



Le béton (maigre) drainant pour des revêtements routiers durables: premiers résultats du projet «Be-Drain»

Dans le contexte actuel de dérèglements climatiques, générant des événements exceptionnels comme les inondations importantes qui ont touché la Belgique l'été dernier, la gestion intégrale des eaux pluviales est une préoccupation qui ne cesse de prendre de l'ampleur. Fort de ses années d'expertise dans le domaine des revêtements drainants, le CRR a dès lors entamé une nouvelle recherche sur l'application du béton dit drainant ou poreux comme fondation ou revêtement routier.



Figure 1 – Planche d'essais avec revêtement en béton poreux sur le site du CRR à Sterrebeek

Dans le cadre du projet prénormatif **Be-Drain** (qui se déroule du 1/11/2020 au 1/11/2022), les partenaires CRR et CRIC¹ - avec le soutien du SPF Economie et du NBN - collaborent à l'élaboration de directives techniques, de caractéristiques performantielles et de méthodes d'essai adaptées pour ces mélanges de béton drainants. Cette recherche est basée à la fois sur des essais de laboratoire et sur des mesures de validation réalisées sur des planches d'essais et/ou sur chantier.

Cet article vise à présenter les objectifs du projet de recherche ainsi que les premiers résultats déjà obtenus.

¹ Centre de recherche collective de l'industrie cimentière, <https://cric.be>

Introduction et contexte

Le béton maigre poreux est connu en Belgique depuis un certain temps et est fréquemment utilisé comme fondation, principalement sous des pavages (drainants). Les prescriptions techniques sont partiellement présentes dans les cahiers des charges types pour la construction routière en Flandre (Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer, 2019+2021) et en Wallonie (Service Public de Wallonie, Mobilité & Infrastructures, 2021).



Figure 2 – Application de béton maigre drainant comme fondation sous un revêtement en pierre naturelle

Récemment – dans le cadre des problèmes climatiques actuels et d'une volonté de gestion plus intégrale des eaux² –, on constate également un regain d'intérêt pour les **revêtements routiers drainants**, et en particulier pour le béton drainant. Dans plusieurs autres pays européens, nous constatons une utilisation croissante de revêtements en béton poreux pour les parkings et les zones à faible trafic, et certaines recherches ont déjà été menées (Abdo et al., 2018; Bachmann, 2018; Weiss et al., 2019). En Belgique aussi, la demande de revêtements en béton drainant coulé sur place augmente et de nouveaux produits arrivent sur le marché pour répondre à cette demande. Toutefois, il n'existe actuellement aucune directive technique générale en Belgique concernant la composition du béton, les exigences performantielles ou la mise en œuvre du béton poreux comme revêtement routier.

D'autre part, pour le **béton maigre drainant**, le secteur même (p. ex. «Conseil consultatif CO-PRO Mélanges traités aux liants hydrauliques» (Organisme impartial de contrôle de produits pour la construction, 2019)) est demandeur d'une méthode plus représentative pour la confection des éprouvettes en laboratoire dans le cadre de l'étude préliminaire pour obtenir la certification. La méthode de compactage prescrite actuellement n'est pas comparable à ce que l'on peut et veut atteindre sur le chantier en termes de perméabilité.

Afin d'étudier ces deux thèmes similaires (béton poreux comme revêtement routier et béton maigre drainant comme fondation), des recherches plus approfondies et globales sont nécessaires en vue d'élaborer des directives techniques et des documents normatifs au niveau belge et européen. Le projet prénormatif Be-Drain tente de répondre à ce besoin et a pour double objectif d'élaborer des directives techniques, des caractéristiques performantielles et des méthodes d'essai appropriées pour le béton dit drainant, d'une part pour **application comme matériau de fondation dans la structure routière, et d'autre part en tant que revêtement routier (= couche de roulement)**.

2 «Operatie Perforatie» (2019-...), Aquafin et Infopunt Publieke Ruimte, <https://www.operatieperforatie.be/>

Étude bibliographique & sélection des matériaux et des compositions du béton

Certaines directives sont déjà disponibles à l'étranger, comme en France, aux États-Unis et en Allemagne, voir p. ex. (Breitenbücher et al., 2013; Buttgereit et al., 2013). L'examen de la littérature spécialisée a indiqué que la recherche en laboratoire devrait idéalement être combinée avec (ou suivie de) la construction de planches d'essais et le suivi de projets.

Sur la base de l'expérience à l'étranger, entre autres (Buttgereit et al., 2013; Curvo et al., 2018; Redron et al., 2015), les principaux paramètres d'essai suivants ont été fixés pour la nouvelle application du béton drainant en tant que revêtement routier:

- compromis entre résistance à la compression (R_c -28d) et perméabilité à l'eau/porosité (k/Φ);
- résistance aux sels de déverglaçage (pour laquelle la méthode d'essai et les valeurs-seuils correspondantes doivent encore être développées);
- résistance au plumage (probablement avec le même essai que pour les revêtements bitumineux);
- confort de conduite et rugosité.

Ces questions sont étudiées dans un premier temps dans le cadre d'une étude en laboratoire approfondie dans laquelle différents mélanges de béton sont pris en compte, par exemple en étudiant l'influence de la teneur en ciment, du facteur eau-ciment, de l'utilisation potentielle d'adjuvants et de l'ajout éventuel de pigments. Pour ce faire, on utilise des granulats de calcaire de différentes classes granulaires (4/6 - 6/10 - 10/14 - 14/20 mm) et un ciment de haut-fourneau (CEM III/A 42,5 N LA).

Le tableau 1 présente l'exemple de deux compositions de béton fixées en concertation avec le partenaire CRIC, ainsi que Febelcem³ (qui suit également la recherche), qui ont été étudiées pour être utilisées comme couche de roulement (composition 1), d'une part, et comme béton maigre drainant (composition 2), d'autre part:

480 kg calcaire 10/14	960 kg 6/20	}	320 kg calcaire 14/20
480 kg calcaire 6/10			320 kg calcaire 10/14
480 kg calcaire 4/6			320 kg calcaire 6/10
250 kg CEM III/A 42,5 N LA			480 kg calcaire 4/6
100 kg eau			200 kg CEM III/A
			80 kg eau

Composition 1 (couche de roulement 4/14)

Composition 2 (BMD 4/20)

Tableau 1 – Compositions de béton drainant et de béton maigre drainant (BMD) utilisées dans le cadre du projet BE-Drain

En outre, nous essayons de valider les résultats obtenus en laboratoire en assurant le suivi de chantiers par des essais sur les mélanges commerciaux utilisés in situ. En fonction de l'application (fondation ou revêtement routier), les exigences en termes de résistance mécanique et de perméabilité sont différentes, mais le principe de mélanges de béton «secs» reste similaire, avec des teneurs en ciment plus faibles (150-300 kg/m³), un facteur E/C inférieur (0,25-0,40) et une fraction sableuse limitée, voire nulle (< 4 mm).

3 Fédération de l'industrie cimentière belge, <https://www.febelcem.be/fr/home/>

Essais en laboratoire

Optimisation de l'étude en laboratoire

L'objectif recherché est tout d'abord de mettre au point une **méthode de compactage représentative** en laboratoire, pour les deux types de mélanges de béton poreux et en fonction de la méthode de compactage sur le chantier (où différentes techniques sont possibles, telles que rouleau vibrant, plaque vibrante, roller striker, coffrage glissant, etc.). Les exigences posées (compromis entre la perméabilité k et la résistance à la compression R_c) varient selon l'application. Le mode de compactage sur le chantier a également un impact sur la maniabilité nécessaire et l'énergie de compactage visées dans l'étude en laboratoire.

L'objectif final est d'avoir un mode de préparation des éprouvettes en laboratoire permettant d'assurer que leurs caractéristiques soient comparables à celles obtenues sur chantier en termes de densité obtenue, de résistance et de perméabilité. Une méthode de compactage classique utilisée pour les mélanges de gravillons traités au liant hydraulique (Proctor modifié) ou pour le béton routier conventionnel (table vibrante) peut entraîner une surestimation des performances du mélange en termes de résistance au détriment de la drainabilité/perméabilité, comme l'indiquent par exemple (Alshareedah et al., 2020).



Figure 3 – Recherche d'une méthode de compactage en laboratoire représentative de la situation sur chantier

À ce jour, la méthode de compactage la plus prometteuse en laboratoire est le «Proctor allégé», basé sur un essai Proctor modifié (selon la NBN EN 13286-2 (Bureau de Normalisation, 2010)) avec:

- compactage en deux couches;
- masse de 2,5 kg;
- hauteur de chute $H_c = 305$ mm;
- 56 impacts/couche;
- moule Proctor B d'un diamètre approximatif de 150 mm et d'une hauteur approximative de 120 mm.

Réalisé sur des mélanges de différents teneurs en eau, cet essai permet de déterminer la perméabilité à l'eau et la résistance mécanique (k vs R_c) qui peuvent être obtenues pour les différentes compositions de béton poreux envisagées, ainsi que l'influence de la teneur en eau sur le compactage et le taux de compactage (théorique) maximal réalisable (optimum Proctor).

Les essais de détermination de la perméabilité selon le dispositif décrit dans le SB 250 (Vlaamse Overheid, AWW, 2019+2021) ou le CCT Qualiroutes (SPW, Mobilité & Infrastructures, 2021) (figure 4) ont démontré la nécessité de **prélever des carottes** (113 mm de diamètre et 100 mm de hauteur) dans l'éprouvette Proctor initiale afin d'obtenir des valeurs de mesure fiables (figure 5 en dessous).

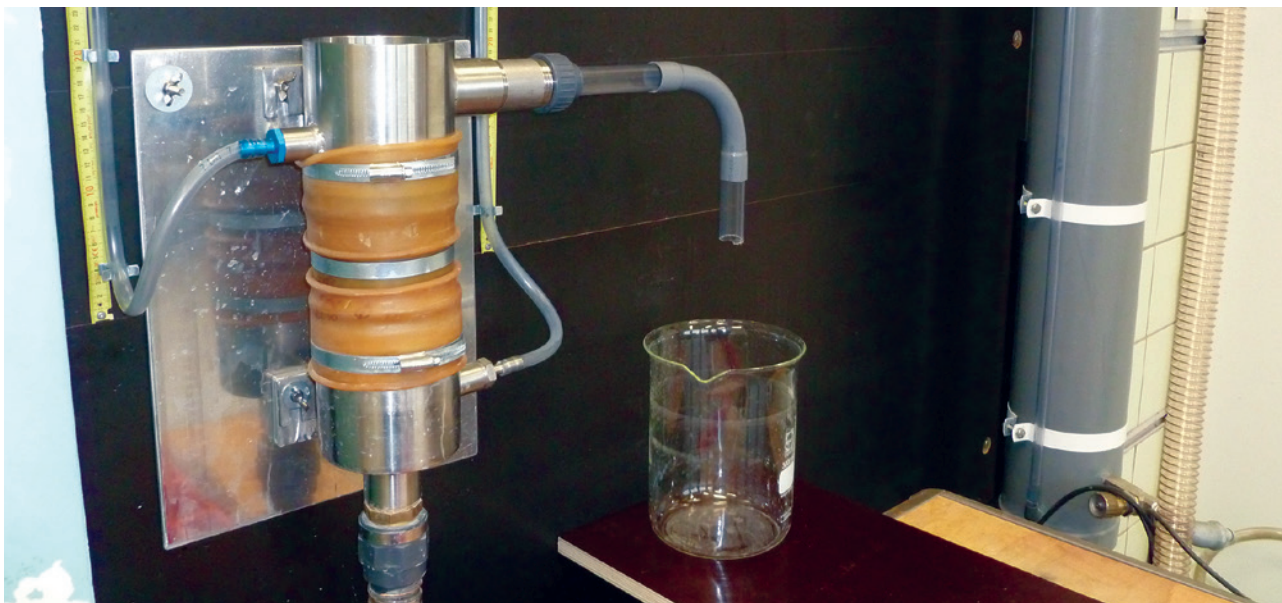


Figure 4 – Dispositif de détermination de la perméabilité à l'eau de carottes en béton poreux disponible au CRR selon Vlaamse Overheid, AWW, 2019+2021, Hfdst 14-4.9 ou SPW, Mobilité & Infrastructures, 2021, CME 52.21

L'influence de la teneur en eau a également été étudiée pour un certain nombre de compositions de béton différentes, dont la composition 1 (figure 5):

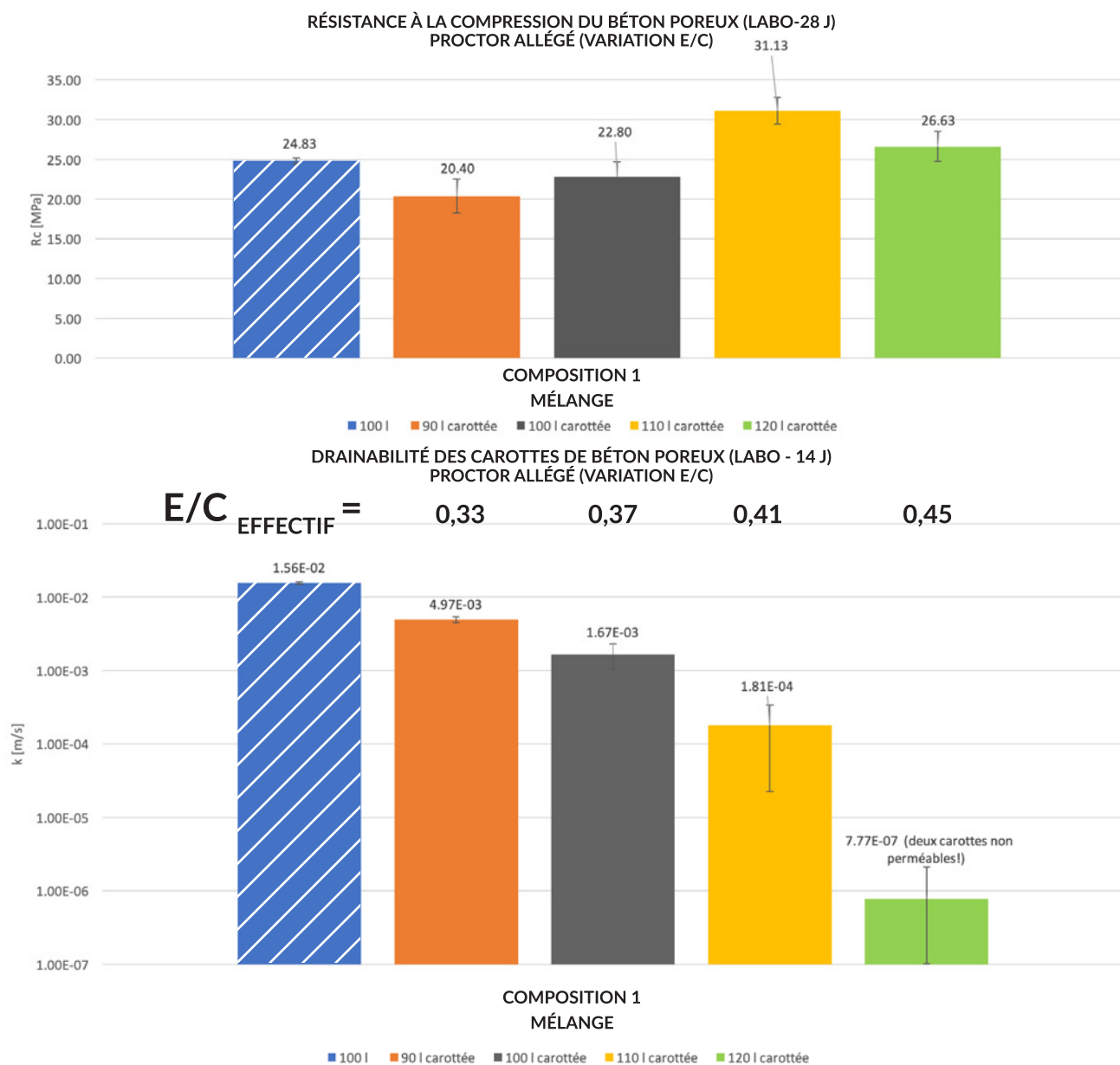


Figure 5 - Influence de la teneur en eau sur les résultats pour la résistance mécanique (Rc) et la perméabilité à l'eau (k) en laboratoire, avec compactage Proctor «allégé» pour la composition 1 (tableau 1)

Pour ce cas spécifique, cela montre que l'on atteint un optimum pour la résistance à la compression à 110 litres d'eau, tandis que la perméabilité à l'eau diminue systématiquement avec l'augmentation de la teneur en eau. D'une manière générale, pour cette composition (composition 1), un bon compromis est obtenu à 100 l d'eau avec:

- résistance à la compression moyenne $R_c \geq 20$ MPa;
- perméabilité à l'eau moyenne $k \geq 4 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Des résultats similaires ont aussi été obtenus pour d'autres mélanges.

Outre les essais sur le béton durci, poreux, des mesures sur le mélange de béton frais sont également effectuées pour déterminer **la fluidité et le délai de maniabilité**, qui sont importants pour l'application dans la pratique.

Les premières mesures de maniabilité avec les méthodes habituelles pour le «béton riche» (Temps VeBe et Mesure de compactage Waltz, respectivement selon les NBN EN 12350-3 et -4 (NBN, 2019a, 2019b)) montrent que ces méthodes d'essai ne sont pas directement applicables aux mélanges de béton poreux. Elles doivent être adaptées, notamment en utilisant des poids pour un bon contact avec la surface du béton, à l'exemple des directives allemandes, voir Becker & Riffel, 2012 et figure 6.

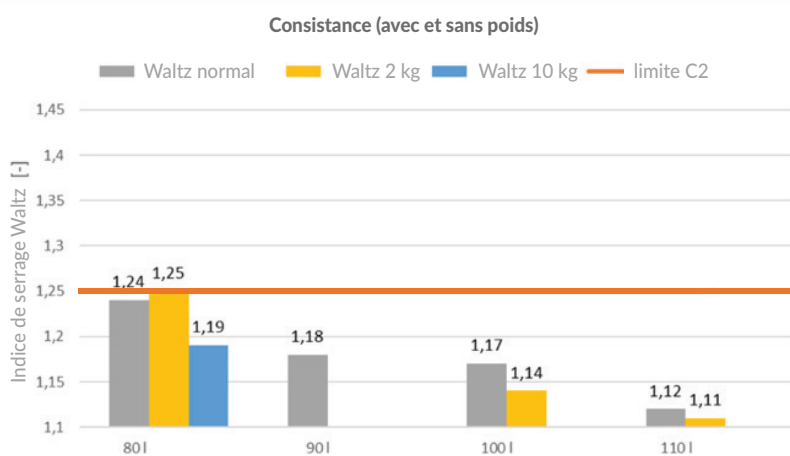


Figure 6 - Essais adaptés de détermination de la maniabilité de mélanges en béton poreux (composition 2)

En outre, nous essayons également de vérifier le délai de maniabilité (= le temps s'écoulant entre la fin du malaxage et la prise du mélange) en effectuant l'essai dit «Proctor différé» (Figure 7) selon la NBN EN 13286-45 (NBN, 2003), en utilisant le compactage Proctor «allégé» à différents moments après la production du mélange de béton poreux.

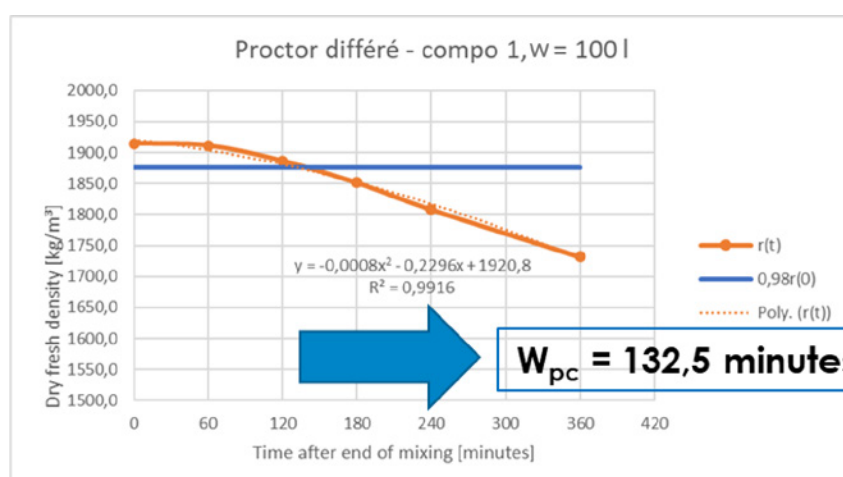


Figure 7 - Détermination du délai de maniabilité selon la NBN EN 13286-45 («Proctor différé»)

Dans une phase ultérieure, l'influence de l'utilisation de certains adjuvants (retardateurs, plastifiants, etc.) qui sont utilisés dans la pratique pourra également être examinée.

Étude d'autres caractéristiques fonctionnelles

D'autres exigences, plus fonctionnelles (confort de conduite, résistance au plumage, rugosité, etc.), sont et seront étudiées pour une utilisation en tant que revêtement routier. Les premiers essais de détermination de la résistance aux cycles de gel-dégel en présence de sels de déverglaçage sont déjà en cours. Une méthode d'essai adaptée doit également être mise au point vu que l'essai pour le béton conventionnel (avec application d'une couche de solution saline sur la surface supérieure) ne peut être appliqué.

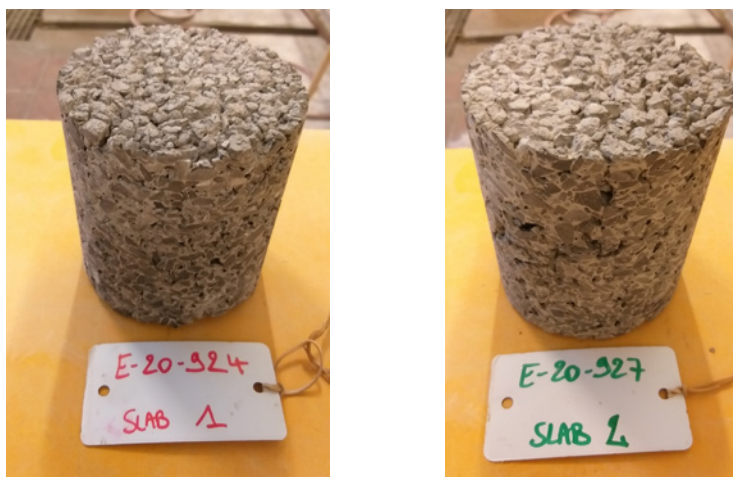


Figure 8 – Carottes de béton poreux après les premiers essais de détermination de la résistance au gel-dégel en présence de sels de déverglaçage

Les premiers tests exploratoires ont déjà été réalisés par le partenaire CRIC avec une immersion complète des éprouvettes pendant un certain temps avant de les exposer aux cycles de gel-dégel, et la détermination de la perte de masse des carottes par la suite (figure 8). L'influence de l'ajout de dispersions polymériques sur la résistance au gel-dégel du béton poreux est également étudiée.

Essais sur chantier

Comme mentionné, en plus des essais en laboratoire, des chantiers réels et/ou des planches d'essais avec du béton drainant sont suivis pour valider et corrélérer les résultats obtenus en laboratoire. Grâce à cette double approche, nous pouvons garantir que les méthodes d'essai proposées restent représentatives, réalisables et réalistes. Jusqu'à présent, trois chantiers ont déjà fait l'objet d'un suivi dans le cadre du projet Be-Drain.

Un exemple concerne un chantier à Herzele (réalisé en novembre 2020, figure 9) avec application de béton maigre drainant comme fondation sous pavage, l'entrepreneur ayant lui-même expérimenté plusieurs méthodes de compactage afin d'identifier la technique de mise en œuvre optimale. En outre, deux mélanges de béton différents avec une teneur en ciment différente (200 et 230 kg/m³) ont également été appliqués.

Les éprouvettes ont été préparées sur le chantier par le CRR à l'aide de différentes méthodes de compactage et la perméabilité in situ a également été mesurée à l'aide de l'essai double anneau, conformément à l'Annexe A de la PTV 827 (COPRO, 2010) (figure 9).



Figure 9 – Suivi d'un chantier avec application de béton maigre drainant comme fondation sous des pavages à Herzele

Ces résultats ont ensuite été comparés à ceux obtenus à partir de carottes prélevées dans le revêtement ((après 90 jours), figure 10).

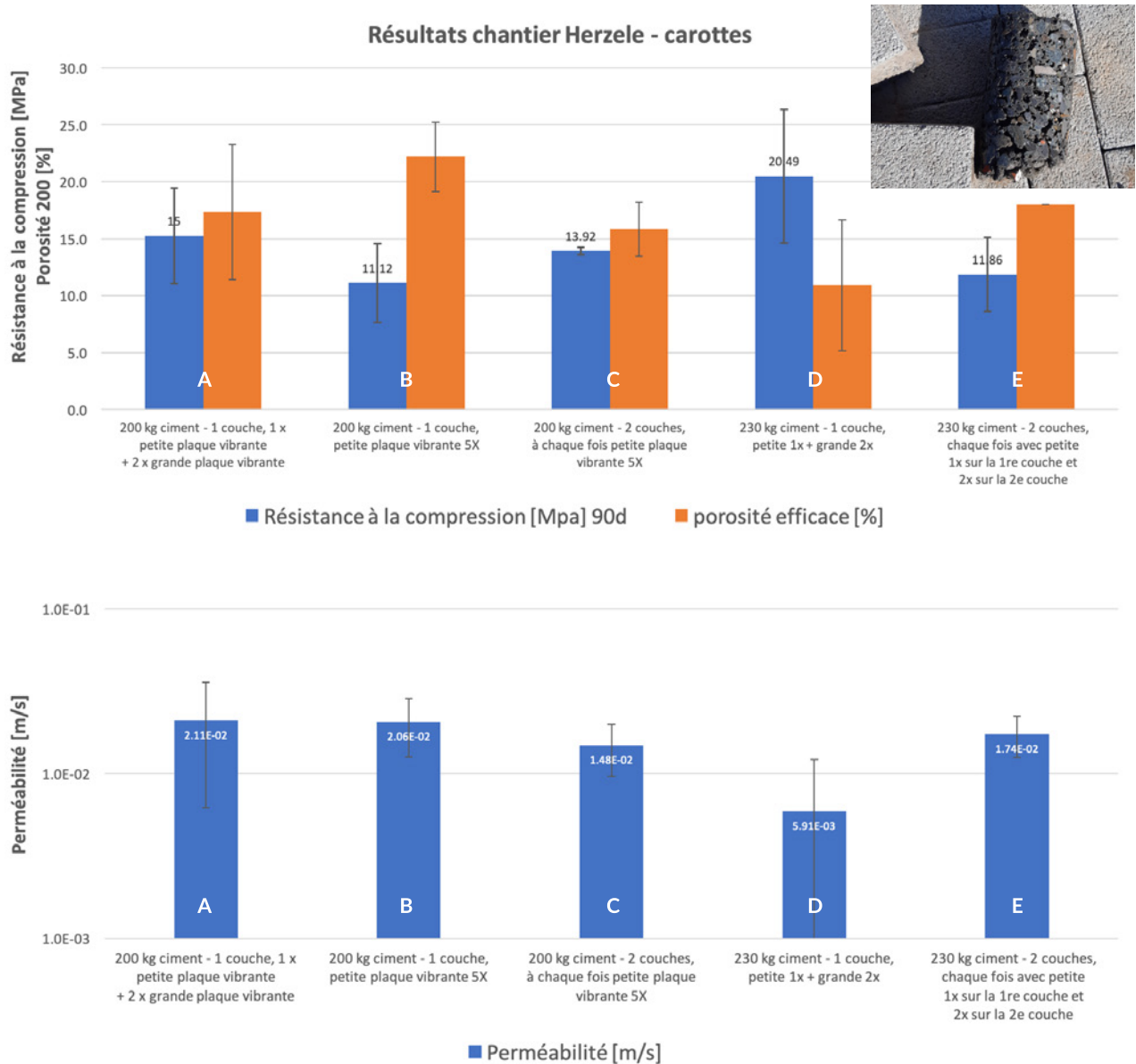


Figure 10 – Résultats obtenus sur carottes prélevées sur chantier à Herzele en fonction de la méthode de compactage et de la teneur en ciment

Malgré la dispersion parfois importante des résultats, tant pour la résistance à la compression (barres bleues) que pour la porosité efficace (barres orange) - déterminées selon le SPW, Mobilité & Infrastructures, 2021, CME 52.20 - un certain nombre d'observations peuvent être faites sur la base des résultats moyens:

- le compactage avec **la grande plaque vibrante** donne les meilleurs résultats pour la résistance (pour une perméabilité demeurant tout à fait acceptable [$> 4 \cdot 10^{-4}$ m/s]);
- l'ajout de **ciment supplémentaire** pour la même méthode de compactage (A et D) a permis d'obtenir une résistance plus élevée;
- lorsque le mélange à 200 kg de ciment est compacté avec la petite plaque vibrante (B et C), la pose en **deux couches** donne de meilleurs résultats en termes de résistance mécanique.

Quoi qu'il en soit, la perméabilité des carottes testées sur ce chantier est plus que suffisante (ordre de grandeur 10^{-2} m/s) et comparable à celle obtenue à partir des éprouvettes «Proctor allégé» produites sur le chantier.

Conclusions et perspectives

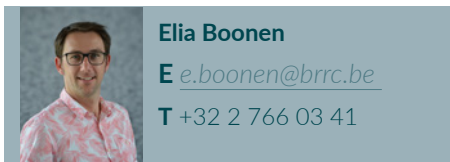
Le béton drainant (qu'il soit maigre ou non) est une solution très prometteuse dans le cadre d'une gestion durable des eaux en environnement urbain. Dans le cadre du projet de recherche prénormatif Be-Drain, le CRR travaille à l'élaboration de directives techniques supplémentaires pour ces mélanges de béton poreux afin d'en finir avec les préjugés et de passer de manière fiable du béton maigre drainant bien connu au revêtement routier durable en béton drainant.

Après un an de recherche, nous avons déjà obtenu de nombreux résultats intéressants en laboratoire. Le CRR reste à la recherche de chantiers avec du béton drainant afin d'en réaliser le suivi et de continuer à valider ces essais.

Vous prévoyez un chantier avec du béton poreux ou ce chantier est en cours? N'hésitez pas à nous contacter!



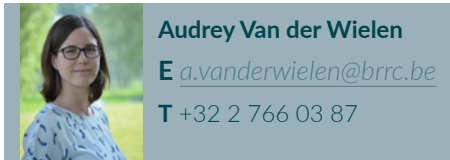
Figure 11 – Application récente de béton drainant sur un terrain de basket-ball à Borgerhout, suivi effectué par le CRR



Elia Boonen

E e.boonen@brrc.be

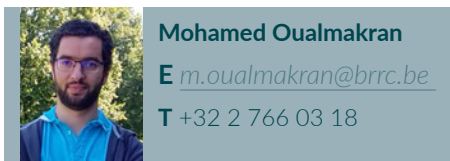
T +32 2 766 03 41



Audrey Van der Wielen

E a.vandervielen@brrc.be

T +32 2 766 03 87



Mohamed Oualmakran

E m.oualmakran@brrc.be

T +32 2 766 03 18

Bibliographie

Abdo, J., Alarcon Ruiz, L., Bonnin, F., Chaussebourg, G., Christory, J.-P., Delhaye, C., Faleyieux, J., Potier, J.-M., Rodot-Chazal, E., & Shink, M. (2018). *Lutter contre l'imperméabilisation des surfaces urbaines: Les revêtements drainants en béton* (Collection Technique Cimbéton T 69). Paris. Centre d'Information sur le Ciment et ses Applications (CIMBéton).

Alshareedah, O., Haider, M. M., & Nassiri, S. (2020). Correlating laboratory and field compaction levels to achieve optimum in situ mechanical properties for pervious concrete pavements. *Journal of Materials in Civil Engineering* (JMCEE7), 32(10), Article 04020278. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0003361>

Bachmann, R. (2018, juin, 19-22). Experience with pervious concrete pavements in Germany: new developments and applications. In *13th international symposium on concrete roads, Berlin, Germany*. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV); InformationsZentrum Beton.

Becker, C., & Riffel, S. (2012). *Ergänzende Arbeitsanweisung für laborarbeiten mit Offenporigem Beton: OPB*.

Breitenbücher, R., Achenbach, G., Bader, R., Bednorz, W., Bruss, W., Ehrlich, N., Eickschen, E., Gehlen, C., Goerz, U., Honert, D., Jurriaans, G., Ludwig, H.-M., Möbius, A., Müller, H. S., Riedl, T., Rother, K., Schmidt, M., Siebert, B., Stöckert, U., . . . Wolf, T. (2013). *Merkblatt für Dränbetontragschichten: M DBT* (FGSV-R2 No. 827). Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV).

Bureau de Normalisation (2003). *Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques - Partie 45: Méthodes d'essai pour la détermination du délai de maniabilité* (NBN EN 13286-45). https://www.nbn.be/shop/fr/norme/nbn-en-13286-45-2003_19310/

Bureau de Normalisation (2010). *Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques - Partie 2: Méthodes d'essai de détermination en laboratoire de la masse volumique de référence et de la teneur en eau - Compactage Proctor* (NBN EN 13286-2). https://www.nbn.be/shop/fr/norme/nbn-en-13286-2-2010_27042/

- Bureau de Normalisation (2019b). *Essais pour béton frais - Partie 3 : Essai Vébé* (NBN EN 12350-3). https://www.nbn.be/shop/fr/norme/nbn-en-12350-3-2019_1584/
- Bureau de Normalisation (2019a). *Essais pour béton frais - Partie 4 : Indice de serrage* (NBN EN 12350-4). https://www.nbn.be/shop/fr/norme/nbn-en-12350-4-2019_23205/
- Buttgereit, A., Eichler, A., Jähnig, J., Özdemir, E., Raeder, G., Riffel, S., Root, V., Sauerbrey, S., Thyges, H., Ulonska, D., & Wolf, M. (2013). *Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen: M VV: M VV* (FGSV-R2 No. 947). Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV).
- Curvo, F., Batezini, R., & Balbo, J. T. (2018, juin, 19-22). Analysis of the infiltration rate variation along time of pervious concrete pavements in tropical climate. In *13th international symposium on concrete roads, Berlin, Germany*. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV); InformationsZentrum Beton.
- Organisme impartial de contrôle de produits pour la construction. (2010). *Waterdoorlatende bestratingen: systeem-, product- en plaatsingseisen* (Prescriptions Techniques COPRO No PTV 827). <https://www.copro.eu/sites/default/files/document/file/Download/Reglementen/Hemelwater/Geldige%20versie/WEB%20PTV%20827%20v%201-0.pdf>
- Organisme impartial de contrôle de produits pour la construction. (2019). *Celebrating 35 years on the road* [Rapport d'activités COPRO 2018]. https://www.copro.eu/sites/default/files/annual_report/file/rapport_activites_2018_fr_0.pdf
- Redron, F., Abdo, J., & Desjardins, C. (Eds.). (2015). Routes [Special issue]. *Routes*(131). <https://www.infociments.fr/sites/default/files/article/fichier/R-131.pdf>
- Service Public de Wallonie, Mobilité & Infrastructures. (2021). *CCT Qualiroutes; Cahier des charges-type* [version 2021 consolidée et ses adaptations ultérieures]. http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/frame.jsp?index_cctquali.html
- Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer. (2019+2021). *Standaardbestek voor de wegenbouw* [versie 4.1+4.1a]. https://wegenenverkeer.be/zakelijk/documenten?documents%5B0%5D=type_document%3AStandaardbestek
- Weiss, P. T., Kayhanian, M., Gulliver, J. S., & Khazanovich, L. (2019). *Permeable pavement in northern North American urban areas: Research review and knowledge gaps*. *International Journal of Pavement Engineering*, 20(2), 143–162. <https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1279482>