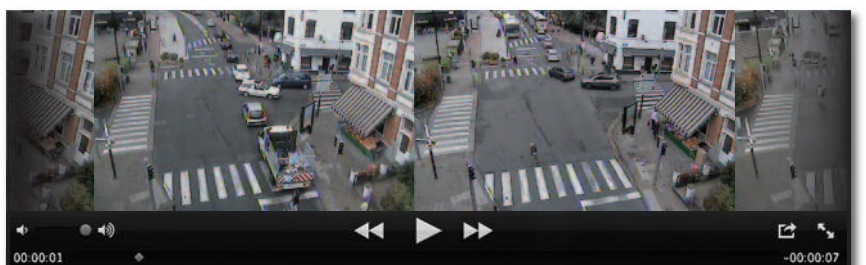


Figure 3 – Exemples d'images enregistrées sur le site test

ECORoads, pour une gestion uniforme de la sécurité routière sur les routes et dans les tunnels



Le projet de deux ans intitulé ECORoads (*Effective and Coordinated Road infrastructure Safety conditions*), qui a débuté officiellement le 1^{er} juin 2015, est arrivé à mi-parcours. Le moment idéal donc pour revenir sur cette année écoulée et pour présenter le déroulement de l'année à venir.

En tant que membre du Forum européen des laboratoires de recherche routière (FEHRL), le CRR participe au projet ECORoads, qui bénéficie du soutien du programme-cadre UE Horizon 2020 pour la recherche et l'innovation. L'objectif de ce projet est de combler l'éventuel fossé existant entre la directive européenne 2008/96/CE (gestion de la sécurité des infrastructures routières) et la 2004/54/CE (exigences de sécurité minimales pour les tunnels et le réseau routier transeuropéen) (voir également le Bulletin CRR 105, pp. 12-13 – www.crr.be/fr/article/bul105).

Approche pratique

Lors du premier workshop le 30 septembre 2015, les stakeholders (experts en tunnels et en sécurité routière) ont analysé les pratiques nationales au niveau des inspections et des audits de sécurité routière dans les tunnels. Pour ce faire, ils se sont penchés sur les besoins et les attentes des acteurs sur le terrain. Ensuite, cinq sites d'essai ont été sélectionnés parmi une liste de quinze endroits. Un aspect important du projet ECORoads consiste à réaliser des analyses sur le terrain avec des équipes «mixtes», constituées tant d'experts en sécurité routière et des tunnels que d'experts de différents pays. Les sites d'essai sont chaque fois constitués d'une section de route en plein air (1 et 5), d'une zone de transition entre le plein air et le tunnel (2 et 4) et du tunnel (3) (figure 1).

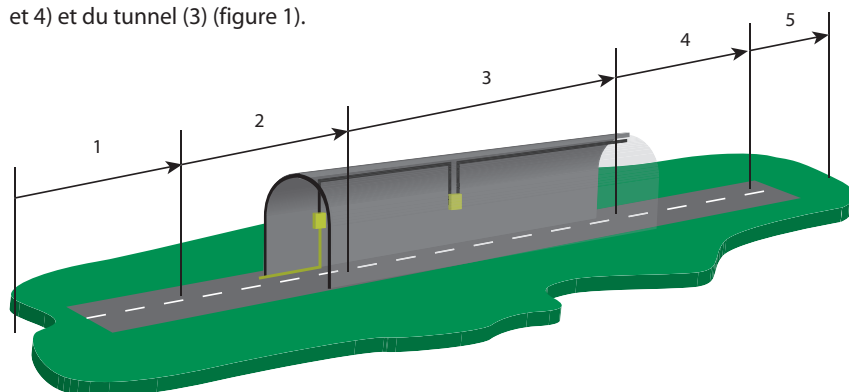


Figure 1 – Représentation schématique de la structure des sites d'essai

Les premières analyses sur le terrain ont été effectuées en mars et en avril 2016, dans le tunnel Kennedy à Anvers et dans le tunnel Krraba, dans la capitale albanaise de Tirana.

Tunnel Kennedy

Le lundi 7 mars 2016 à midi, une équipe constituée d'une quinzaine de personnes a essuyé les plâtres sur le site d'essai du tunnel Kennedy à Anvers.

Lors de la réunion de lancement, le projet ECORoads a été présenté de manière détaillée, afin d'informer toutes les personnes impliquées (l'équipe d'inspection et les membres de la Région flamande) sur la procédure à suivre, ainsi que sur le rôle et les responsabilités de chacun. Afin que le site d'essai soit bien connu de tous, les plans de conception et les données d'accidents du tunnel Kennedy ont été présentés. Une vidéo a également été projetée. Lors de la visite à la TOV (*Tunnel Organisatie Vlaanderen*), des images en temps réel du trafic et quelques enregistrements d'accidents ont été montrés.

Lors d'un audit de sécurité routière, le site d'essai ne doit pas seulement être inspecté lorsqu'il est ouvert au trafic, mais également lorsqu'il est fermé (lors de travaux d'entretien, par exemple), afin de pouvoir étudier l'infrastructure en profondeur et en toute sécurité. Grâce à la bonne collaboration et l'excellente préparation du gestionnaire du tunnel (Région flamande), l'équipe a pu parcourir le trajet de jour avec différents véhicules de service, et réaliser de nuit des inspections à pied.



Figure 2 – Réunion de lancement pour l'analyse sur le terrain dans le tunnel Kennedy à Anvers: présentation du projet ECORoads (en haut) et visite à la TOV (en bas)



Figure 3 – Inspection en voiture de jour (en haut) et inspection à pied la nuit (en bas)



Figure 4 – Equipe d'inspection dans le tunnel Krraba de Tirana

Une équipe d'inspection est constituée d'un noyau (*core team*) de deux experts en sécurité routière et d'un expert en tunnels, un facilitateur (le *facilitator* est une personne de l'équipe ECORoads qui représente le pays où l'étude a lieu et est le point de contact pour le gestionnaire d'infrastructure concerné), un observateur interne (*internal observer*) et des observateurs externes (*external observers*).

Tunnel Krraba

L'approche pour le tunnel Krraba de Tirana suivait également une procédure préalablement établie, qui peut être consultée sur le site web d'ECORoads (www.ecoroadsproject.eu dans la rubrique *Library – Public Area – Deliverables – Common Procedures, with the indication of safety procedures*).

Rapport et feedback

Les deux analyses sur le terrain seront clôturées une fois que les rapports y afférents auront été rédigés. Le rapport d'audit avec tous les éléments critiques éventuels en termes de sécurité routière (problème, lieu, nature du risque, explications et recommandations) a été fourni au gestionnaire d'infrastructure concerné, qui a apporté une réponse à chaque recommandation.

Les remarques de l'équipe d'inspection formulées lors de l'ensemble du processus revêtent une importance capitale pour pouvoir par la suite rédiger un guide avec des recommandations. Ces remarques ont été collectées par le biais de différents questionnaires et rassemblées dans les rapports d'évaluation. Ces derniers constituent la base du *Deliverable 5.2 Feedback from the first test sites*, qui pourront être téléchargés ultérieurement sur le site web d'ECORoads (www.ecoroadsproject.eu dans la rubrique *Library – Public Area – Deliverables*).

Workshops et continuation

Un deuxième workshop a eu lieu à Bruxelles le 2 juin 2016, afin de présenter la première série de cas d'essai et d'en discuter. Lors de celui-ci, on a surtout regardé si la procédure prescrite pour les analyses sur le terrain était complète, ou bien si elle devait être peaufinée ou adaptée.

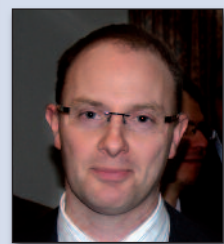
Il convient de souligner que l'échange d'expériences et l'interaction entre les experts en tunnels et en sécurité routière ont été fortement appréciés. Les remarques et les recommandations qui ont découlé de ce deuxième workshop ont été prises en compte pour la deuxième série d'analyses sur le terrain, prévue entre août et décembre 2016. Les trois sites sont le tunnel Rennsteig en Allemagne (BAB A71), le tunnel Katlanovo en Macédoine et le tunnel Strazevica en Serbie.

Dès que ces analyses seront terminées, un troisième et dernier workshop sera orga-

nisé, afin de discuter des résultats des trois sites d'essai susmentionnés et de rédiger un guide avec des recommandations.

Les membres de la Commission européenne chargés de l'éventuelle révision des directives (2008/96/CE et 2004/54/CE) seront tenus informés de tout ceci en détail. Ils sont également invités de manière systématique à participer aux workshops.

Nous vous informerons en temps voulu des développements futurs d'ECORoads sur notre site web et dans le Bulletin CRR.



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



An Volckaert
010 23 65 48
a.volckaert@brrc.be



Centre de recherches routières
Votre partenaire pour des routes durables

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

Ed. resp.: C. Van Rooten, 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
+32 (0)2 775 82 20

Fax: 02 772 33 74
brrc@brrc.be

Laboratoires

Fokkersdreef 21
1933 STERREBEEK
+32 (0)2 766 03 00

Avenue A. Lavoisier 14
1300 WAVRE
+32 (0)10 23 65 00

Rédaction

B. Guelton
D. Verfaillie
M. Van Bogaert
J. Cornil
J. Neven

ISSN: 0777-2572

