



Centre de recherches routières
Votre partenaire pour des routes durables

Exigences performantielles des matériaux de jointoiement pour revêtements modulaires



Compte rendu de recherche

CR 45



Le Centre de recherches routières (CRR) est un institut de recherche privé impartial fondé en 1952. Il exerce son activité au bénéfice de tous les partenaires du secteur routier belge. Le développement durable par l'innovation est le fil conducteur de toutes les activités du CRR. Le CRR partage ses connaissances avec les professionnels du secteur routier entre autres par le biais de ses publications (codes de bonne pratique, synthèses, comptes rendus de recherche, méthodes de mesure, fiches d'information, Bulletins CRR et Dossiers, rapports d'activités). Nos publications sont largement diffusées en Belgique et à l'étranger auprès de centres de recherche scientifique, d'universités, d'institutions publiques et d'instituts internationaux. Plus d'informations sur nos publications et activités: www.crr.be

Compte rendu de recherche CR 45

Exigences performantielles des matériaux de jointoiment pour revêtements modulaires

Centre de recherches routières

Etablissement reconnu par application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947

Bruxelles

2018

Auteurs

Elia Boonen
Marijn Lybaert
Anne Beeldens

Avec la collaboration de Benny De Cauwer (*UGent, Vakgroep Plantaardige Productie*)

Remerciements

Nous remercions le SPF Economie et le Bureau de Normalisation (NBN) pour le soutien financier apporté à l'étude prénormative *PREVOSTRAT* (en entier «**Prestatie-eisen voor innovatieve voegvullingsmaterialen in bestratingen met kleinschalige elementen**»), réalisée en collaboration avec l'*Universiteit Gent (UGent, Vakgroep Plantaardige Productie)*.

Avis au lecteur

Bien que les recommandations formulées dans le présent compte rendu de recherche aient été établies avec le plus grand soin, des imperfections ne sont pas à exclure. Ni le CRR, ni ceux qui ont collaboré à la présente publication ne peuvent être tenus pour responsables des informations fournies, qui le sont à titre purement documentaire et non contractuel.

Exigences performantielles des matériaux de jointoiement pour revêtements modulaires / Centre de recherches routières. – Bruxelles : CRR, 2018. – 60 pp. – (Compte rendu de recherche, ISSN 1376-9359 ; 45).

Dépôt légal: D/2018/0690/3

© CRR – Tous droits réservés

Table des matières

Avant-propos	7
1 Introduction	9
1.1 Contexte	9
1.2 But de l'étude	10
2 Exigences existantes et classification en familles de produits	11
3 Propriétés physico-mécaniques et de durabilité des mortiers de jointoiment liés	15
3.1 Résistance mécanique et masse volumique	15
3.2 Retrait	18
3.3 Absorption d'eau	19
3.4 Résistance au gel-dégel en présence de sels de déverglaçage	21
3.5 Résistance à l'abrasion	23
3.6 Dilatation thermique	24
3.7 Période d'ouvrabilité	24
3.8 Autres propriétés et matériaux plus récents	26
4 Capacité à prévenir/ralentir la pousse des mauvaises herbes	29
5 Propriétés fonctionnelles	33
5.1 Adhérence	33
5.2 Applicabilité de matériaux de jointoiment	36
5.3 Sensibilité à l'érosion des mortiers de jointoiment	38
5.4 Perméabilité des matériaux de jointoiment liés	40
6 Validation des résultats de laboratoire sur le terrain	43
7 Implications et recommandations pour la pratique	49
B Bibliographie	55
N Normes – Directives techniques	59
Liste des figures	4
Liste des tableaux	6

Liste des figures

Figure 1	Le matériau de jointolement est un élément essentiel du pavage, en raison du principe de transfert de charge entre les pavés via des joints totalement remplis	9
Figure 2	Classification des matériaux de jointolement en familles de produits	11
Figure 3	Exemples de matériaux de jointolement (plus) innovants (de gauche à droite: mortier de jointolement lié à l'époxy, sable polymère et <i>joint sealer</i>)	13
Figure 4	Influence de la teneur en eau sur la résistance mécanique d'un mortier de jointolement lié au ciment	16
Figure 5	Propriétés mécaniques des différents mortiers de jointolement époxy liés à la résine après sept jours de durcissement à 20 °C et 60 % HR	16
Figure 6	Influence des conditions de durcissement sur les propriétés mécaniques d'un mortier de jointolement lié au ciment (en haut) et d'un mortier de jointolement lié à la résine (avec époxy) (en bas)	17
Figure 7	Aperçu des mesures de retrait pour les mortiers liés au ciment et à la résine et de la méthode d'essai correspondante	18
Figure 8	Essai d'absorption d'eau sur les mortiers de jointolement liés au ciment selon la NBN EN 12808-5	19
Figure 9	Résultats pour l'absorption d'eau de mortiers de jointolement liés au ciment (mortier standard = mortier de ciment confectionné selon la norme NBN EN 196-1)	20
Figure 10	Essai de résistance au gel-dégel en présence de sels de déverglaçage pour les mortiers de jointolement liés au ciment	21
Figure 11	Résultats pour l'écaillage sur la surface exposée après l'essai gel-dégel pour les mortiers liés au ciment	22
Figure 12	Lien entre l'absorption d'eau après vingt-huit jours et la perte cumulée de masse après vingt-huit jours de cycles de gel-dégel et surface exposée aux sels de déverglaçage pour les mortiers liés au ciment en cas de conservation à 60 % HR	22
Figure 13	Principe de l'essai Capon pour déterminer la résistance à l'abrasion des mortiers de jointolement selon la NBN EN 12808-2	23
Figure 14	Coefficient de dilatation thermique moyen [en $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$] entre -20 °C et +40 °C pour différents mortiers de jointolement liés au ciment et à la résine, déterminé selon la NBN EN 1770	25
Figure 15	Résultats des essais de détermination de la période d'ouvrabilité pour les mortiers de jointolement selon la NBN EN 13294 et la NBN EN 1015-9 (mortier standard = mortier de ciment confectionné selon la NBN EN 196-1)	25
Figure 16	Vieillessement UV de mortiers de jointolement liés à la résine dans une chambre climatique (à gauche) et comparaison entre des éprouvettes exposées aux UV ou non (à droite)	27
Figure 17	Evolution dans le temps de la résistance mécanique et de la masse volumique d'un mortier de jointolement monocomposant et influence des conditions de durcissement sur cette évolution	27
Figure 18	Dispositif d'essai en pots (à gauche) et mini-pavages (à droite) à l' <i>UGent</i> pour la détermination de la capacité des matériaux de jointolement à prévenir la pousse des mauvaises herbes	29
Figure 19	Couverture des mauvaises herbes (% de la surface revêtue) sur des mini-pavages jointoyés avec quinze matériaux de jointolement pollués par des matières organiques (20 %vol de terreau) (essai sur mini-pavages). Le trait à 2 % illustre le seuil de mauvaises herbes généralement accepté en Belgique	31
Figure 20	Essais d'adhérence directe entre les pavés et le mortier de jointolement selon la NBN EN 1542	33
Figure 21	Influence du type de pavé (béton, terre cuite, pierre naturelle) et de la finition de surface (sablée, non sablée, clivée, sciée) sur l'adhérence directe avec du mortier A lié à la résine et du mortier B lié au ciment	34

Figure 22	Essais de résistance au cisaillement entre le pavé et le mortier de jointoiment, basée sur le <i>Slant shear test</i> selon la NBN EN 12615	35
Figure 23	Résultats pour la résistance au cisaillement entre un pavé de béton humidifié au préalable ou non et les différents mortiers de jointoiment	35
Figure 24	Bacs d'essai et plaque vibrante utilisés pour l'étude de l'applicabilité de matériaux de jointoiment	36
Figure 25	Résultats pour l'applicabilité des sables de jointoiment dans un joint fin (1-2 mm), exprimés en remplissage volumétrique (l/m ²) du joint	37
Figure 26	Résultats pour l'applicabilité des mortiers de jointoiment, exprimés en profondeur de joint remplie (épaisseur de pavé = 80 mm)	37
Figure 27	Essais de sensibilité à l'érosion des mortiers de jointoiment (brosse de désherbage en acier et profilomètre laser pour déterminer les profils de joint avant et après brossage)	38
Figure 28	Résultats des essais de sensibilité à l'érosion des mortiers de jointoiment après traitement mathématique des profils de joint (voir exemples ci-dessus pour l'époxy D): différence en profondeur de joint maximale avant et après brossage	39
Figure 29	Essai de perméabilité du béton maigre drainant, appliqué au mortier de jointoiment époxy	40
Figure 30	Résumé de tous les résultats d'essais de perméabilité pour mortiers de jointoiment liés à la résine (résultats moyens sur trois carottes et après au moins 2 h d'écoulement) en fonction des conditions de conservation: sec (> 14 j à 60 % HR), humide (24 h sous eau), saturé (28 j sous eau), à nouveau sec (> 7 j en conditions de laboratoire)	41
Figure 31	Comparaison de la résistance à la compression et à la flexion pour des éprouvettes confectionnées sur chantier avec le mortier de jointoiment lié au ciment A	43
Figure 32	Comparaison des résultats des essais de résistance au gel-dégel en présence de sels de déverglaçage sur des éprouvettes confectionnées sur chantier à ceux des essais en laboratoire: mortiers de jointoiment d'un camion-malaxeur	44
Figure 33	Comparaison des mesures de retrait sur des éprouvettes confectionnées sur chantier avec le mortier de ciment C	44
Figure 34	Résumé des résultats pour la résistance à la compression et à la flexion pour des éprouvettes confectionnées sur chantier et conservées dans des conditions extérieures	45
Figure 35	Résumé des résultats pour l'adhérence entre un pavé humide et du mortier de jointoiment pour des éprouvettes confectionnées sur chantier et conservées dans des conditions extérieures	46
Figure 36	Résultats des essais de perméabilité sur les éprouvettes de mortier de jointoiment époxy C confectionnées sur chantier et conservées à l'intérieur (60 % HR) ou à l'extérieur	47
Figure 37	Exemple de résumé des résultats d'essai pour les propriétés mécaniques et fonctionnelles de mortiers de jointoiment liés au ciment et à la résine et comparaison aux exigences existantes (mortier standard = mortier de ciment confectionné selon la NBN EN 196-1)	51

Liste des tableaux

Tableau 1	Récapitulatif des normes et des exigences existantes pour les mortiers de jointoiement liés dans différents pays	12
Tableau 2	Résultats des essais de résistance à l'abrasion pour les mortiers de jointoiement	24
Tableau 3	Calcul de la <i>workable life</i> et du <i>stiffening time</i> des mortiers de jointoiement sur base du graphique de la figure 15 (p. 25)	26
Tableau 4	Système de classification de la capacité des matériaux de jointoiement à prévenir la pousse des mauvaises herbes	30
Tableau 5	Comparaison des mesures de perméabilité en laboratoire aux résultats de l'essai double anneau in situ sur des sections expérimentales en pavages drainants	47
Tableau 6	Matrice avec les propriétés à tester en fonction du matériau de jointoiement et du champ d'application correspondant	49
Tableau 7	Définition des différentes catégories de trafic pour pavages dans le code de bonne pratique R 80/09 [1]	50
Tableau 8	Méthodes d'essai pour les propriétés mécaniques et fonctionnelles des mortiers de jointoiement liés en laboratoire	52
Tableau 9	Recommandations pour les exigences aux mortiers de jointoiement liés en fonction de la charge de trafic escomptée selon le tableau 7 (p. 50)	53

Avant-propos

Ce compte rendu de recherche est rédigé dans le cadre du projet de recherche prénormatif *PREVOSTRAT* (en entier «*Prestatie-eisen voor innovatieve voegvullingsmaterialen in bestratingen met kleinschalige elementen*»), qui a été réalisé du 1^{er} septembre 2014 au 31 août 2016 inclus, avec le soutien du SPF Economie et le Bureau de Normalisation (NBN) et en collaboration avec l'*Universiteit Gent (Vakgroep Plantaardige Productie)*.

L'étude avait pour but d'établir des méthodes d'essai et des exigences performantielles pour les matériaux de jointoiement innovants, liés ou non, destinés aux revêtements modulaires (en béton, terre cuite, pierre naturelle).

Cette publication présente les résultats et conclusions principaux de l'étude et propose des directives et recommandations pour des exigences pour ces matériaux de jointoiement dans les normes européennes et/ou les cahiers des charges types belges.





Chapitre 1

Introduction

1.1 Contexte

Dans un revêtement modulaire (en béton, terre cuite, pierre naturelle), le jointolement constitue un élément essentiel de la structure, qui n'est toutefois pas toujours estimé à sa juste valeur [1]. Pour que le pavage remplisse effectivement le rôle de revêtement, les joints entre les pavés doivent toujours être remplis avec le matériau adéquat. Le matériau de jointolement et la durabilité du joint dans son ensemble sont aussi d'une grande importance pour la stabilité du pavage à long terme. Dans ce cadre, on distingue les matériaux classiques, non liés, tels que le sable et les gravillons fins, et les mortiers de jointolement liés.

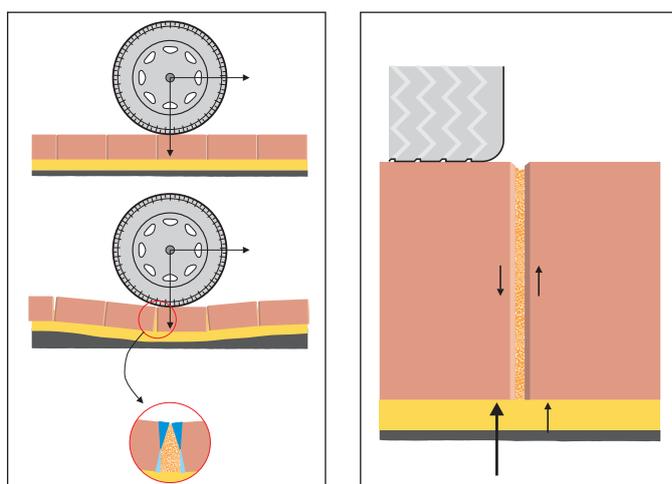


Figure 1 – Le matériau de jointolement est un élément essentiel du pavage, en raison du principe de transfert de charge entre les pavés via des joints totalement remplis

Pour les matériaux liés, une distinction est opérée, selon la NBN EN 13888 «Mortiers de jointolement pour carreaux et dalles céramiques», entre les matériaux de jointolement liés au ciment (*cementitious grouts*) et les mortiers plus innovants avec des résines réactives (*reaction resin grouts*), qui sont liées aux polymères. Les exigences de durabilité reprises dans cette norme diffèrent toutefois fortement pour les deux types de jointolement (liés au ciment ou au polymère); en outre, elles ne s'appliquent qu'aux dalles céramiques. Ces éléments modulaires d'épaisseur limitée sont généralement destinés uniquement à des applications intérieures ou extérieures avec une charge de trafic limitée (terrasses, sentiers de jardin, etc.).

Pour les revêtements modulaires en pavés et dalles de béton (NBN EN 1338 et 1339), en pavés de terre cuite (NBN EN 1344) ou en pavés en pierre naturelle (NBN EN 1341 et 1342), il n'existe actuellement pas de prescriptions européennes uniformes relatives aux matériaux de jointolement.

De plus, pour les nombreux matériaux de jointolement innovants récents tels que les sables polymères et stabilisés aux dispersions, il n'est pas toujours évident de savoir à quelles catégories susmentionnées ils appartiennent et à quelles exigences ils doivent répondre. Beaucoup de ces nouveaux matériaux ont d'ailleurs été spécifiquement développés pour prévenir la pousse des mauvaises herbes sur les pavages. Une étude CRR [2] a démontré que dans le contexte actuel d'interdiction d'utilisation des herbicides

dans les espaces publics, la gestion préventive des mauvaises herbes sur les revêtements modulaires constitue un point d'attention particulier. Le choix du matériau de jointoiement y joue un rôle important. Actuellement, il n'existe toutefois pas de méthode standardisée pour évaluer la capacité des matériaux de jointoiement à prévenir la pousse des mauvaises herbes.

Enfin, la perméabilité du matériau de jointoiement est un aspect important si l'on vise par exemple une application en pavages drainants [3]. Dans le cas de l'application de pavés qui (par des joints élargis ou des ouvertures de drainage) laissent passer l'eau, le matériau de jointoiement doit présenter une perméabilité minimale [4]. S'il existe des méthodes d'essai pour mesurer la perméabilité des matériaux non liés (sable et gravillons fins), tel n'est pas le cas pour les matériaux de jointoiement liés (durcis), étant donné que les mortiers classiques liés (au ciment ou à la chaux) sont par définition imperméables. Toutefois, les nouveaux matériaux possèdent une certaine perméabilité.

1.2 But de l'étude

Dans ce contexte, le CRR a mené pendant deux ans, avec le soutien du SPF Economie et du NBN et en collaboration avec l'*Universiteit Gent (UGent, Vakgroep Plantaardige Productie)*, une étude ayant pour but principal d'établir des méthodes d'essai et des exigences performantielles pour les matériaux de jointoiement innovants, liés ou non, destinés aux revêtements modulaires (en béton, terre cuite, pierre naturelle). Cela impliquait qu'il fallait étendre:

- les exigences pour matériaux de jointoiement à d'autres types de revêtements (en pavés de béton, terre cuite, et pierre naturelle sous la forme de grands pavés, de pavés sciés ou de pavés mosaïques) sous l'effet du trafic;
- les exigences pour matériaux de jointoiement à de nouveaux types de matériaux de jointoiement;
- les méthodes d'essai pour déterminer la capacité à prévenir la pousse des mauvaises herbes [2];
- les méthodes d'essai en matière de perméabilité [3].

Pour les exigences performantielles, on distingue trois aspects importants:

- les propriétés physico-mécaniques et les essais de durabilité (pour les mortiers liés);
- la capacité des matériaux de jointoiement à prévenir ou à ralentir la pousse des mauvaises herbes (matériaux non liés et liés);
- les propriétés fonctionnelles telles que la perméabilité des matériaux liés, l'adhérence entre les pavés et le mortier de jointoiement, ainsi que l'applicabilité et la sensibilité à l'érosion des matériaux de jointoiement.

Ce compte rendu dresse un inventaire actualisé des essais possibles pour la caractérisation des matériaux de jointoiement. Il donne en outre un aperçu des résultats qui ont été obtenus durant la recherche pour les matériaux disponibles sur le marché belge et tente de donner une première amorce d'exigences performantielles pour les aspects précités.

Chapitre 2

Exigences existantes et classification en familles de produits

Une étude bibliographique étendue et une analyse des normes existantes ont été effectuées, pour obtenir un bon récapitulatif des méthodes d'essai et des exigences existantes pour les matériaux de jointoiment destinés aux revêtements modulaires [5]. Le tableau 1 (p. 12) donne un aperçu des normes et exigences principales dans différents pays européens. Il s'agit d'essais mécaniques courants pour mortiers de jointoiment liés en vue de déterminer la résistance à la flexion et à la compression, la masse volumique, le retrait, l'absorption d'eau, la résistance au gel-dégel, etc., qui ont également été étudiés au CRR. Ces essais sont beaucoup pratiqués au Royaume Uni et en Allemagne.

Sur base de la bibliographie et de contacts avec divers fournisseurs, un aperçu des matériaux de jointoiment disponibles sur le marché belge a été établi, avec une classification en différentes familles de produits, comme illustré à la figure 2.

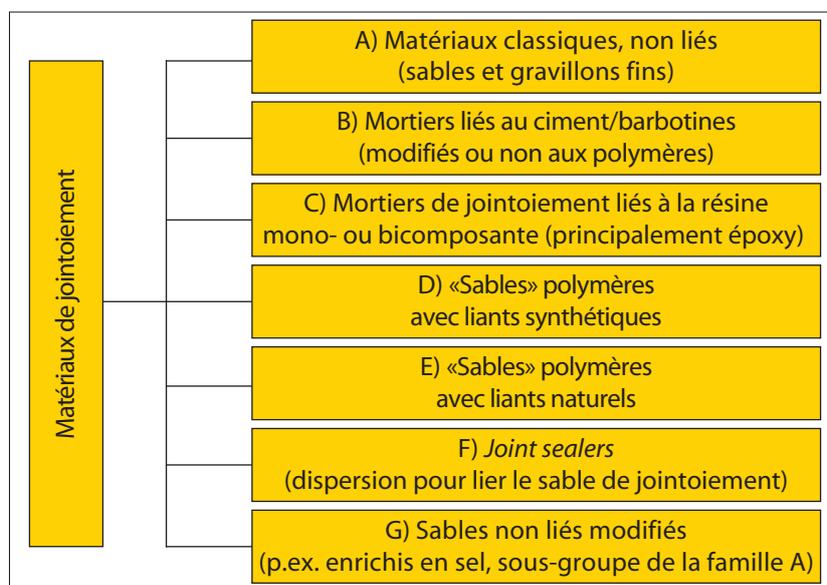


Figure 2 – Classification des matériaux de jointoiment en familles de produits

Les deux premières familles de matériaux sont assez bien connus:

- par *matériaux classiques non liés* (famille de produits A), on entend les matériaux de jointoiment tels que les sables naturels ou artificiels, les mélanges de granulats (sable de mer, sable quartzéux, calcaire concassé ou grès de calibre 0/1 ou 0/2; 0/4 ou 0/6,3) et les gravillons fins (par exemple porphyre, gravillons calcaires de calibre 2/4-6,3). Le calibre maximal est de 1 mm pour des joints étroits (< 2 mm) ou de 0,8 fois la largeur de joint avec un maximum de 8 mm pour des joints larges. On utilise de préférence des granulats anguleux pour obtenir une meilleure cohésion;
- les *matériaux classiques liés* (famille de produits B) sont des mortiers de jointoiment liés au ciment et des mortiers modifiés – avec polymères ajoutés et/ou autres additifs pour obtenir des propriétés améliorées telles qu'une meilleure adhérence ou une meilleure ouvrabilité – qui permettent d'obtenir un joint étanche à l'air et à l'eau. Des points d'attention importants pour ces matériaux sont la fissuration par retrait et la résistance au gel-dégel, en présence ou non de sels de déverglçage.

Tableau 1 – Récapitulatif des normes et des exigences existantes pour les mortiers de jointoiement liés dans différents pays

* En fonction de la charge de trafic

[...] Pour les mortiers liés à la résine

Paramètre	EN 13888	BS 7533-7 & 10	FGSV 618/2	WTA MB 5-21	ZTV Wegebau FLL	RVS 08.18.01	NF P98-335	SB 250 (version 3.1a), Chap. 3-74
Résistance à la compression [MPa]	≥ 15 [45]	≥ 25* ≥ 40*	≥ 45 (moy.) ≥ 40 (individ.)	≥ 40 [35 - 55] ≥ 30 chantier	≥ 10 - 30* [5 - 25]*	≥ 30	-	≥ 40
Résistance à la flexion [MPa]	≥ 2,5 [30]	≥ 3,5* ≥ 6,0*	-	≥ 6,0	-	≥ 6,0	> 3,5 (24 h) > 7 (7 d)	≥ 6,0
Adhérence [MPa]	-	≥ 1,0* ≥ 1,5*	≥ 1,5 (moy.) ≥ 11,2 (individ.) ≥ 0,8 chantier	≥ 1,5 ≥ 0,8 chantier	≥ 0,4 - 1,0* [0,2 - 1,0]* ≥ 0,4-0,5* chant.	≥ 1,0	> 2	≥ 1,5
E-module [kN/mm ²]	-	≥ 18* ≥ 20*	-	20 - 26	-	-	-	20 ± 4
Masse volumique [kg/m ³]	-	≥ 2 000	-	-	-	-	-	-
Retrait [mm/m]	≤ 3 [1,5]	≤ 1	-	≤ 1	-	-	< Réf/1,5	≤ 1,5
Absorption d'eau [g] Après 30 min Après 240 min	≤ 2 ≤ 5 [0,1]	-	-	-	[k ≥ 10 ⁻⁵ m/s pour époxy]	-	-	-
Usure (Capon) [perte mm ³]	≤ 1 000 [250]	-	-	-	-	-	-	-
Résistance gel-dégel en présence de sels de déverglaçage [g/cm ²]	-	résistant	CDF: ≤ 500	CDF: ≤ 1 000 ≤ 1 500 (individ.)	CDF: ≤ 800	résistant	NF P18-424	-
Champ d'application	Carreaux et dalles céramiques	Pavage en pierre naturelle et en béton	Revêtements liés en pavages et en carrelages	Revêtement en pavage	Revêtement en pavage, sans trafic routier	Revêtement en pavage et en carrelage	Revêtement en pavage et en carrelage	Mortier de jointoiement à séchage rapide

En outre, il existe des matériaux de jointoiment innovants, liés ou non, qui ont été développés spécialement pour prévenir la pousse des mauvaises herbes et l'érosion du matériau de jointoiment. Ces dernières années, de nombreux matériaux différents ont été mis sur le marché.

Les *mortiers de jointoiment liés à la résine* (famille de produits C) se composent d'un mélange de sable quartzueux, d'une résine synthétique et éventuellement d'additifs organiques et inorganiques. Le squelette sableux est lié avec une résine mono- ou bicomposante (principalement époxy) qui durcit complètement par réaction chimique (synthétique thermodurcissable). La courbe granulométrique du sable ainsi que le type et le dosage du liant sont adaptés à la classe de trafic attendue. Il existe des mortiers de jointoiment prêts à l'emploi (1K) qui peuvent être utilisés tels quels (généralement à base de polybutadiène), des systèmes pour lesquels un premier composant est prémélangé à du sable et un second doit être ajouté sur chantier, ou encore des mortiers de jointoiment pour lesquels les deux composants doivent être mélangés au sable. Généralement, de l'eau est ajoutée au mélange au dernier moment pour améliorer la fluidité et l'ouvrabilité. Ces mortiers liés aux polymères sont toujours appliqués à l'état plus ou moins «humide» et présentent, contrairement aux mortiers de jointoiment liés au ciment, une certaine perméabilité, qui varie selon le produit choisi et la teneur en résine ajoutée.

Les *sables polymères* sont des sables de jointoiment «secs» prémélangés avec des liants polymères (ni époxy, ni résineux), qui sont introduits à sec à l'aide d'une brosse dans les joints (comme le sable de jointoiment classique) avant que les pavés soient stabilisés à la plaque vibrante. Ils sont ensuite humidifiés ou brumisés à l'eau jusqu'à saturation des joints, après quoi ils peuvent durcir totalement. Le liant peut être d'origine *synthétique* (matières synthétiques ajoutées, famille de produits D) ou *naturelle* (par exemple, colles végétales, organiques = liant biologique, famille de produits E). En fonction de la nature et du dosage de ce liant, le jointoiment peut être plus ou moins élastique à l'état durci, voire réagir plastiquement dans des conditions humides. Certains matériaux avec des liants biologiques seraient réactivés au contact de l'eau (p.ex. averses), ce qui permettrait de réparer de petites fissures dans la masse de scellement [6].

Une autre famille est constituée par les *joint sealers* (famille de produits F) ou «rejointoyeurs». Pour ce type de produits, un joint de sable ordinaire est étanchéifié au moyen d'une dispersion aqueuse avec un liant polymère synthétique qui, après vibration des pavés, est pulvérisée ou étalée sur la surface pour mieux lier le sable dans les joints et ainsi prévenir l'érosion du matériau de jointoiment et la pousse des mauvaises herbes. La perméabilité du joint de sable diminue dès lors fortement. Cette technique est souvent appliquée au Royaume-Uni, mais n'est pas encore très répandue en Belgique.

Enfin, il existe aussi des *sables de jointoiment (non liés) modifiés* spéciaux (famille de produits G), qui sont par exemple enrichis en sels ou avec d'autres substances, de sorte à prévenir la pousse des mauvaises herbes dans le joint. Il s'agit en fait d'un sous-groupe de la famille de produits A.



Figure 3 – Exemples de matériaux de jointoiment (plus) innovants (de gauche à droite: mortier de jointoiment lié à l'époxy, sable polymère et joint sealer)

Chapitre 3

Propriétés physico-mécaniques et de durabilité des mortiers de jointoiment liés

Dans la première phase de l'étude, des essais ont été réalisés pour déterminer les propriétés mécaniques d'une sélection de mortiers de jointoiment liés au ciment (famille de produits B) et à la résine (époxy) (famille de produits C). Pour ce faire, les méthodes d'essai existantes sont applicables telles quelles et les résultats peuvent être confrontés aux exigences des différents pays européens (tableau 1, p. 12).

Comme point de départ, on a pris les méthodes d'essai et les exigences correspondantes dans la NBN EN 13888 «Mortiers de jointoiment pour carreaux et dalles céramiques». Les propriétés suivantes ont été testées:

- la résistance à la compression (NBN EN 12808-3);
- la résistance à la flexion (NBN EN 12808-3);
- la masse volumique sèche et apparente (NBN EN 12390-7);
- le retrait (NBN EN 12808-4);
- l'absorption d'eau (NBN EN 12808-5);
- la résistance à l'abrasion – essai Capon (NBN EN 12808-2);
- la période d'ouvrabilité (NBN EN 13294 et NBN EN 1015-9);
- la dilatation thermique (NBN EN 1770);
- la résistance au gel-dégel avec sels de déverglaçage (CEN/TS 12390-9 + NBN EN 1338, Annexe D);
- le module d'élasticité en compression (NBN EN 13412).

3.1 Résistance mécanique et masse volumique

Tout d'abord, l'influence de la composition (teneur en eau) et la capacité autocompactante du mortier ont été vérifiées pour les *mortiers de jointoiment liés au ciment*, tel qu'illustré à la figure 4 (p. 16). Sauf mention contraire, des conditions standard de 20 °C et 60 % d'humidité relative (HR) sont d'application.

Les résultats démontrent clairement que la teneur en eau est d'une importance cruciale pour l'obtention de la résistance souhaitée (figure 4, p. 16) et qu'il convient donc de bien contrôler ce paramètre lors de l'exécution. D'autre part, la vibration supplémentaire ou le compactage des mortiers n'ont que peu ou pas d'impact, car la plupart des mortiers de ciment (modifiés aux polymères) présentent un écoulement autocompactant. Pour la suite des essais, la teneur en eau optimale telle que recommandée par le fabricant du mortier a été appliquée. Bien entendu, il faut aussi vérifier dans la pratique si la teneur en eau recommandée par le fabricant est suffisante pour remplir complètement les joints. Dans le cadre de l'étude, un essai a dès lors été développé pour vérifier l'applicabilité pour une teneur en eau donnée (voir chapitre 5).

Il s'avère aussi que pour tous les mortiers liés au ciment testés, le développement de la résistance en conditions de laboratoire est tout à fait terminé après vingt-huit jours. A cet âge et dans ces conditions, les propriétés peuvent être considérées comme constantes. Les résultats démontrent aussi qu'après sept jours de durcissement, environ 90 % de la résistance finale est atteinte, ce qui est important pour l'ouverture du revêtement au trafic.

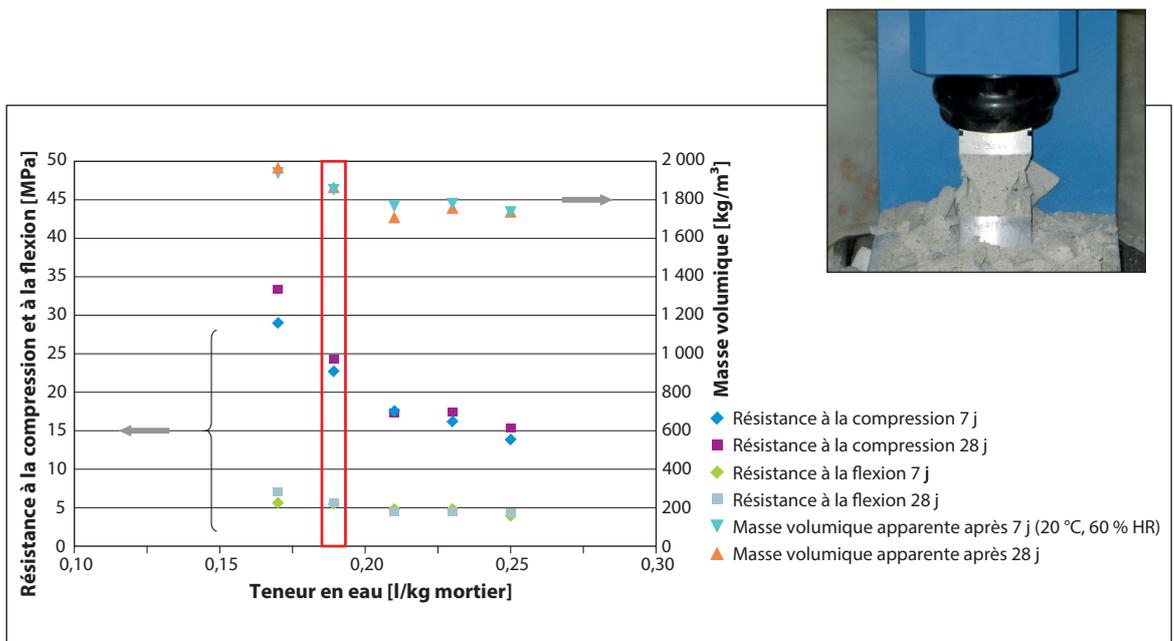


Figure 4 – Influence de la teneur en eau sur la résistance mécanique d'un mortier de jointoiment lié au ciment

Pour les *matériaux liés à la résine* (surtout époxy), la résistance à la compression et à la flexion se situent respectivement autour de 10 et 5 MPa, sauf pour un produit, qui a été conçu spécialement pour une charge de trafic supérieure (figure 5). En outre, pour ces matériaux liés aux polymères, le développement de la résistance est déjà terminé après quatorze jours en conditions de laboratoire.

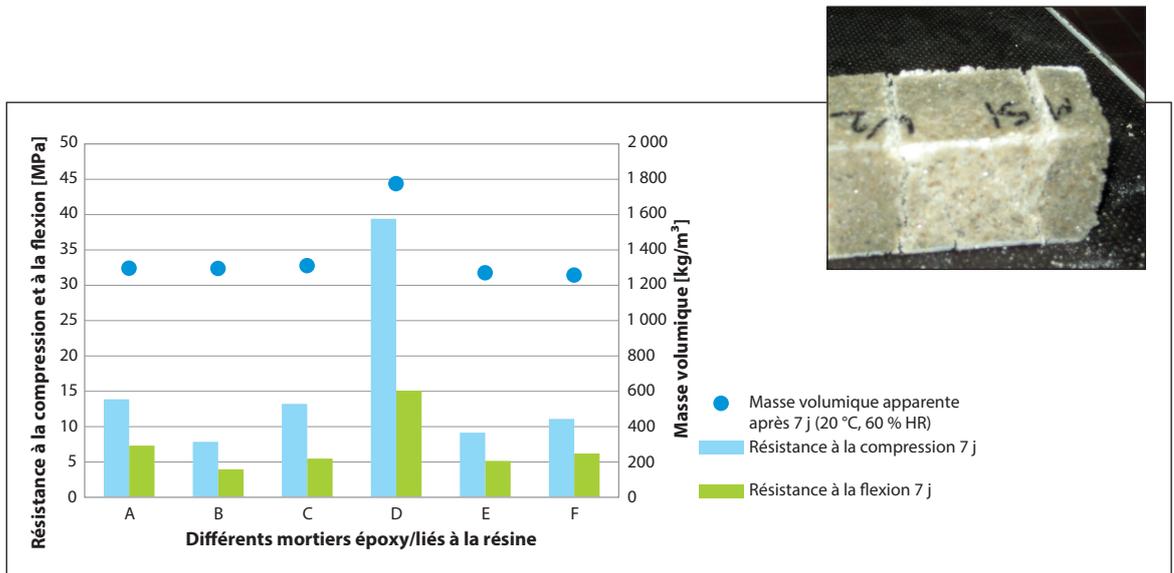


Figure 5 – Propriétés mécaniques des différents mortiers de jointoiment époxy liés à la résine après sept jours de durcissement à 20 °C et 60 % HR

Enfin, l'influence des conditions de durcissement a été étudiée pour les mortiers de jointoiment liés au ciment et pour ceux liés à l'époxy. Dans ce cadre, une comparaison a été faite entre, d'une part, des «conditions de laboratoire» (20 °C et 60 % HR) et, d'autre part, des «conditions humides» (20 °C et > 95 % HR), et ce dès la confection des éprouvettes (figure 6, p. 17).

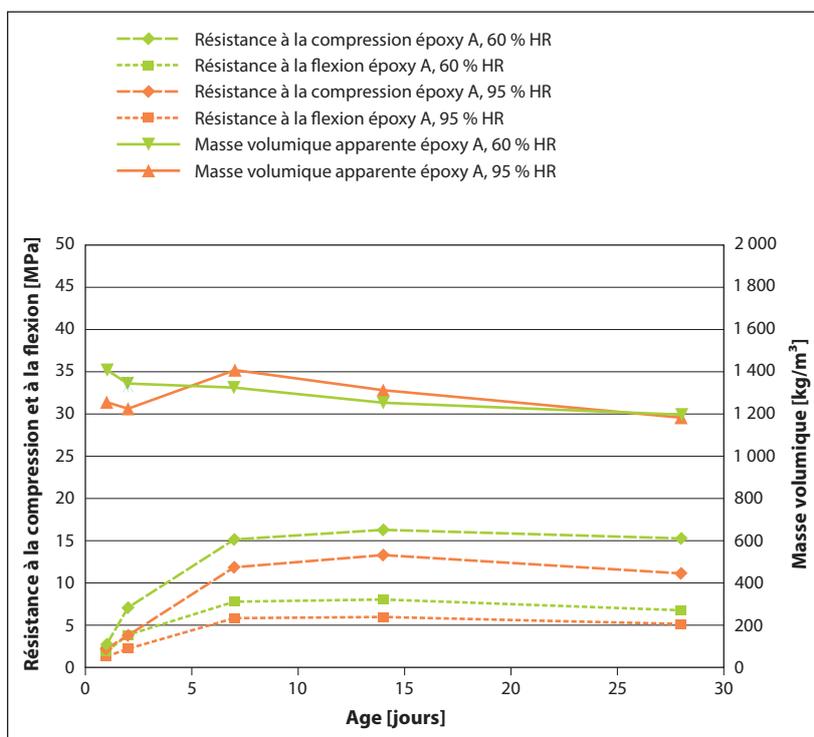
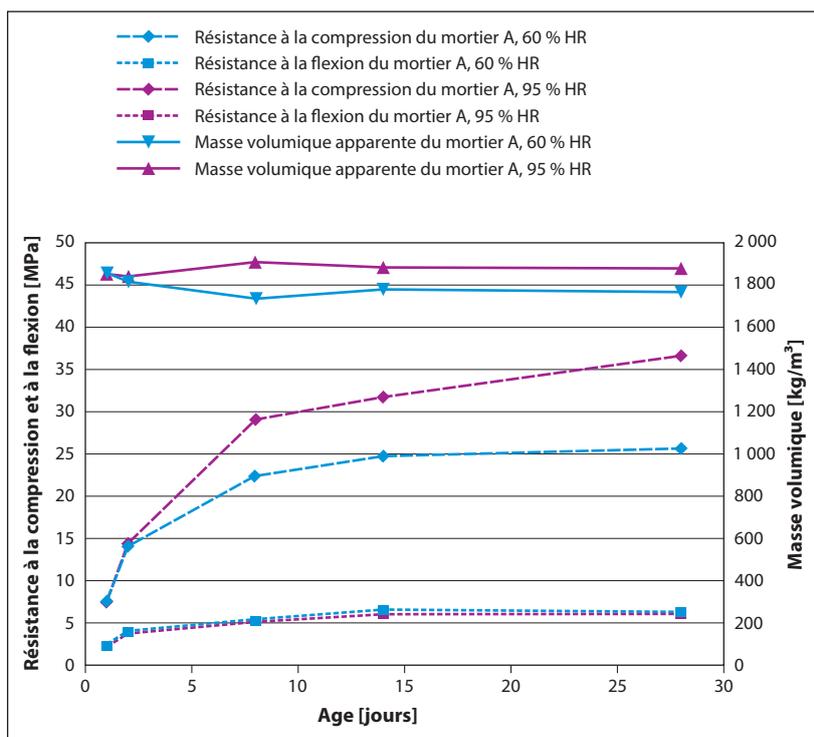


Figure 6 – Influence des conditions de durcissement sur les propriétés mécaniques d'un mortier de jointoiement lié au ciment (en haut) et d'un mortier de jointoiement lié à la résine (avec époxy) (en bas)

Pour les mortiers *liés au ciment* (figure 6, p. 17, en haut), on obtient logiquement une résistance à la compression et une masse volumique plus élevées dans des conditions humides. La réaction hydraulique est en effet renforcée et le ciment atteint un degré d'hydratation plus élevé. En outre, les propriétés mécaniques dans ces conditions ne sont pas encore constantes après vingt-huit jours. On observe donc une grande différence de résistance à la compression pour les différentes conditions de durcissement pour tous les mortiers liés au ciment testés. **En général, ce sont les conditions standard (20 °C et 60 % HR) qui approcheront le mieux la situation sur chantier.**

Pour les mortiers *liés à la résine* d'autre part, on constate un effet inverse: on obtient de meilleurs résultats dans des conditions «sèches» (p.ex. figure 6, p. 17, en bas). L'humidité plus élevée a une influence négative sur la réaction de durcissement (polymérisation), bien que la différence absolue en résistance (aussi bien à la compression qu'à la flexion) soit moins claire que pour les mortiers liés au ciment.

3.2 Retrait

Le retrait des différents mortiers de jointolement a été étudié en mesurant l'évolution de la longueur des éprouvettes prismatiques dans le temps. A cette fin, le retrait [mm/m] est exprimé par rapport à la longueur initiale un jour après la confection des éprouvettes. Pour cet essai, il n'est par conséquent pas tenu compte du retrait plastique qui survient au cours des premières 24 h.

En raison du retrait hydraulique pendant le premier jour, il se peut que des fissures apparaissent, surtout en cas de mise en œuvre à des températures élevées et par temps venteux. Dès lors, il est important de maintenir le matériau de jointolement suffisamment humide pendant les premières 24 h et de l'humidifier à nouveau, par exemple à la fin de la journée.

La figure 7 donne un aperçu des résultats et de la méthode d'essai correspondante. Il révèle une grande différence entre les matériaux liés au ciment et ceux liés à la résine. Ces derniers présentent en effet systématiquement un retrait supérieur par rapport aux mortiers liés au ciment, à l'exception du mortier de jointolement epoxy D.

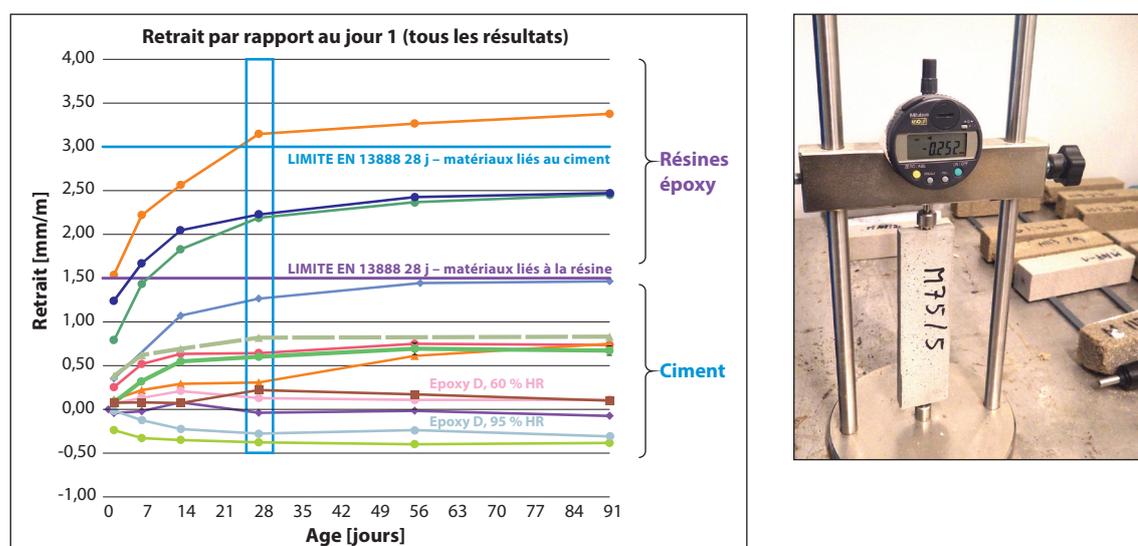


Figure 7 – Aperçu des mesures de retrait pour les mortiers liés au ciment et à la résine et de la méthode d'essai correspondante

Tous les **mortiers de ciment** testés satisfont dans les conditions standard à l'exigence la plus stricte après vingt-huit jours de la norme NBN EN 13888. Des conditions humides engendrent un retrait inférieur, voire dans certains cas, une dilatation (retrait « négatif » à la figure 7, p. 18) due à l'absorption d'humidité. La majeure partie du retrait survient généralement dans les vingt-huit premiers jours.

Pour les **mortiers liés à la résine (époxy)** testés, le retrait est supérieur à celui des matériaux liés au ciment (sauf pour les époxy D). De plus, les matériaux liés à la résine ne semblent pas atteindre l'exigence après vingt-huit jours de la NBN EN 13888. Ce retrait est probablement moins dommageable, étant donné que, grâce au comportement plus élastique de ces mortiers, le risque de fissuration est plus faible.

3.3 Absorption d'eau

L'absorption d'eau est testée selon la NBN EN 12808-5 sur des prismes de 4 x 4 x 8 cm après vingt-huit jours (figure 8). Elle est exprimée en quantité d'eau (en g) absorbée par la face inférieure de l'éprouvette après respectivement 30 et 240 min (absorption capillaire).

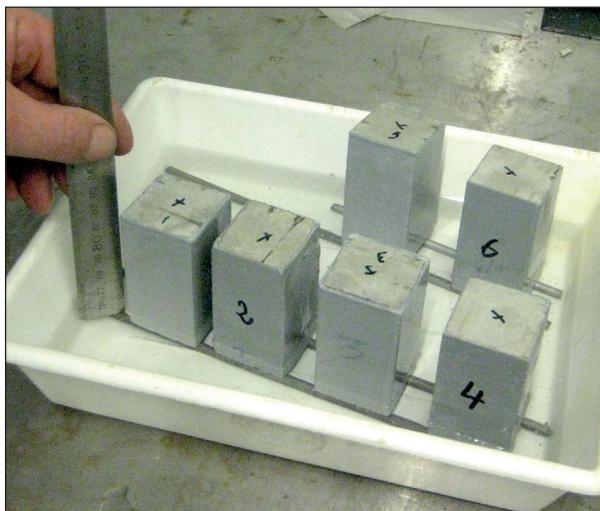


Figure 8 – Essai d'absorption d'eau sur les mortiers de jointoiment liés au ciment selon la NBN EN 12808-5

La figure 9 (p. 20) donne un aperçu de tous les résultats pour les mortiers de ciment. De plus, les valeurs obtenues sont confrontées aux limites fixées pour l'absorption d'eau réduite dans la NBN EN 13888 (2 g après 30 min et 5 g après 240 min, classe "CG 2W"). Deux des trois mortiers de ciment testés satisfont à ces limites les plus strictes de la NBN EN 13888 en cas de durcissement dans des conditions standard. Pour des conditions optimales, humides (> 95 % HR), l'absorption d'eau de tous les mortiers de ciment reste très basse, du fait qu'un mortier de jointoiment plus compact et moins poreux est obtenu. Ceci souligne une fois de plus l'importance d'humidifier le revêtement et/ou de le protéger contre la dessiccation, surtout par temps chaud.

A titre de comparaison, la figure 9 (p. 20) donne les résultats obtenus avec quelques éprouvettes confectionnées sur chantier (voir chapitre 6). Les résultats sont systématiquement plus élevés qu'en laboratoire (sauf pour le mortier C préemballé) parce que, dans la pratique, on ajoute davantage d'eau pour augmenter l'ouvrabilité sur chantier. L'ajout d'eau n'est donc pas seulement néfaste pour la résistance à la compression, mais aussi pour l'absorption d'eau et la résistance au gel-dégel. Dans l'ensemble, toutes les valeurs sont encore sous les limites les moins strictes de la NBN EN 13888 (5 g après 30 min et 10 g après 240 min, classe "CG 1"), sauf l'absorption d'eau des éprouvettes pour les éprouvettes des chantiers 5 et 6. Pour ces mortiers acheminés dans un camion-malaxeur, l'absorption d'eau plus élevée est peut-être due à un ajout d'eau sur chantier pour augmenter l'ouvrabilité.

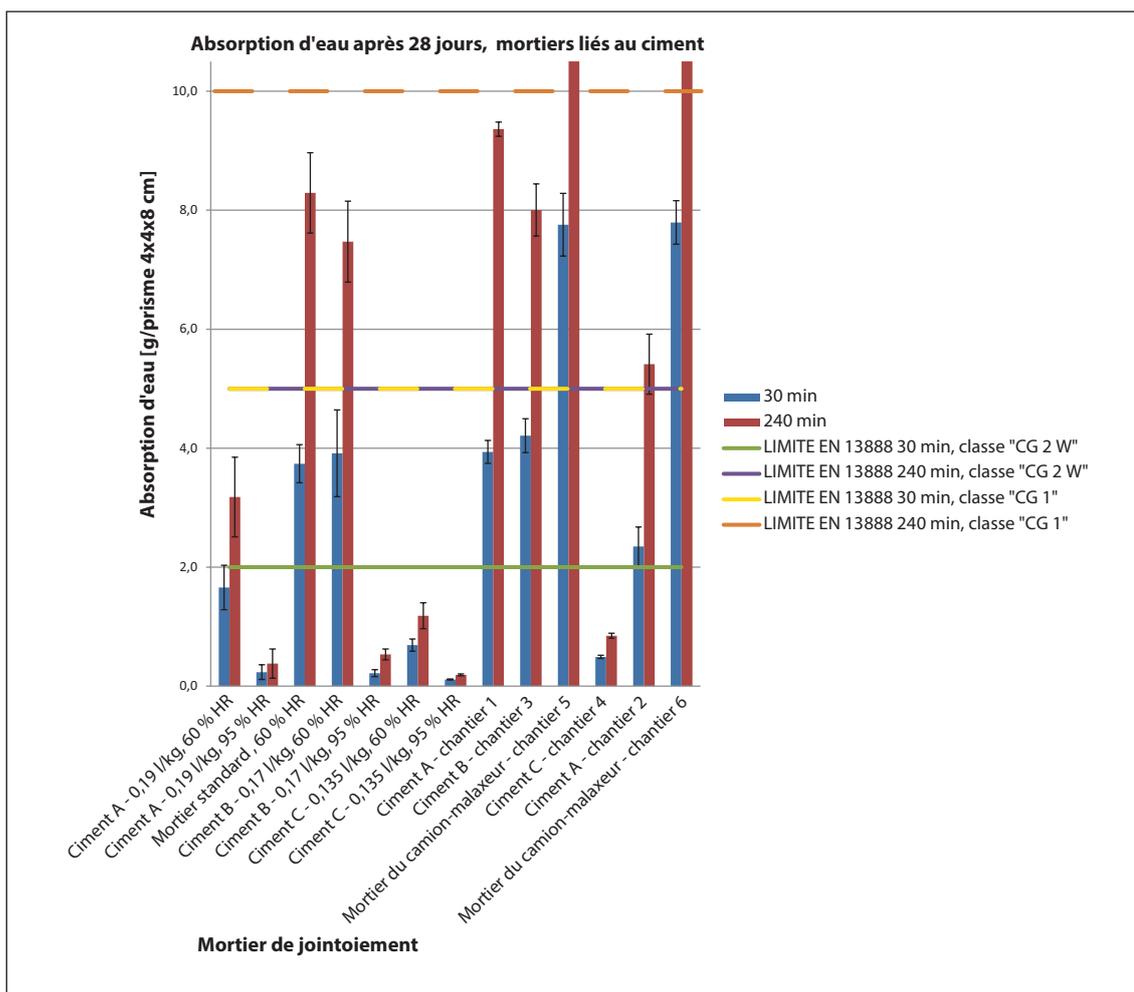


Figure 9 – Résultats pour l'absorption d'eau de mortiers de jointoiment liés au ciment (mortier standard = mortier de ciment confectionné selon la norme NBN EN 196-1)

Les mortiers de jointoiment **liés à la résine** présentent des valeurs d'absorption d'eau très élevées (jusqu'à 30 g après 240 min), ce qui est logique vu l'absorption capillaire dans ces matériaux assez poreux. De plus, ils sont souvent aussi quelque peu perméables, contrairement aux matériaux liés au ciment. **La méthode d'essai appliquée n'est donc pas adaptée aux mortiers de jointoiment liés à la résine (époxy) destinés aux pavages** et n'est pas une bonne mesure de la résistance au gel-dégel de ces matériaux. Tester l'absorption d'eau n'est dès lors pas nécessaire.

3.4 Résistance au gel-dégel en présence de sels de déverglçage

Pour vérifier la résistance à l'écaillage en cas de cycles de gel-dégel en présence de sels de déverglçage, un essai adapté a été réalisé, basé sur la méthode utilisée pour le béton [7] (selon la CEN/TS 12390-9) et les pavés de béton (selon la NBN EN 1338) (figure 10).

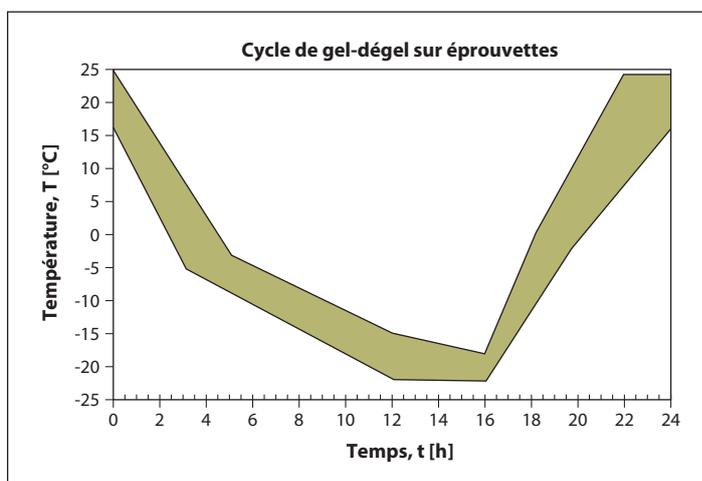


Figure 10 – Essai de résistance au gel-dégel en présence de sels de déverglçage pour les mortiers de jointoiment liés au ciment

Sur la face d'éprouvettes cylindriques d'un diamètre limité, on applique une fine couche (environ 3 mm) d'eau avec 3 % de sels de déverglçage. Les éprouvettes sont ensuite soumises pendant cinquante-six jours à des cycles de gel-dégel prescrits. Le matériau qui s'écaille suite à l'essai est récolté régulièrement. La quantité totale de matériau écaillé donne une idée de la résistance au gel-dégel du mortier testé.

Les résultats (figure 11, p. 22) démontrent une nette différence entre les éprouvettes avec une bonne ou une mauvaise résistance à l'écaillage en présence de sels de déverglçage (mortier C > mortier A > mortier B). Pour le mortier B, la moins bonne résistance au gel-dégel de la surface peut être liée au durcissement très rapide (voir infra et figure 15, p. 25), ce qui résulte probablement en une structure de surface plus poreuse.

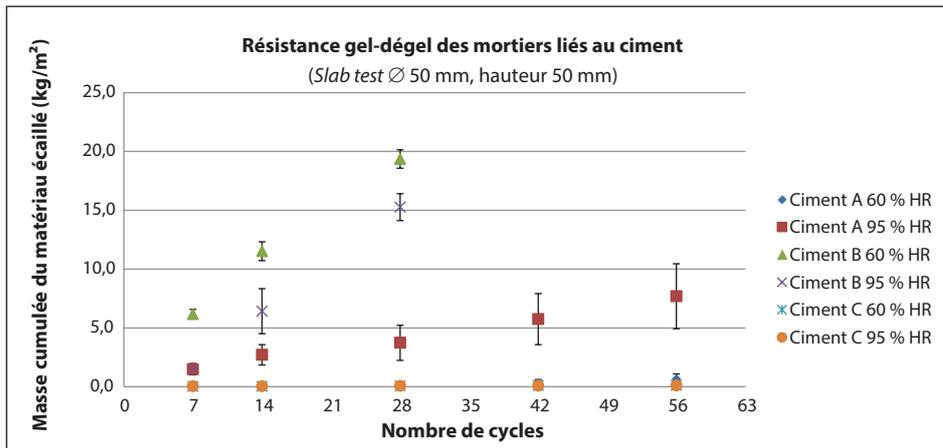


Figure 11 – Résultats pour l'écaillage sur la surface exposée après l'essai gel-dégel pour les mortiers liés au ciment

En outre, ces résultats pour la résistance à l'écaillage (p.ex. perte de masse cumulée après vingt-huit cycles) peuvent aussi être mis en relation avec l'absorption d'eau des mortiers de jointoiment liés au ciment. Ceci est par exemple illustré à la figure 12 pour tous les résultats (y compris celui du chantier) obtenus à une conservation sous 60 % HR et une détermination de l'écaillage sur la surface exposée. Pour tous les mortiers testés, il s'avère que si l'absorption reste dans les limites pour l'absorption d'eau réduite de la NBN EN 13888 (2-5 g), l'écaillage reste inférieur à la valeur maximale admise de la NBN EN 1338 (1,5 kg/m²).

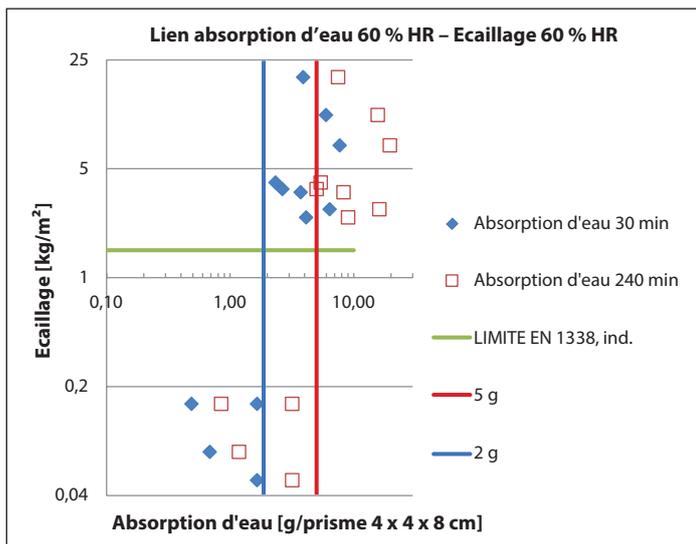


Figure 12 – Lien entre l'absorption d'eau après vingt-huit jours et la perte cumulée de masse après vingt-huit jours de cycles de gel-dégel et surface exposée aux sels de déverglaçage pour les mortiers liés au ciment en cas de conservation à 60 % HR

L'absorption d'eau est donc une bonne mesure de la résistance à l'écaillage pour les mortiers de jointoiment liés au ciment et peut éventuellement être déterminée en guise de contrôle sur chantier. Dans la phase de conception (étude préalable), les deux essais peuvent être réalisés: d'une part, on peut vérifier si l'absorption d'eau satisfait à la NBN EN 13888 (< 2 g après 30 min ou < 5 g après 240 min) et d'autre part, avec l'essai adapté gel-dégel, on peut contrôler si l'écaillage après exposition à des cycles de gel-dégel en présence de sels de déverglaçage reste sous une certaine limite (< 1,5 – 3,0 ou 4,5 kg/m²).

Les résultats pour l'écaillage des **mortiers de jointoiment liés à la résine**, déterminé selon deux méthodes légèrement adaptées, compte tenu d'une certaine perméabilité de ces matériaux [8], démontrent que tous les **mortiers de jointoiment liés à la résine époxy testés résistent bien aux cycles de gel-dégel en présence de sels de déverglaçage (< 0,15 kg/m² écaillage)**.

3.5 Résistance à l'abrasion

La résistance à l'abrasion, tant des mortiers liés au ciment que de ceux liés à la résine, a été déterminée selon la norme NBN EN 12808-2. Cette méthode consiste à soumettre pour chaque mortier de jointoiment deux plaques carrées de 10 x 10 x 1 cm après vingt-huit jours à l'essai d'abrasion Capon. Ensuite, les empreintes laissées par le disque sont mesurées pour calculer le volume de matériau abrasé (figure 13).

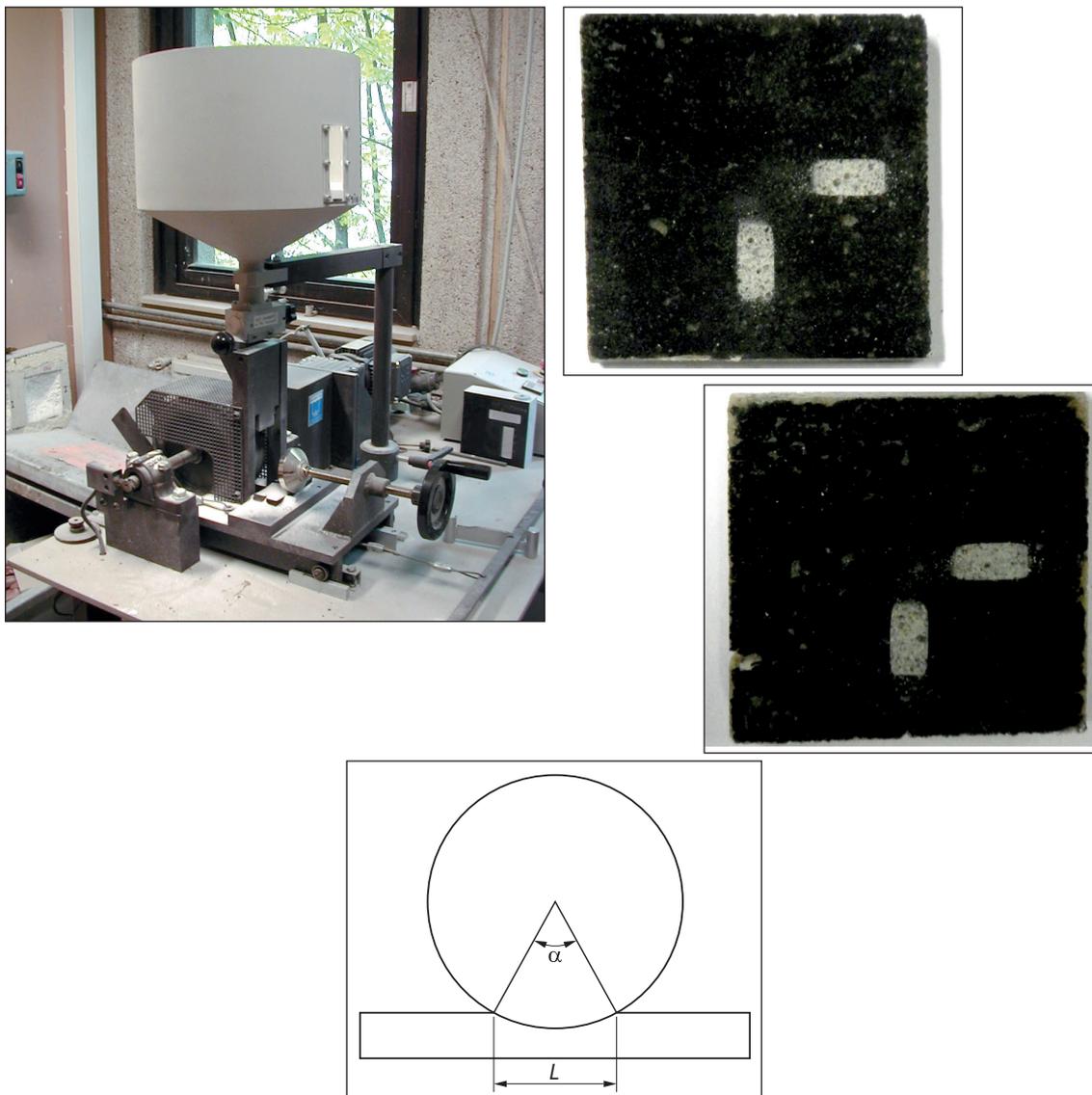


Figure 13 – Principe de l'essai Capon pour déterminer la résistance à l'abrasion des mortiers de jointoiment selon la NBN EN 12808-2

Les résultats pour les six mortiers de jointoiment testés (trois liés au ciment et trois liés à la résine) sont illustrés au tableau 2. Le volume moyen de matériau abrasé (V_{moyen}) peut être confronté aux exigences de la NBN EN 13888: au maximum 1 000 mm³ pour les mortiers liés au ciment et 250 mm³ pour les matériaux liés à la résine.

	Ciment A	Ciment B	Ciment C	Epoxy A	Epoxy E	Epoxy D
V_{moyen} [mm ³]	89 ± 19,7	161 ± 11,6	58 ± 12,8	96 ± 45,1	114 ± 61,8	77 ± 4,5

Tableau 2 – Résultats des essais de résistance à l'abrasion pour les mortiers de jointoiment

Ces résultats permettent de conclure que tous les mortiers de jointoiment testés sont très résistants à l'abrasion, malgré la variation parfois très grande pour certains des mortiers de jointoiment époxy. L'exigence de 250 mm³ est largement atteinte et peut dès lors être appliquée en pratique.

3.6 Dilatation thermique

La dilatation thermique est un paramètre important pour estimer les mouvements thermiques et les sollicitations y associées pouvant se manifester dans un pavage d'un certain type de matériau (béton, terre cuite, pierre naturelle) et/ou de couche de pose avec des coefficients de dilatation changeants. Il peut être utilisé pour déterminer le nombre de joints de dilatation éventuels et leur emplacement.

Le coefficient de dilatation thermique des mortiers de jointoiment a été déterminé selon la méthode d'essai alternative dans la NBN EN 1770. Selon une procédure simplifiée, la longueur de trois prismes par mortier de jointoiment a été mesurée à successivement 20 °C, - 20 °C et 40 °C, pour déterminer le coefficient de dilatation thermique moyen (en $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$) entre -20 °C et 40 °C.

Les résultats pour différents mortiers de jointoiment liés sont illustrés à la figure 14 (p. 25) et peuvent par exemple être comparés avec l'exigence de la NBN EN 1504-2 aux systèmes de protection de surface pour le béton, notamment une valeur maximale de 30 $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ (trait rouge à la figure 14, p. 25). Les résultats démontrent que tous les mortiers de jointoiment testés répondent à cette exigence. Toutefois, il est à noter que les mortiers liés à l'époxy présentent un coefficient de dilatation significativement plus élevé et que des résultats comparables de 5 à 10 $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ sont atteints pour les matériaux liés au ciment, tant en laboratoire que sur chantier. *A titre de comparaison: le coefficient de dilatation du béton se situe autour de 10 $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ et celui de la pierre naturelle entre 1 et 16 $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$.*

3.7 Période d'ouvrabilité

La période d'ouvrabilité des mortiers de jointoiment, abordée aussi plus loin dans le cadre de l'applicabilité (voir chapitre 6), a également été étudiée. Elle a été déterminée selon les procédures décrites dans la NBN EN 13294 (pour les mortiers de réparation) et la NBN EN 1015-9 (pour les mortiers de maçonnerie). Cette méthode d'essai consiste à enfoncer périodiquement une tige de géométrie normalisée à une profondeur donnée dans le mortier frais et ensuite à lire la résistance à la pénétration sur une balance. L'évolution de la résistance à la pénétration (conversion en N/mm²) en fonction du temps donne une idée de la période d'ouvrabilité du mortier frais (figure 15, p. 25).

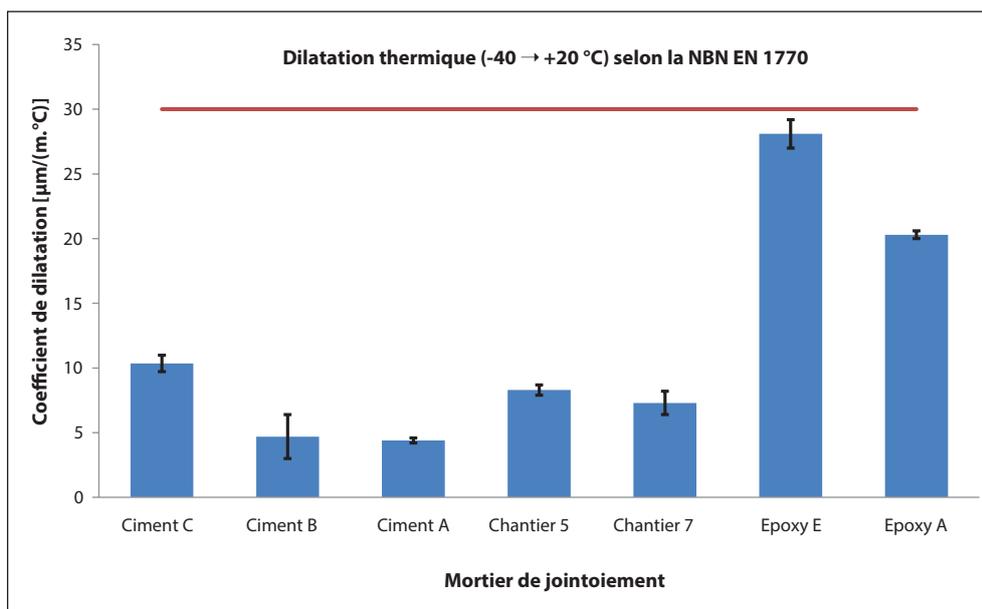


Figure 14 – Coefficient de dilatation thermique moyen [en $\mu\text{m}/(\text{m}.\text{°C})$] entre -20°C et $+40\text{°C}$ pour différents mortiers de jointoiment liés au ciment et à la résine, déterminé selon la NBN EN 1770

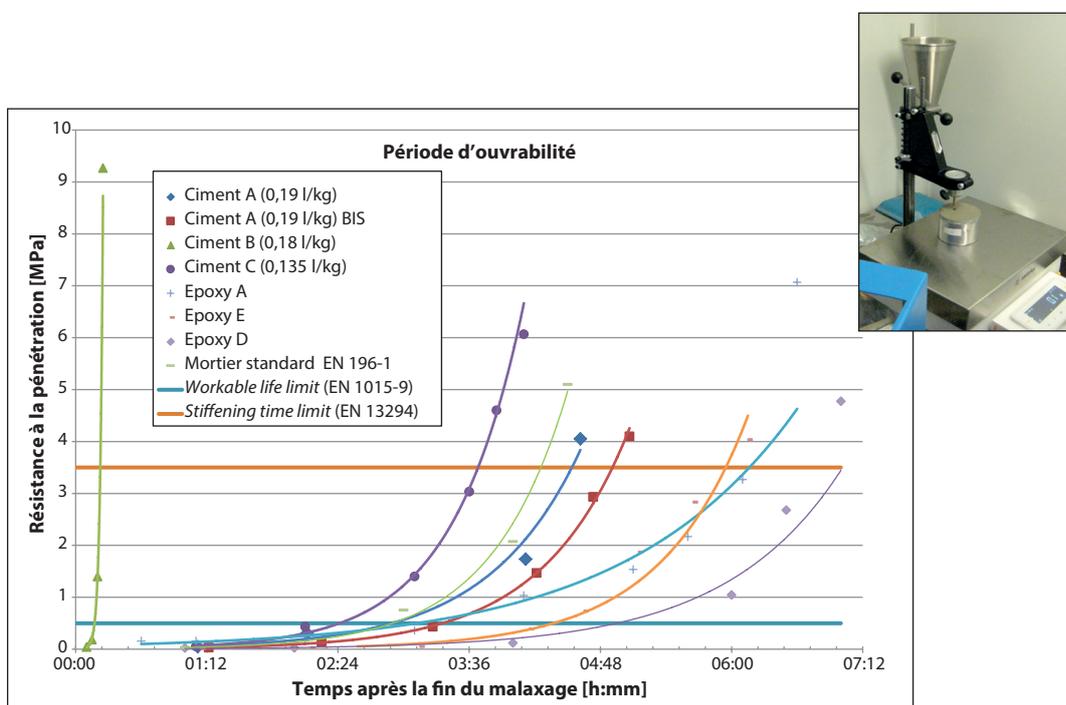


Figure 15 – Résultats des essais de détermination de la période d'ouvrabilité pour les mortiers de jointoiment selon la NBN EN 13294 et la NBN EN 1015-9 (mortier standard = mortier de ciment confectionné selon la NBN EN 196-1)

Ces résultats mettent clairement en évidence que le mortier lié au ciment B durcit très rapidement, surtout comparé à d'autres mortiers de jointoiment. Il y a donc lieu d'en tenir compte lors de son utilisation sur chantier. D'autre part, les mortiers de jointoiment liés à la résine (époxy) durcissent en général plus lentement que les matériaux liés au ciment. Bien évidemment, ces mesures sont variables (voir deux mesures pour le mortier de ciment A).

Sur base des limites des normes NBN EN 1015-9 et NBN EN 13294, on peut calculer la *workable life* (période jusqu'à une résistance de 0,5 N/mm²) et le *stiffening time* (période jusqu'à une résistance de 3,5 N/mm²) des mortiers de jointolement (tableau 3). Cela concerne cependant uniquement l'ouvrabilité et la période d'ouvrabilité des mortiers de jointolement. L'ouverture du revêtement au trafic dépendra plutôt de la résistance obtenue en fonction du temps.

	Ciment A	Ciment B	Ciment C	Epoxy A	Epoxy E	Epoxy D
<i>Workable life</i> (0,5 N/mm ²)	3h08	10'	2h25	3h07	4h22	4h57
<i>Stiffening time</i> (3,5 N/mm ²)	4h42	15'	3h41	6h10	5h56	7h01

Tableau 3 – Calcul de la *workable life* et du *stiffening time* des mortiers de jointolement sur base du graphique de la figure 15 (p. 25)

3.8 Autres propriétés et matériaux plus récents

Pour certains des matériaux de jointolement plus récents, d'autres propriétés peuvent également être importantes pour la caractérisation:

- la résistance aux UV des mortiers liés à la résine (surtout époxy);
- l'influence des cycles hygrothermiques (par exemple, immersion dans l'eau) sur les propriétés, par exemple pour les matériaux monocomposants.

En ce qui concerne le **vieillessement UV**, une comparaison est faite entre les prismes confectionnés simultanément et conservés pendant vingt-huit jours à des conditions standard (20 °C et 60 % HR) et des prismes soumis après sept jours de durcissement à des cycles de 8 h d'éclairage UV, suivis de 16 h dans une chambre noire.

Il s'agit d'une procédure similaire à celle appliquée dans le cadre de l'étude prénormative du CRR de la durabilité des revêtements bitumineux colorés [9]. Les résultats démontrent qu'il n'y a **pas d'impact significatif sur les propriétés mécaniques**; au contraire, la résistance semble même légèrement supérieure après un vieillissement UV. Visuellement, on remarque une différence de couleur, comme illustré à la figure 16 (p. 27, à droite).

Tous les essais de détermination des propriétés mécaniques des mortiers de jointolement liés peuvent aussi être appliqués aux **mortiers de jointolement monocomposants liés aux polymères**. Cependant, des conditions humides ont un impact clairement négatif sur les résultats (figure 17, p. 27). En outre, il s'avère que le mortier monocomposant testé enregistre un résultat nettement moindre que les mortiers bicomposants (par exemple, en ce qui concerne la résistance à la compression, la résistance à l'abrasion) et a besoin de bien plus de temps pour durcir complètement.

Nous pouvons donc en conclure qu'il est préférable de **ne pas utiliser** ces mortiers de jointolement monocomposants **dans des conditions humides permanentes** et qu'ils conviennent uniquement pour des applications avec une **charge de trafic légère**, parce qu'ils atteignent une résistance mécanique moins élevée que les mortiers bicomposants ou liés au ciment.



Figure 16 – Vieillessement UV de mortiers de jointoiment liés à la résine dans une chambre climatique (à gauche) et comparaison entre des éprouvettes exposées aux UV ou non (à droite)

Enfin, on a essayé de confectionner des éprouvettes avec des matériaux moins traditionnels, plus précisément les **sables polymères** et les **joint sealers**. Toutefois, il n'a pas été possible d'obtenir des éprouvettes qui soient suffisamment qualitatives et reproductibles pour y déterminer des propriétés mécaniques. De plus, ces matériaux sont assez plastiques et se prêtent dès lors difficilement à des mesures avec le dispositif d'essai disponible pour déterminer la résistance à la compression et à la flexion en trois points.

Etant donné que ces matériaux ne sont pas encore couramment utilisés pour des pavages dans le domaine public, il a été décidé de ne pas effectuer d'autres essais sur ces matériaux dans le cadre de cette étude. **Provisoirement, la ligne directrice adoptée est qu'ils ne peuvent être appliqués que pour des pavages soumis à une charge légère.**

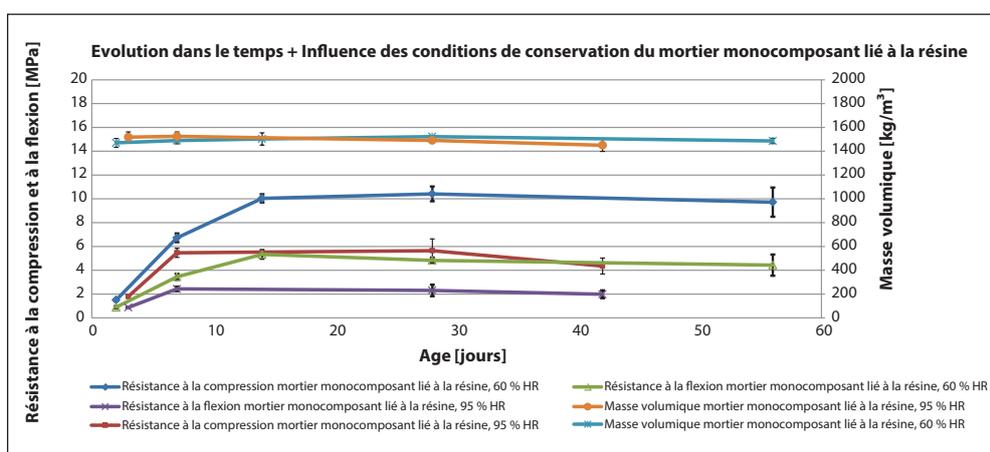


Figure 17 – Evolution dans le temps de la résistance mécanique et de la masse volumique d'un mortier de jointoiment monocomposant et influence des conditions de durcissement sur cette évolution



Chapitre 4

Capacité à prévenir/ralentir la pousse des mauvaises herbes

Les essais relatifs à la capacité à prévenir/ralentir la pousse des mauvaises herbes ont été réalisés par l'Université Gent (UGent). Tout comme lors de l'étude de la gestion des mauvaises herbes [2], des essais en pots et sur des mini-pavages ont été réalisés (figure 18). Dans le cadre de ces deux essais, quinze matériaux de jointoiment différents ont été testés, pollués ou non avec des matériaux organiques. Les essais avec de la pollution organique ont simulé la pollution du joint telle qu'elle aurait lieu dans la pratique. Les essais en pots sont destinés à vérifier si différents régimes de précipitations ont une influence sur la capacité d'un matériau de jointoiment à prévenir la pousse des mauvaises herbes. L'essai sur les mini-pavages a pour but de contrôler si les essais en pots donnent une bonne approximation de cette capacité in situ.

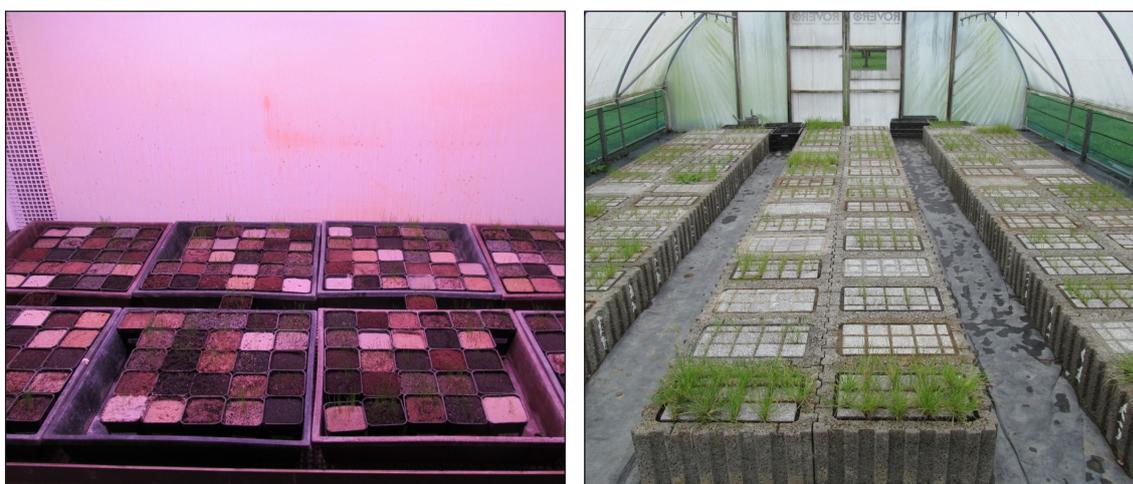


Figure 18 – Dispositif d'essai en pots (à gauche) et mini-pavages (à droite) à l'UGent pour la détermination de la capacité des matériaux de jointoiment à prévenir la pousse des mauvaises herbes

De manière générale, nous pouvons conclure que l'essai dans la chambre climatique («essai en pots») constitue une méthode rapide, reproductible et bon (meilleur) marché pour évaluer la capacité des matériaux de jointoiment in situ à prévenir la pousse des mauvaises herbes, si les conditions minimales suivantes sont remplies:

- deux degrés de pollution: 0 %vol et 20 %vol;
- deux régimes de précipitations: humide (situation optimale pour la pousse des mauvaises herbes) et sec;
- quatre types de plantes, dont deux graminées (p.ex. *L. perenne* et *P. annua*) et deux dycotyles (p.ex. *T. officinale* et *C. fontanum*);
- essais dans des conditions fixes contrôlées, c.-à-d. dans une chambre climatique;
- utilisation de la biomasse aérienne sèche comme paramètre d'évaluation;
- utilisation d'au moins deux matériaux de référence (p.ex. terreau séché et sable blanc calibré).

En outre, il est en effet possible de répartir les matériaux de jointoiment sur base des résultats de cet essai en différentes «classes de capacité à prévenir la pousse des mauvaises herbes», à l'aide d'une sorte de système de score pondéré développé par les chercheurs de l'UGent et illustré dans le tableau 4 (p. 30) pour les matériaux *non liés*.

	Pollution organique (%vol)/ Régime de précipitations				Score (/20)	SE*	Score avec SE*
	0/ Humide	0/ Sec	20/ Humide	20/ Sec			
Jointoiment	0/ Humide	0/ Sec	20/ Humide	20/ Sec			
Sable de quartz blanc	B	B	D	C	13	0,48	12
Sable de quartz noir	B	A	C	C	15	0,48	14
Grès 0/2	B	C	D	C	12	0,41	11
Calcaire concassé 0/2	B	B	C	C	14	0,29	14
Sable de mer	B	B	D	B	14	0,50	13
Mélange basalte/ quartz 0/1	B	B	D	D	12	0,58	10
Sable de jointoi- ement modifié A	B	A	B	A	18	0,29	18
Sable de jointoi- ement modifié B	B	A	C	D	14	0,65	12
Sable de jointoi- ement classique D	B	B	D	E	11	0,75	9
Sable de jointoi- ement modifié C	A	A	A	A	20	0,00	20
Sable polymère avec liant naturel A	A	A	A	A	20	0,00	20

* SE = Standard error/déviati on standard

Tableau 4 – Système de classification de la capacité des matériaux de jointoiment à prévenir la pousse des mauvaises herbes

Pour les matériaux *liés* (tels que les mortiers liés au ciment et à la résine, les sables polymères et les *joint sealers*), la capacité à prévenir la pousse des mauvaises herbes est surtout à attribuer à l'étanchéification du joint. Afin de garantir une prévention permanente de la pousse des mauvaises herbes, il faut sans doute fixer des limites supplémentaires pour les exigences performantielles: un retrait moins élevé, une absorption d'eau restreinte, une résistance aux machines de nettoyage, etc. La capacité à prévenir la pousse des mauvaises herbes devra donc être liée aux propriétés mécaniques des matériaux de jointoiment.

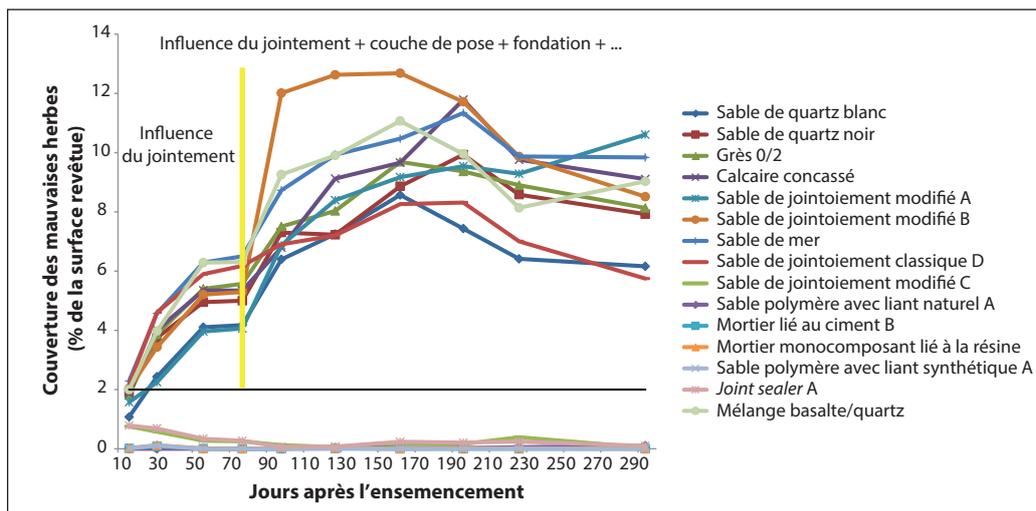


Figure 19 – Couverture des mauvaises herbes (% de la surface revêtue) sur des mini-pavages jointoyés avec quinze matériaux de jointoiment pollués par des matières organiques (20 %vol de terreau) (essai sur mini-pavages). Le trait à 2 % illustre le seuil de mauvaises herbes généralement accepté en Belgique

Enfin, il est à noter que, comme l'ont montré les résultats à plus long terme obtenus sur les mini-pavages (figure 19), l'influence du jointoiment n'est pas dominante et que septante-cinq jours après l'ensemencement, la couche de pose, par exemple, a également un impact sur la pousse des mauvaises herbes. Le concept global d'un pavage et les propriétés de résistance aux mauvaises herbes des différentes couches (jointoiment, couche de pose, fondation) restent déterminants pour la pousse des mauvaises herbes [2].



Chapitre 5

Propriétés fonctionnelles

Ce chapitre traite entre autres des essais de détermination de l'adhérence entre les pavés et le mortier de jointoiment, de la perméabilité des mortiers liés aux polymères et de l'applicabilité et/ou de la sensibilité à l'érosion du matériau de jointoiment, où l'interaction avec le type de pavé et/ou le pavage même (p.ex. largeur de joint) peut jouer un rôle important.

5.1 Adhérence

Pour déterminer l'adhérence entre les pavés et le mortier de jointoiment, des essais de traction directe peuvent être réalisés selon la NBN EN 1542 (figure 20). A cet effet, une couche de mortier d'environ 10 mm est appliquée sur la face latérale des pavés. Après vingt-et-un jours de durcissement, on fore dans cette couche de mortier de jointoiment jusqu'à une profondeur de 15 ± 5 mm dans le pavé, après quoi l'on colle les pastilles de traction. L'essai de traction même a lieu après vingt-huit jours.



Figure 20 – Essais d'adhérence directe entre les pavés et le mortier de jointoiment selon la NBN EN 1542

En raison de la faible adhérence (surtout observée dans le cas des pavés de béton) et de la grande influence de petites variations sur l'alignement de la charge de traction [10], une **méthode adaptée** a été développée, utilisant un anneau conique dans le mortier frais et/ou appliquant une vitesse de traction inférieure. Cette méthode adaptée doit être appliquée si des **valeurs basses sont attendues pour l'adhérence directe (< 0,5 MPa)**.

Lors des essais d'adhérence, l'influence du type de pavé (en béton, terre cuite, pierre naturelle) et de l'humidification préalable ou non du pavé a également été étudiée (figure 21 (p. 34) pour un mortier de jointoiment lié respectivement à la résine et au ciment). Il en est clairement ressorti que le type de pavé et la finition de surface (sablée/non sablée pour les pavés en terre cuite, sciée/clivée pour la pierre naturelle) peuvent avoir une influence considérable sur l'adhérence finale. L'impact de l'humidification de la surface du pavé est surtout évident pour les mortiers liés à l'époxy, pour lesquels des valeurs généralement plus élevées sont obtenues avec un «pavé sec». **Etant donné qu'en pratique les pavés doivent toujours être humidifiés avant d'être rejointoyés pour améliorer l'ouvrabilité du mortier, il est recommandé de réaliser l'essai sur un pavé humide.**

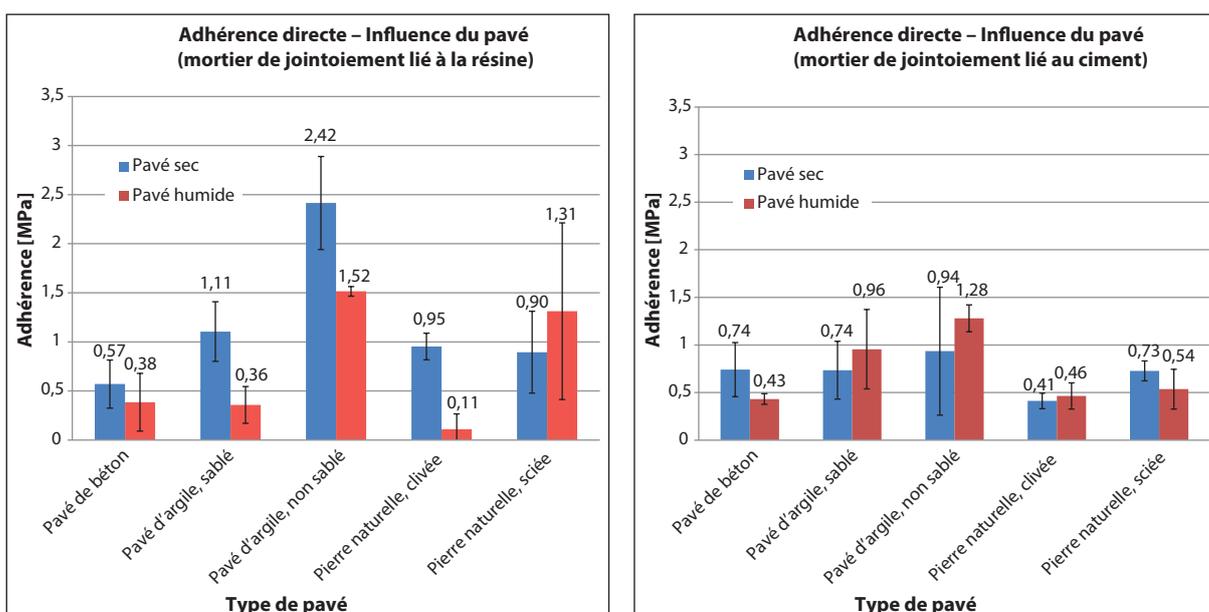
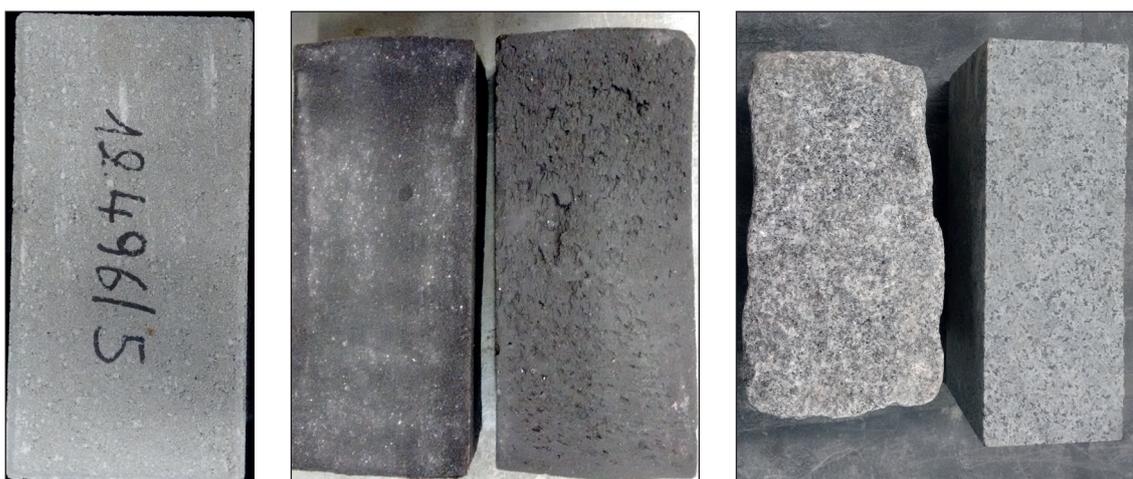


Figure 21 – Influence du type de pavé (béton, terre cuite, pierre naturelle) et de la finition de surface (sablée, non sablée, clivée, sciée) sur l'adhérence directe avec du mortier A lié à la résine et du mortier B lié au ciment

Etonnamment, pour les mortiers liés au ciment, l'influence de l'humidification du pavé est non univoque et l'effet (positif ou négatif) dépend du type de pavé, de la finition de surface du pavé et même du mortier de jointoiment lui-même.

Pour toutes les combinaisons de types de pavés et de mortiers de jointoiment testées en conditions sèches et humides, une rupture dans le pavé s'est produite dans seulement deux cas (*époxy D sur pavé de béton sec et sur pierre naturelle clivée sèche*). Dans ces cas, l'adhérence entre le pavé et le mortier était donc plus élevée que la résistance à la traction du pavé même; de telles sollicitations élevées ne se produiront toutefois pas dans la pratique. Dans tous les autres cas, la rupture s'est toujours produite dans la surface d'adhérence entre le pavé et le mortier de jointoiment.

Comme alternative pour la mesure de l'adhérence directe, on peut utiliser l'essai de résistance au cisaillement, basé sur le *Slant shear test* selon la NBN EN 12615:1999 (figure 22, p. 35). Pour cet essai, une combinaison de forces de cisaillement et de traction est exercée, ce qui se rapproche plus de la réalité.



Figure 22 – Essais de résistance au cisaillement entre le pavé et le mortier de jointoiment, basée sur le Slant shear test selon la NBN EN 12615

Le mortier de jointoiment est appliqué entre deux pavés sciés sur mesure sous un angle de 30° avec le vertical. Une force de compression est ensuite exercée jusqu'à la rupture dans la surface de cisaillement. Les dimensions des éprouvettes ainsi composées sont de 100 x 80 x 400 mm, avec une couche de mortier de jointoiment d'environ 10 mm.

Les résultats obtenus tant dans des conditions sèches que humides avec des pavés de béton sont illustrés à la figure 23. Il en ressort que les valeurs pour cet essai sont beaucoup plus élevées parce que les éprouvettes sont soumises à des forces de cisaillement plutôt qu'à une traction directe. De plus, les résultats obtenus sont beaucoup plus constants et relativement moins dispersés. La rupture s'est toujours produite au droit de la surface d'adhérence (sous 30°).

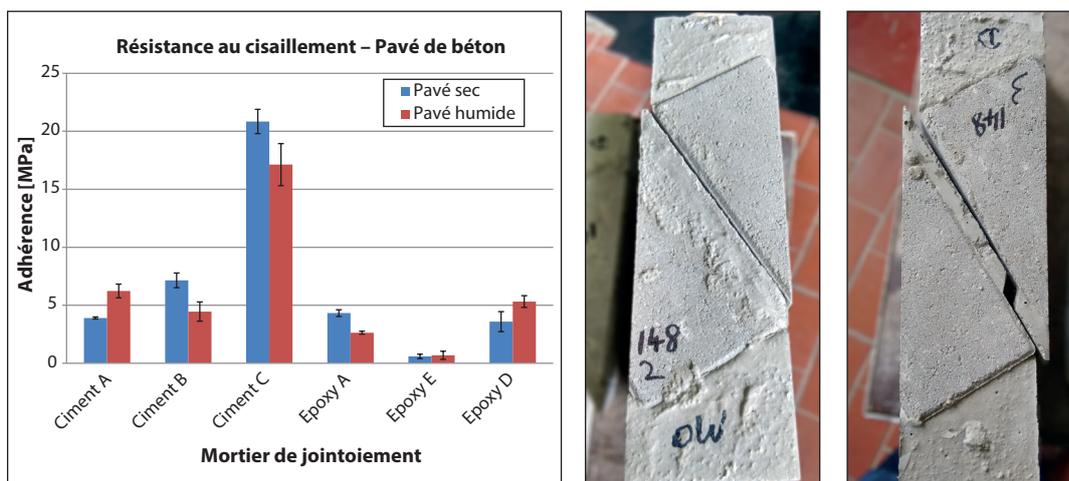


Figure 23 – Résultats pour la résistance au cisaillement entre un pavé de béton humidifié au préalable ou non et les différents mortiers de jointoiment

D'un point de vue technique, cet essai est plus compliqué à réaliser que l'essai de traction directe (*pull-off*). Cependant, on peut y avoir recours si l'essai de traction directe ne fixe pas avec certitude l'adhérence entre le pavé et le mortier de jointoiment.

5.2 Applicabilité de matériaux de jointoiment

Une condition importante pour le bon fonctionnement d'un joint est que celui-ci soit complètement rempli de matériau de jointoiment. Actuellement, il n'existe pas de méthode d'essai standardisée pour contrôler l'applicabilité des matériaux de jointoiment.

En vue d'étudier l'applicabilité des matériaux de jointoiment (aussi bien liés que non liés), plusieurs bacs d'essai (de 65 x 77 cm environ) avec des pavés de béton ont été confectionnés. Pour le remplissage des joints avec des matériaux non liés, une plaque vibrante spéciale a été utilisée.



Figure 24 – Bacs d'essai et plaque vibrante utilisés pour l'étude de l'applicabilité de matériaux de jointoiment



Pour les *matériaux de jointoiment non liés*, deux bacs d'essai ont été utilisés: un avec une largeur de joint de 4 mm pour les matériaux plus grossiers (gravillons 2/4 ou 0/4) et un avec un joint très étroit (1 à 2 mm) en mettant les pavés l'un contre l'autre, pour les sables de jointoiment plus fins.

Les résultats pour l'applicabilité des différents sables de jointoiment testés dans le joint **fin** sont illustrés à la figure 25 (p. 37). Il en ressort qu'il y a en effet de légères différences au niveau du remplissage du joint, mais peut-être trop infimes pour faire une distinction nette au niveau de l'applicabilité. L'humidité du sable de jointoiment est certes un paramètre important. Elle a été testée en mélangeant uniformément le sable préalablement avec un certain pourcentage d'eau (dix pour cent en masse). Ici, un effet clairement négatif sur le remplissage du joint est visible vu que le sable de jointoiment «humide» ne remplit que le haut du joint au lieu de descendre vers le fond de celui-ci (figure 25, photo – p. 37).

En conclusion, le **jointoiment à sec** reste la **meilleure** solution. Si le jointement à sec n'est pas possible (ce qui est souvent le cas dans la pratique), il faut répéter l'opération de remplissage. Cela peut être nécessaire par exemple quand le sable de jointoiment mis à l'origine s'est enfoncé plus profondément dans le joint après une période sèche.

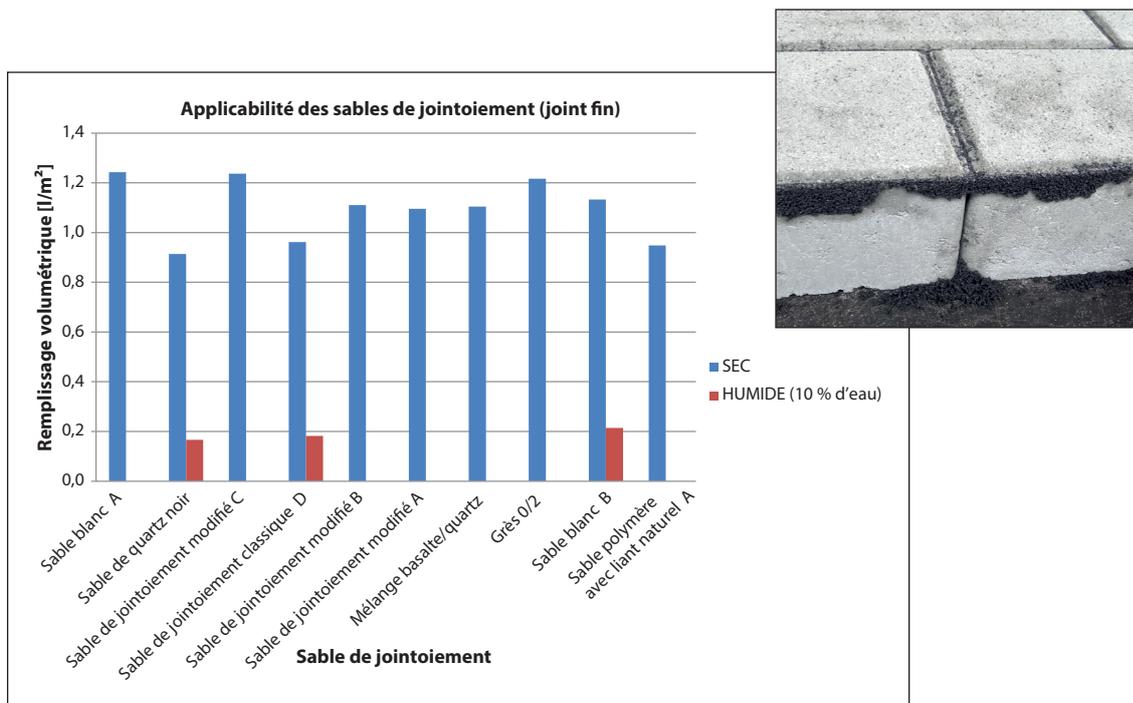


Figure 25 – Résultats pour l'applicabilité des sables de jointolement dans un joint fin (1-2 mm), exprimés en remplissage volumétrique (l/m²) du joint

Des bacs d'essai similaires ont été utilisés pour déterminer l'applicabilité et la sensibilité à l'érosion (voir plus loin) de *mortiers de jointolement liés*. Dans ce cas de figure, des pavés de béton avec des écarteurs ont été utilisés, afin d'obtenir un joint d'environ 5 mm entre les pavés. L'applicabilité des matériaux a été étudiée en mesurant la hauteur de joint remplie sur des carottes (figure 26).

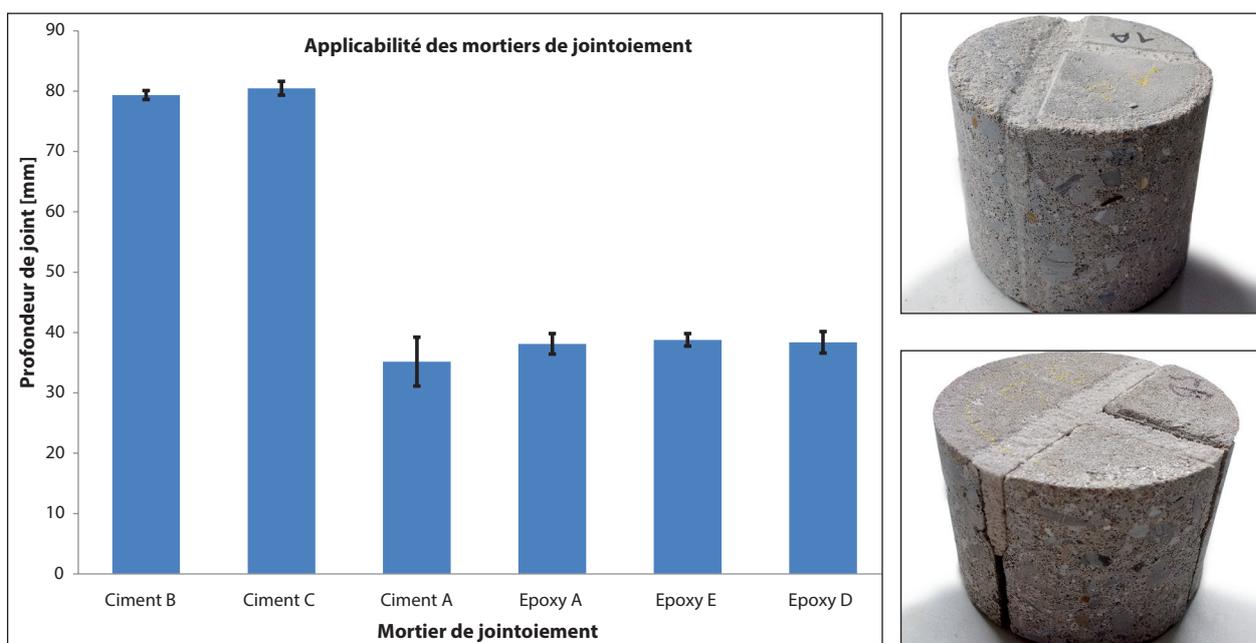


Figure 26 – Résultats pour l'applicabilité des mortiers de jointolement, exprimés en profondeur de joint remplie (épaisseur de pavé = 80 mm)

Il en ressort clairement que tous les mortiers ne remplissent pas aussi bien le joint, selon leur fluidité et leur ouvrabilité. La teneur en eau conseillée par un des producteurs de mortier de jointoiment lié au ciment (A) s'est avérée clairement trop faible pour obtenir une fluidité (et donc une applicabilité) suffisante, avec pour conséquence des joints à moitié remplis. Des joints plus étroits requièrent donc un mortier de jointoiment plus liquide, sans que cela nuise pour autant à la qualité du matériau, par exemple en rajoutant plus d'eau (résistance moindre, absorption d'eau plus élevée, etc.). En fonction du mortier de jointoiment utilisé (et surtout pour les matériaux liés à la résine), une largeur de joint minimale est en outre nécessaire pour garantir un bon remplissage du joint.

5.3 Sensibilité à l'érosion des mortiers de jointoiment

Pour déterminer la sensibilité à l'érosion, des essais avec une brosse de désherbage en acier ont été réalisés après vingt-huit jours de durcissement pour simuler l'abrasion pendant la durée de vie du pavage (figure 27). A cet effet, le profil de la surface a été déterminé au moyen d'un profilomètre laser avant et après le brossage pour évaluer la différence de profondeur de joint avant et après (figure 28, p. 39).

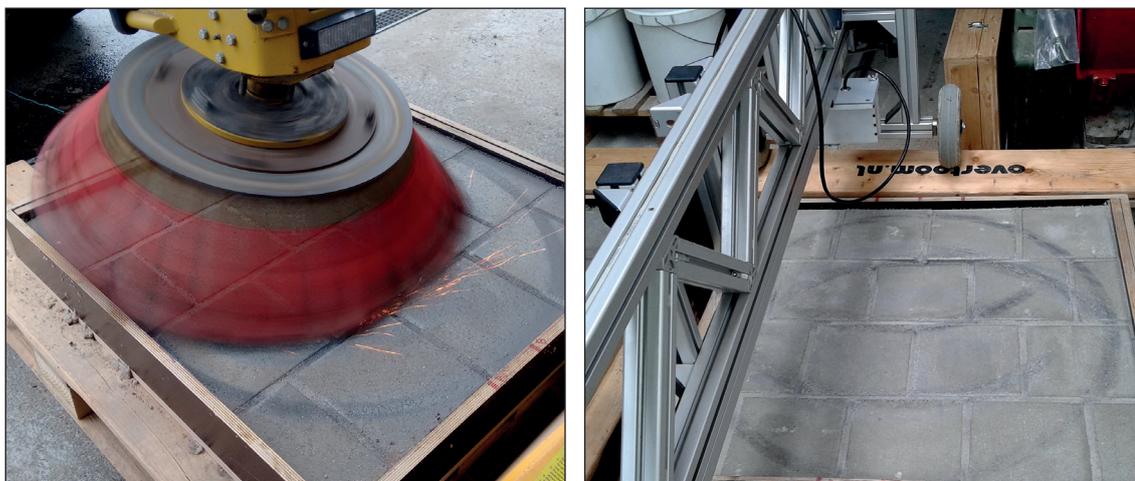


Figure 27 – Essais de sensibilité à l'érosion des mortiers de jointoiment (brosse de désherbage en acier et profilomètre laser pour déterminer les profils de joint avant et après brossage)

Dans l'ensemble, ces résultats démontrent que, malgré la grande dispersion des résultats de mesure, les **mortiers de jointoiment liés au ciment résistent clairement mieux** à l'action de la brosse de désherbage, avec des pertes minimales en profondeur de joint. Les mortiers liés à l'époxy sont nettement plus sensibles à l'abrasion, mais vu sur toute la durée de vie du pavage, la perte de matériau (2 à 4 mm de profondeur de joint en moyenne par cinq minutes de brossage intensif dans le joint) dans ce scénario «worst case» pourrait encore être acceptable.

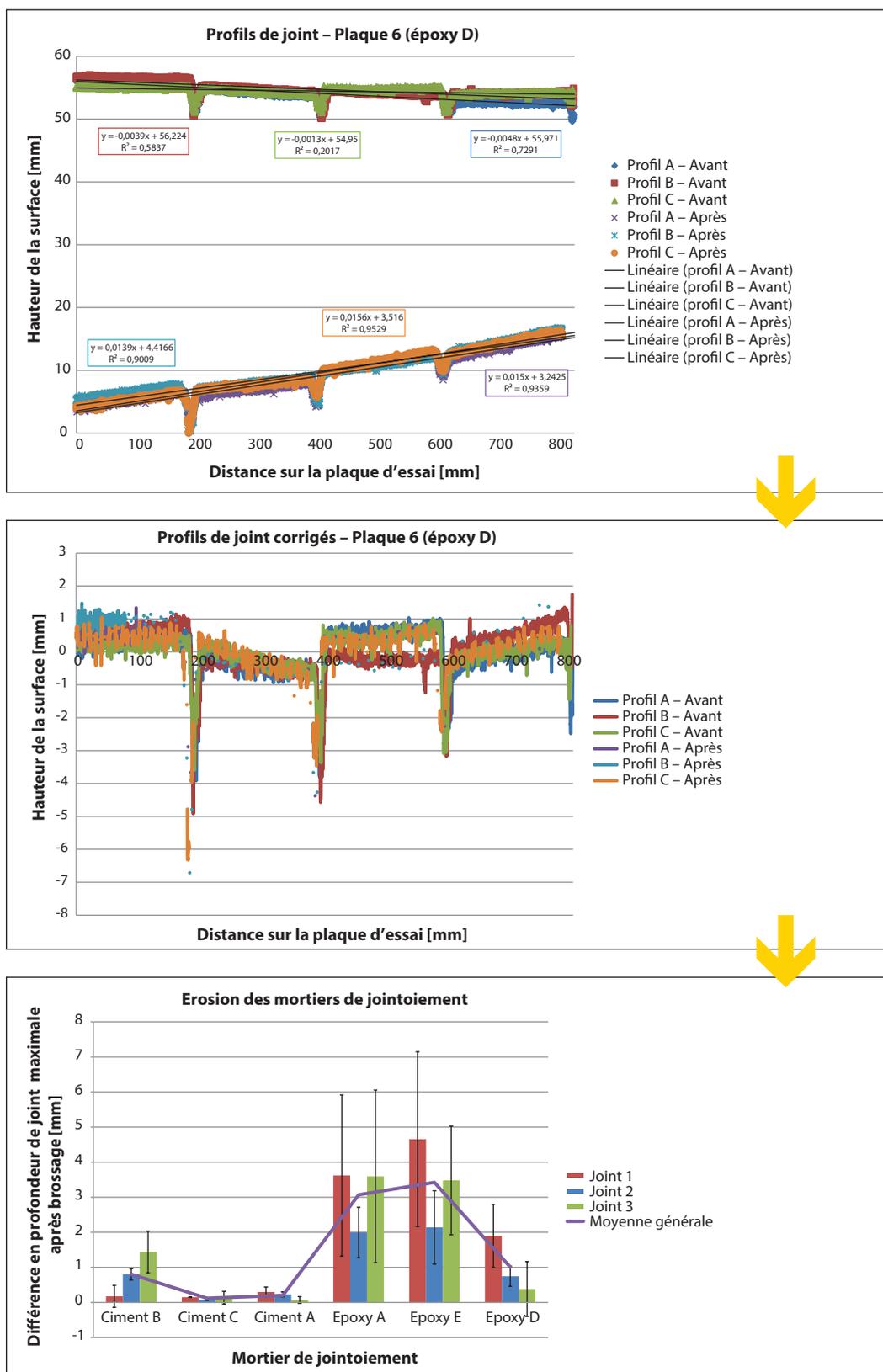


Figure 28 – Résultats des essais de sensibilité à l'érosion des mortiers de jointoiment après traitement mathématique des profils de joint (voir exemples ci-dessus pour l'époxy D): différence en profondeur de joint maximale avant et après broissage

5.4 Perméabilité des matériaux de jointoiement liés

La perméabilité des mortiers de jointoiement *liés aux polymères* peut être testée selon la méthode avec flux actif, décrite au § 14-4.9 du cahier des charges type SB 250 (version 3.1a) pour des carottes en béton maigre drainant (figure 29). A cet effet, des éprouvettes cylindriques confectionnées avec différents mortiers de jointoiement liés aux polymères ont été testées après au moins quatorze jours de durcissement.

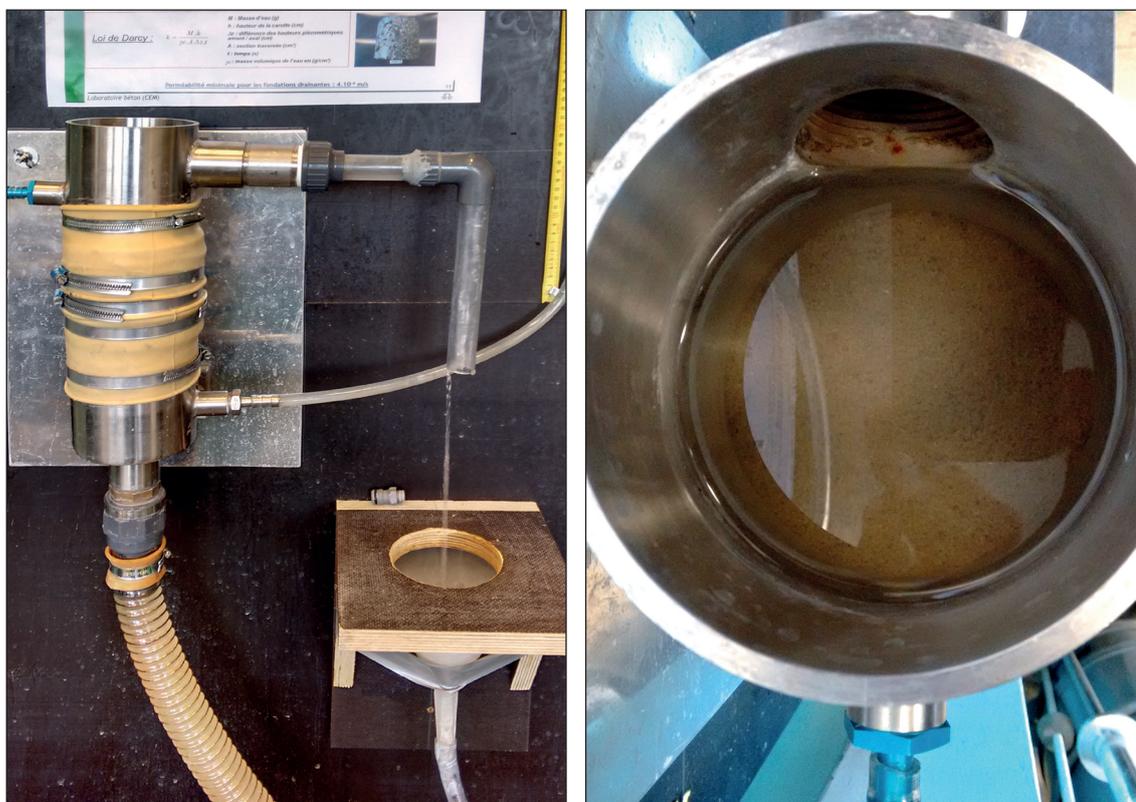


Figure 29 – Essai de perméabilité du béton maigre drainant, appliqué au mortier de jointoiement époxy

Les résultats révèlent (figure 30, p. 41) qu'à l'exception d'un seul produit (*époxy D*), la perméabilité de tous les matériaux liés à la résine testés satisfait à l'exigence pour les pavages drainants ($> 4 \times 10^{-4} \text{ m/s}$). En cas de saturation complète des éprouvettes avec de l'eau, la perméabilité est plus faible, mais dans la plupart des cas, elle se rétablit au même niveau après une période sèche – ce qui sera aussi le cas dans la pratique.

L'utilisation de ces matériaux de jointoiement dans des pavages drainants est donc possible (par exemple en cas de risque élevé de mauvaises herbes), mais n'est certainement pas recommandée partout. Si le revêtement est suffisamment fréquenté par les piétons ou soumis au trafic, la pousse des mauvaises herbes sera en tout cas moindre [2]. Ce n'est qu'en cas de très faible intensité d'utilisation et de larges joints non liés qu'un problème peut survenir, justifiant le recours à ces matériaux liés à la résine.

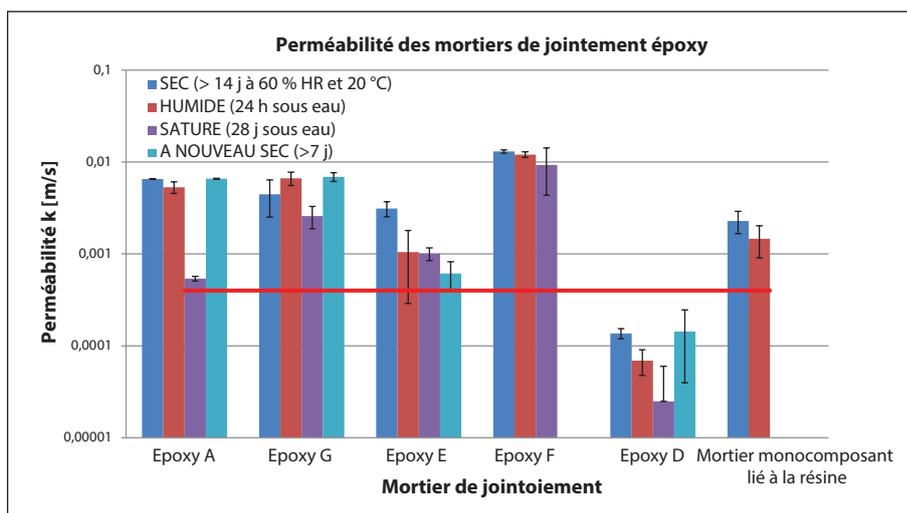


Figure 30 – Résumé de tous les résultats d'essais de perméabilité pour mortiers de jointement liés à la résine (résultats moyens sur trois carottes et après au moins 2 h d'écoulement) en fonction des conditions de conservation: sec (> 14 j à 60 % HR), humide (24 h sous eau), saturé (28 j sous eau), à nouveau sec (> 7 j en conditions de laboratoire)



Chapitre 6

Validation des résultats de laboratoire sur le terrain

Pour la validation des essais précités et des exigences performantielles correspondantes, les résultats obtenus en laboratoire ont été comparés à des mesures réalisées sur éprouvettes confectionnées sur chantier (voir exemples dans les figures 31-33, p. 43-44). Au total, une quinzaine de chantiers ont été suivis.

Pour les **mortiers liés au ciment**, il s'avère que la maîtrise de la teneur en eau est cruciale pour obtenir la résistance visée et un retrait minimal sur chantier. Quand on ajoute trop d'eau par rapport à la teneur optimale indiquée par le fournisseur, une perte de résistance considérable se produit et un retrait plus important sera mesuré (figure 31, chantier avec mortier de ciment A).

Cela vaut également pour l'absorption d'eau et la résistance au gel-dégel y associée, comme décrit à la figure 9 (p. 20), et illustré à la figure 32 (p. 44) pour la résistance à l'écaillage en présence de sels de déverglaçage. Si un surplus d'eau est utilisé et/ou qu'une quantité trop importante d'eau est ajoutée sur chantier, la résistance au gel-dégel en présence de sels de déverglaçage diminuera. Cela sera également le cas pour les mortiers de jointoiement acheminés sur le chantier au moyen d'un camion-malaxeur (figure 32, p. 44).

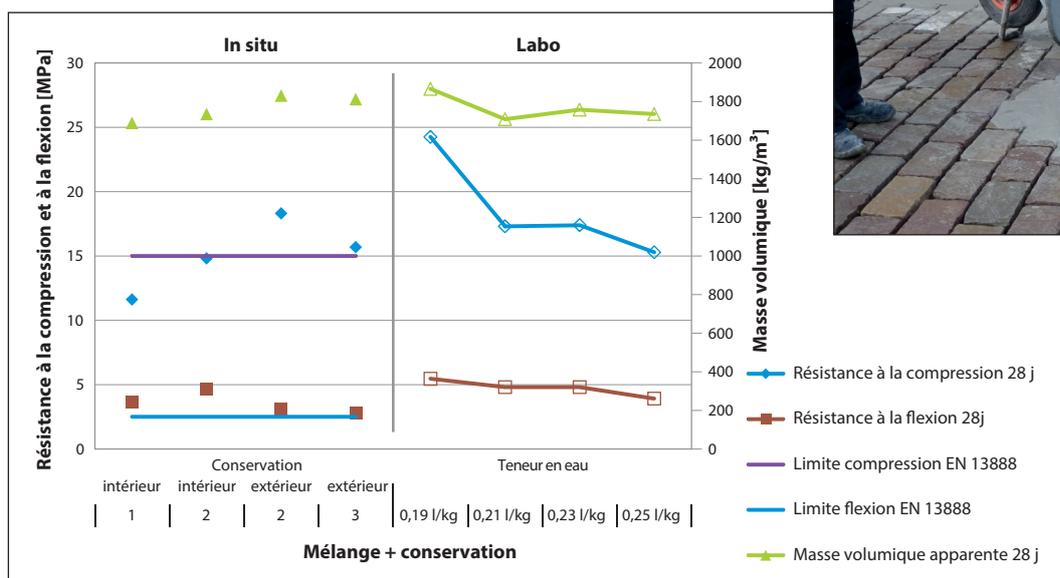


Figure 31 – Comparaison de la résistance à la compression et à la flexion pour des éprouvettes confectionnées sur chantier avec le mortier de jointoiement lié au ciment A

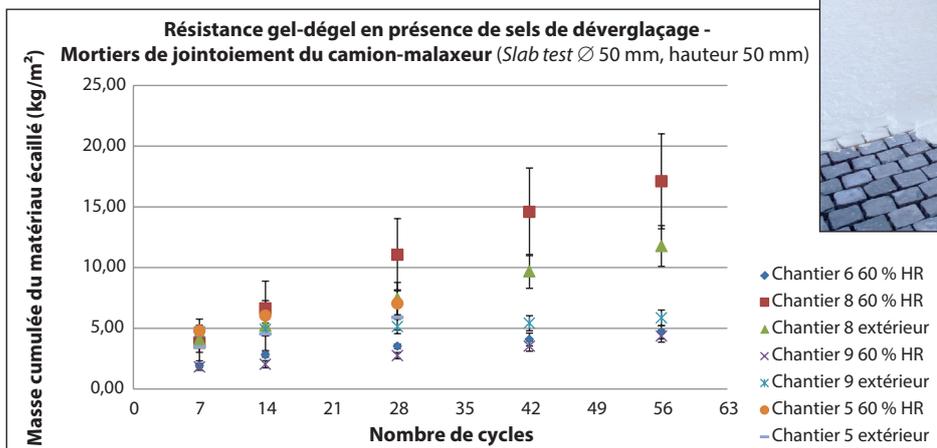


Figure 32 – Comparaison des résultats des essais de résistance au gel-dégel en présence de sels de déverglaçage sur des éprouvettes confectionnées sur chantier à ceux des essais en laboratoire: mortiers de jointoiment d'un camion-malaxeur

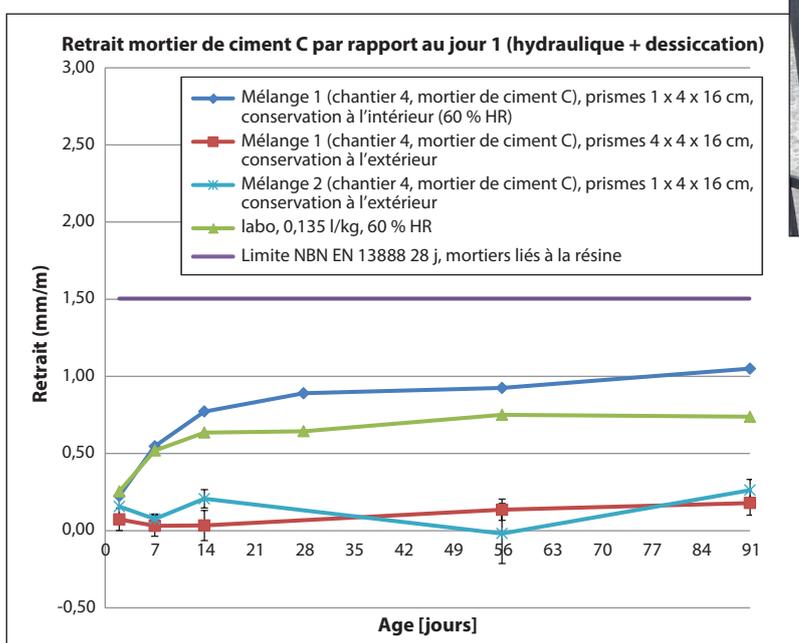


Figure 33 – Comparaison des mesures de retrait pour des éprouvettes confectionnées sur chantier avec le mortier de ciment C

Si, par contre, la teneur en eau ajoutée est contrôlée correctement, on peut obtenir sur chantier des résultats comparables à ceux obtenus en laboratoire (figure 33). Pour les mortiers de ciment conservés dans des conditions extérieures (un peu «plus humides»), on obtient généralement de meilleurs résultats pour la résistance à la compression (après vingt-huit jours) que pour ceux conservés à l'intérieur (à 20 °C et 60 % HR); ceci correspond à l'influence des conditions de durcissement telles qu'observées en laboratoire (figures 6 et 9, pp. 17 et 20). La résistance à la flexion est quant à elle généralement peu (voire légèrement négativement) influencée par le durcissement dans un environnement extérieur.

En ce qui concerne la résistance au gel-dégel en présence de sels de déverglaçage déterminée sur des éprouvettes confectionnées sur chantier (surface exposée), l'écaillage en cas de conservation dans des conditions extérieures est généralement moins élevé qu'en cas de conservation à l'intérieur (20 °C et 60 % HR). L'écaillage moyen de quatre éprouvettes après vingt-huit jours peut par exemple être comparé à la limite maximale prescrite par le cahier des charges type SB 250 (version 3.1a) pour l'étude préliminaire de la composition du béton routier (3,0 kg/m² pour les *bouwklassen* B6-B10 et BF). Des résultats moindres pour la résistance au gel-dégel en présence de sels de déverglaçage de certaines éprouvettes (chantiers 5 et 8) correspondent généralement à des valeurs d'absorption d'eau (trop) élevées qui ont été mesurées pour ces chantiers (figure 9, p. 20). **Ceci confirme la corrélation entre l'absorption d'eau et la résistance à l'écaillage pour les mortiers de jointoiment liés au ciment, comme démontrée par les résultats en laboratoire** (figure 12, p. 22).

D'autre part, les **mortiers liés à la résine** donnaient en général de meilleurs résultats initiaux en cas de conservation à l'intérieur qu'en cas de durcissement dans des conditions extérieures. Après vingt-huit jours, les résistances mécaniques pour deux des trois chantiers se sont avérées quasiment similaires en cas de conservation à l'intérieur et à l'extérieur.

Globalement, la détermination des propriétés mécaniques (résistance à la compression et à la flexion, retrait, résistance au gel-dégel) en laboratoire dans des conditions de conservation standard à 20 °C et 60 % HR donne une image assez fiable de ce qui peut être atteint dans une certaine mesure sur chantier.

Une comparaison approfondie des résultats pour la résistance obtenue en laboratoire (conservation à 60 % HR) et celle déterminée sur chantier (conservation extérieure), et d'autre part entre le retrait sur des éprouvettes confectionnées respectivement en laboratoire et sur chantier et conservées toutes deux à 60 % HR, révèle que la **résistance à la compression sur chantier** atteint généralement **au moins 80 % de celle en laboratoire** et que le **retrait en laboratoire** atteint **au moins 80 %** de celui sur chantier ou, en d'autres termes, que le retrait sur chantier est au maximum 25 % plus élevé que celui en laboratoire. La figure 34 donne un aperçu des résistances à la compression et à la flexion atteintes après vingt-huit jours de durcissement en conditions extérieures, pour tous les chantiers suivis. Il en ressort que les résistances atteintes sur chantier sont assez variables.

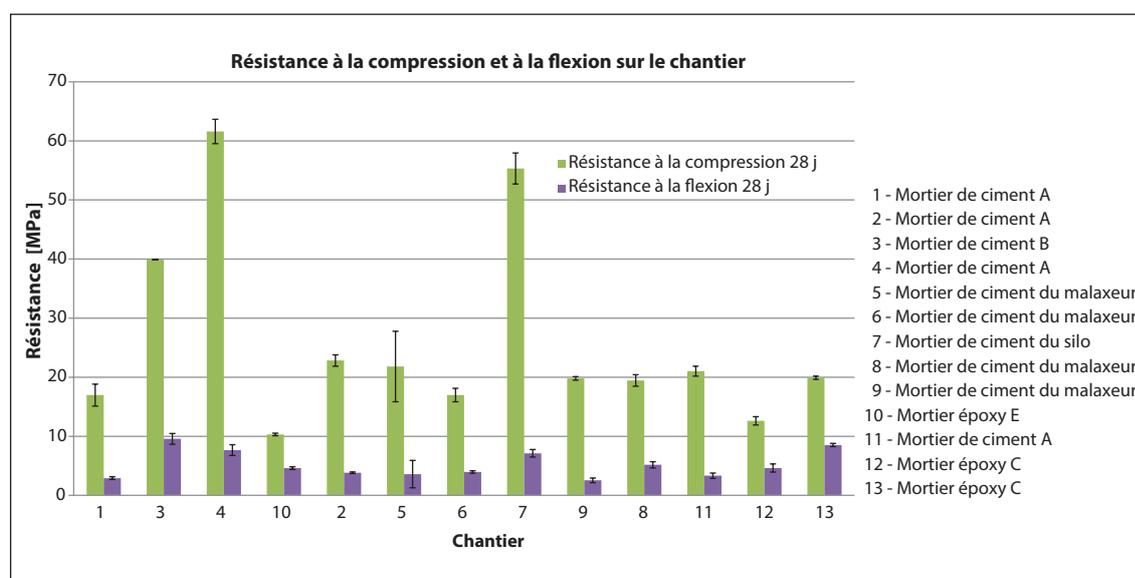


Figure 34 – Résumé des résultats pour la résistance à la compression et à la flexion pour des éprouvettes confectionnées sur chantier et conservées dans des conditions extérieures

Enfin, pour d'autres propriétés mécaniques telles que la résistance à l'abrasion selon l'essai Capon, des résultats similaires peuvent être obtenus sur chantier ou en laboratoire, aussi bien avec des mortiers liés à la résine qu'avec des mortiers liés au ciment.

En ce qui concerne les *propriétés fonctionnelles* (adhérence, perméabilité) des produits utilisés, plusieurs chantiers ont été suivis pour mesurer ces paramètres sur des éprouvettes confectionnées sur place. Il en ressort que – surtout pour les matériaux liés au ciment – on obtient généralement de meilleurs résultats pour l'adhérence quand les éprouvettes sont conservées à l'extérieur que quand elles sont conservées à l'intérieur à 60 % HR.

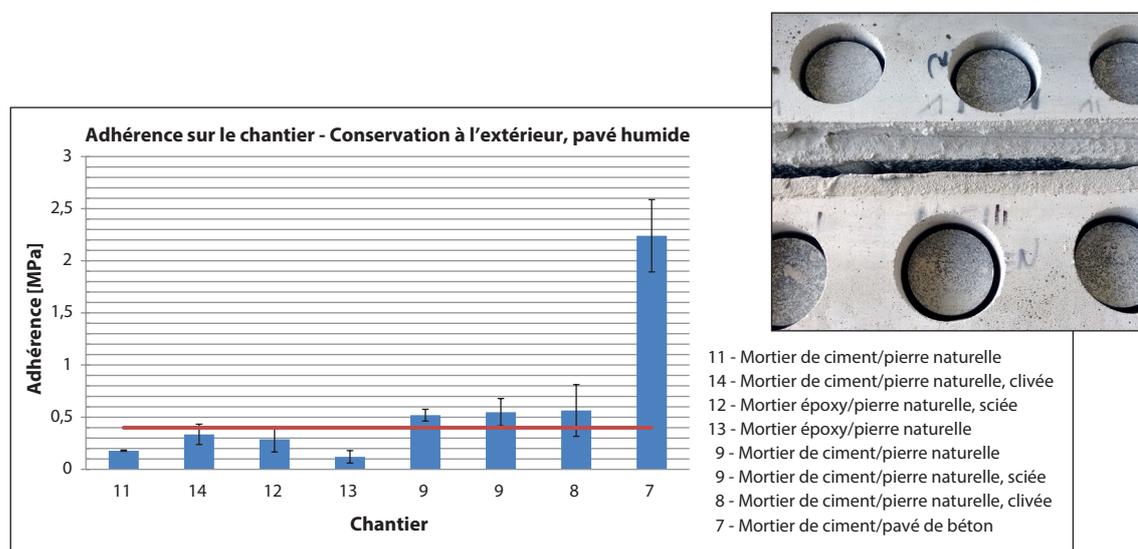


Figure 35 – Résumé des résultats pour l'adhérence entre un pavé humide et du mortier de jointoiment pour des éprouvettes confectionnées sur chantier et conservées dans des conditions extérieures

En règle générale (  l'exception du chantier 7, où un mortier de ciment préparé sur place avec du matériau sec d'un silo et avec adjonction d'eau a été appliqué), les **valeurs mesurées sur chantier** pour l'adhérence entre le pavé et le mortier de jointoiment sont assez faibles au vu des exigences dans les directives existantes en Belgique et à l'étranger (cf. tableau 1, p. 12). Si par exemple, on impose une valeur minimale de 0,4 MPa sur chantier pour obtenir une adhérence acceptable entre le pavé et le matériau de jointoiment, la figure 35 révèle que la valeur moyenne pour l'adhérence directe dépasse cette limite seulement sur la moitié des chantiers suivis.

Pour une exécution selon le concept «rigide», avec des couches quasiment imperm eables, le contrôle a priori de l'adhérence entre le pavé et le mortier de jointoiment reste un point d'attention particulier pour obtenir un revêtement durable. Ceci peut surtout constituer un problème dans le cas de pavés en pierre naturelle sciés, plus lisses. Une faible adhérence combinée à un retrait initial (plus)  lev  peut en outre entraîner de la fissuration au droit de la surface d'adhérence entre le pavé et le mortier de jointoiment. Cela a d'ailleurs été constaté sur certains chantiers, avec toutes les conséquences que cela entraîne.

La *perm eabilit * des mortiers de jointoiment liés à la résine a également été contrôlée sur un chantier. Les résultats sont illustrés à la figure 36 (p. 47) et indiquent qu'ici aussi le mortier de jointoiment lié aux polymères testé présente une très bonne perm eabilit  in situ ($> 4 \times 10^{-4}$ m/s).

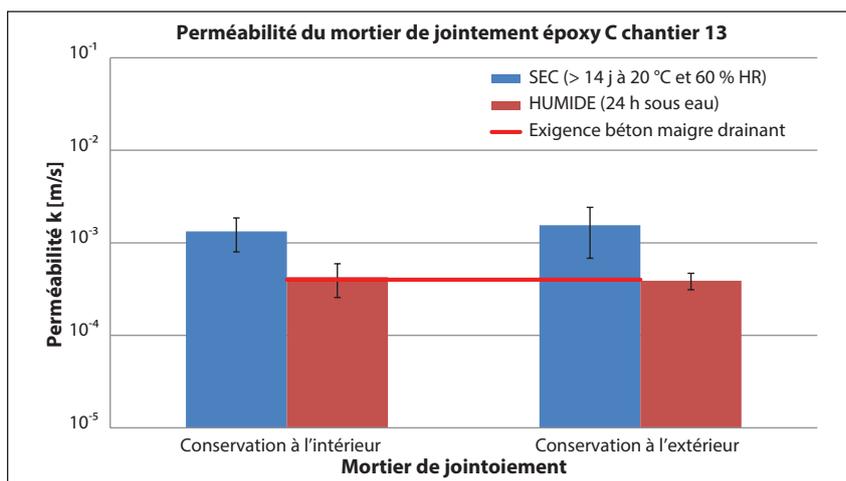


Figure 36 – Résultats des essais de perméabilité sur les éprouvettes de mortier de jointement époxy C confectionnées sur chantier et conservées à l'intérieur (60 % HR) ou à l'extérieur

Comme illustré au tableau 5, une comparaison a été faite avec la perméabilité in situ de quelques sections construites récemment sur le terrain du CRR à Sterrebeek [4]. Pour ce faire, la perméabilité de la surface a été mesurée au moyen de la méthode double anneau, utilisée pour mesurer la perméabilité des pavages drainants. Dans l'ensemble – compte tenu de la dispersion des résultats de mesure, de la variabilité des propriétés des matériaux in situ et du pourcentage de joints – les valeurs sont très similaires, sauf pour le mortier époxy A.

Mortier de jointement	Perméabilité en laboratoire [m/s] (24 h sous H ₂ O)	Essai double anneau [m/s]	Pourcentage de joints [%]	Perméabilité in situ calculée [m/s]	
Epoxy A	$(5,3 \pm 0,8) \times 10^{-3}$	$4,8 \times 10^{-5}$	15	$0,3 \times 10^{-3}$	
Epoxy F	$(12 \pm 0,8) \times 10^{-3}$	$4,5 \times 10^{-4}$	7	$6,4 \times 10^{-3}$	
Mortier 1K	$(1,5 \pm 0,6) \times 10^{-3}$	$4,3 \times 10^{-4}$	12,5	$3,4 \times 10^{-3}$	
Epoxy E	$(1,0 \pm 0,8) \times 10^{-3}$	$2,8 \times 10^{-4}$	12,5	$2,2 \times 10^{-3}$	

Tableau 5 – Comparaison des mesures de perméabilité en laboratoire aux résultats de l'essai double anneau in situ sur des sections expérimentales en pavages drainants



Chapitre 7

Implications et recommandations pour la pratique

Sur base des résultats de recherche décrits dans ce compte rendu, la matrice suivante est proposée pour les propriétés à tester selon le type de matériau de jointoiement et le domaine d'application correspondant (voir aussi tableau 7, p. 50).

Propriétés mécaniques et de durabilité	Famille de produits		
	A + G non liés	B liés au ciment	C liés à la résine
Résistance à la compression et à la flexion		x	x
Retrait		x	x
Absorption d'eau		x	
Abrasion		x	x
Masse volumique		x	x
Résistance aux sels de déverglaçage		(x)	
Adhérence		x	x
Ouvrabilité		x	x
Autres?	Applicabilité	Erosion (brosse)	Erosion
Capacité à ralentir la pousse des mauvaises herbes	x	(x)	(x)
Perméabilité à l'eau	x		x
Domaine d'application	Cf. exigences [1]	Exigences en fonction de la charge de trafic (tableau 9, p. 53)	

x = à tester, (x) = éventuellement à tester.

Tableau 6 – Matrice avec les propriétés à tester en fonction du matériau de jointoiement et du champ d'application correspondant

Pour les *matériaux de jointoiement non liés*, il peut être fait référence aux cahiers des charges types des trois Régions et au code de bonne pratique CRR R 80/09 pour la conception et l'exécution des revêtements en pavés de béton [1]. Complémentairement, la capacité à prévenir la pousse des mauvaises herbes peut être déterminée au moyen de la méthode développée par l'*UGent*, permettant également une classification des différents matériaux. En outre, l'applicabilité constitue un paramètre important pour lequel une amorce de procédure d'essai est décrite au chapitre 5. Enfin, la perméabilité des matériaux non liés peut aussi jouer un rôle et peut être estimé à partir de la granulométrie et/ou par une méthode d'essai déterminée [11].

Pour des matériaux plus récents (*sables polymères avec liants synthétiques ou naturels et joint sealers*), une étude plus approfondie est nécessaire pour caractériser le comportement (mécanique). Il se peut qu'ils doivent être considérés comme des gravillons liés «améliorés», pour lesquels la granulométrie, la qualité du sable, la teneur en eau, le dosage du liant, etc. jouent un rôle. L'expérience pratique va devoir démontrer combien ces matériaux sont résistants au trafic et quelle durabilité on peut prévoir pour les pavages soumis au trafic. La capacité à prévenir la pousse des mauvaises herbes peut être déterminée au moyen d'une méthode analogue à celle des matériaux non liés. Sous réserve d'une étude plus approfondie, l'utilisation de ces matériaux est actuellement uniquement indiquée pour des utilisations qui relèvent de la catégorie de trafic IV telle que définie dans le code de bonne pratique R 80/09 [1] (tableau 7).

Type de trafic				Indication de la classe de construction selon les <i>Standaard Wegstructuren</i> des autorités flamandes
Catégorie	Piétons, cyclistes, motocyclistes	Véhicules légers (< 3,5 t)	Véhicules lourds (> 3,5 t)	
I	Illimité	Limité à 5 000 par jour	Limité à 400 par jour	B6-B7
II	Illimité	Limité à 5 000 par jour	Limité à 100 par jour	B8-B9
III	Illimité	Limité à 500 par jour	Limité à 20 par jour	B10
IV	Illimité	Occasionnel	Aucun	BF

Tableau 7 – Définition des différentes catégories de trafic pour pavages dans le code de bonne pratique R 80/09 [1]

Enfin, pour les *matériaux liés au ciment et les mortiers liés à la résine* (aussi bien les matériaux monocomposants que les bicomposants), des exigences peuvent être posées **en fonction de la catégorie de trafic** (selon le tableau 7) pour laquelle ils sont utilisés. Ceci a été fait sur base d'une analyse de tous les résultats d'essai pour les propriétés mécaniques et de durabilité (résistance à la compression et à la flexion, retrait, résistance à l'abrasion, absorption d'eau, etc.) des mortiers de jointoiement liés au ciment et liés à la résine, ainsi que d'une comparaison tant aux exigences existantes en Belgique et à l'étranger (tableau 1, p. 12) qu'aux résultats effectivement atteints sur chantier (voir chapitre 6). La figure 37 (p. 51) donne quelques exemples (voir aussi les figures 9, 31 et 36 en pp. 20, 43 et 47).

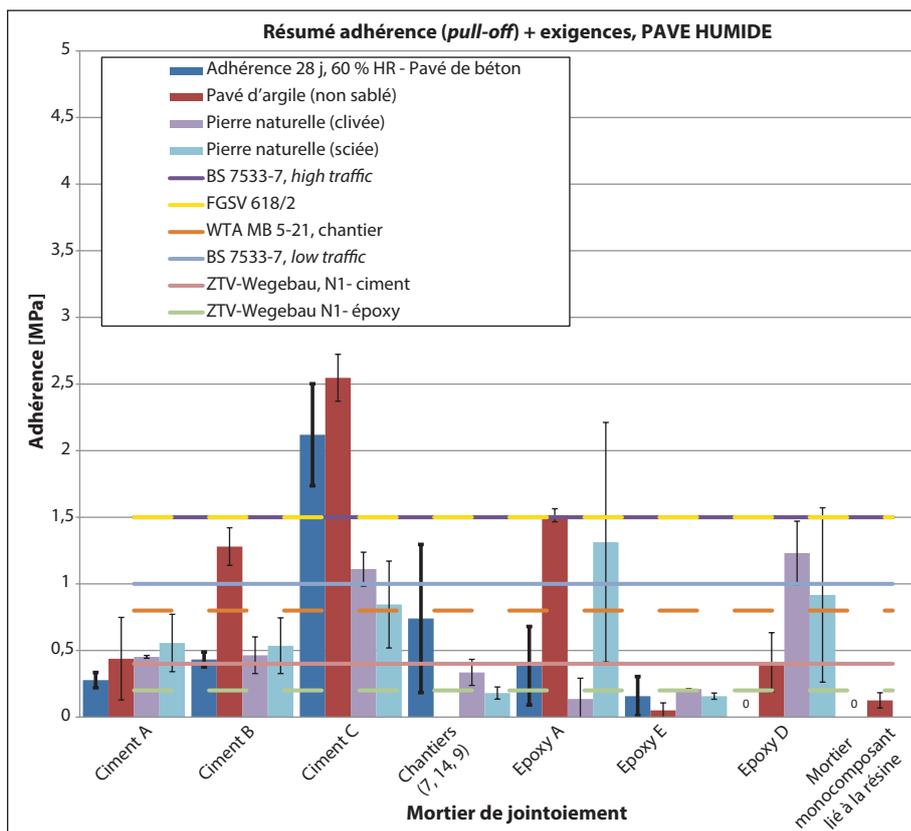
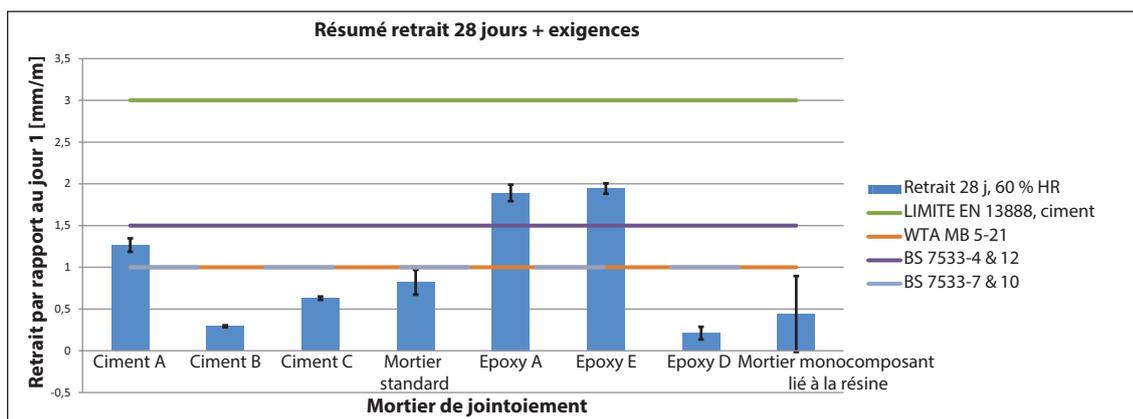
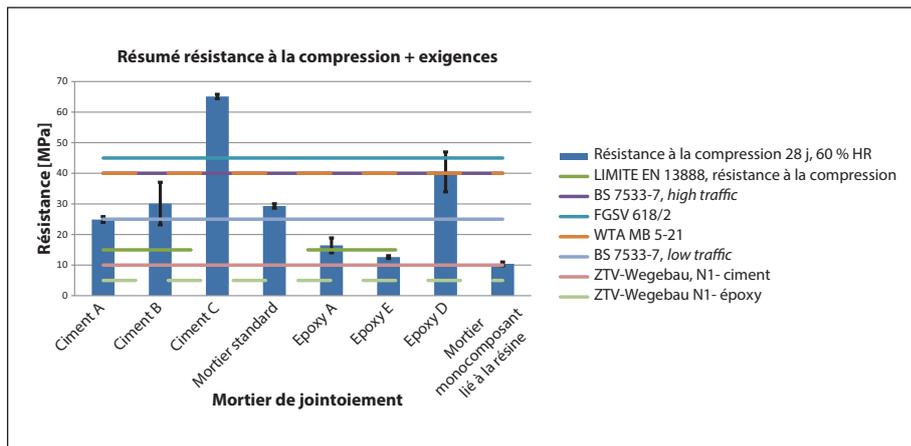


Figure 37 – Exemple de résumé des résultats d'essai pour les propriétés mécaniques et fonctionnelles de mortiers de jointoiment liés au ciment et à la résine et comparaison aux exigences existantes (mortier standard = mortier de ciment confectionné selon la NBN EN 196-1)

Les méthodes d'essai indiquées pour la détermination tant des propriétés physiques, mécaniques et de durabilité que des propriétés plus fonctionnelles (adhérence et perméabilité) des matériaux liés sont résumées au tableau 8.

Caractéristiques des mortiers de jointoiement liés		
Caractéristique	Méthode d'essai	Remarques
Résistance à la compression	NBN EN 12808-3	Conservation à 20 °C et 60 % HR
Résistance à la flexion	NBN EN 12808-3	Conservation à 20 °C et 60 % HR
Retrait	NBN EN 12808-4	Conservation à 20 °C et 60 % HR <i>Lié au ciment: 1 x 4 x 16 cm</i> <i>Lié à la résine: 4 x 4 x 16 cm</i>
Résistance à l'abrasion (Capon)	NBN EN 12808-2	Conservation à 20 °C et 60 % HR
Absorption d'eau	NBN EN 12808-5	<i>Uniquement pour lié au ciment</i> Conservation à 20 °C et 60 % HR
Résistance gel-dégel avec sels de déverglaçage (écaillage)	<i>Slab test</i> adapté selon CEN/TS 12390-9	<i>Uniquement pour lié au ciment</i> 4 éprouvettes Ø 50 mm, hauteur 50 mm Conservation à 20 °C et 60 % HR
Adhérence Exigence pour la combinaison «mortier de jointoiement-pavé»	NBN EN 1542	Pavé humide Conservation à 20 °C et 60 % HR > 0,5 MPa: 0,05 MPa/s < 0,5 MPa: 0,025 MPa/s Utilisation d'anneau conique conformément à la NBN EN 1015-12 si nécessaire en cas d'adhérence plus faible Au moins 5 essais d'adhérence
Perméabilité	SB 250 (version 3.1a), Chap. 14-4.9	<i>Uniquement pour lié à la résine</i> Conservation à 20 °C et 60 % HR Résultat moyen après au moins 2 h d'écoulement

Tableau 8 – Méthodes d'essai pour les propriétés mécaniques et fonctionnelles des mortiers de jointoiement liés en laboratoire

En ce qui concerne l'absorption d'eau et la résistance au gel-dégel en présence de sels de déverglaçage des matériaux liés au ciment, il y a un choix à faire. Pour des tests initiaux, les deux peuvent être testés, mais ultérieurement, il suffit en principe de contrôler uniquement l'absorption d'eau, vu le lien entre les deux (figure 12, p. 22).

Enfin, pour les propriétés testées avec ces méthodes et les résultats correspondants sur chantier, nos **recommandations au niveau belge sont résumées dans le tableau 9, sous la forme d'exigences à prescrire pour les mortiers de jointoiement liés en fonction de la charge de trafic.**

Exigence	Catégorie de trafic			
	I	II	III	IV
Résistance à la compression après 28 j [MPa]	≥ 30	≥ 20		≥ 10
Résistance à la flexion après 28 j [MPa]	≥ 6	≥ 3,5		≥ 2,5
Retrait après 28 j [mm/m]	≤ 1,0	≤ 1,5		≤ 3,0
Abrasion Capon [mm ³]	≤ 175	≤ 175		≤ 250
Absorption d'eau [g]	30 min	≤ 2	≤ 2	≤ 5
	240 min	≤ 5	≤ 5	≤ 10
Ecaillage moyen [kg/m ²] <i>Slab test</i>	≤ 3	≤ 4,5		-
Adhérence [MPa] Exigence pour la combinaison «mortier de jointoiement-pavé»	≥ 1,0	≥ 0,5		-
Résultats indicatifs sur le chantier	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance à la compression, à la flexion et adhérence > 80 % de la valeur de laboratoire - Retrait < 1,25 x valeur de laboratoire - Absorption d'eau < 5 g (30 min) et < 10 g (240 min) pour catégorie I à III 			

Tableau 9 – Recommandations pour les exigences aux mortiers de jointoiement liés en fonction de la charge de trafic escomptée selon le tableau 7 (p. 50)

Dans ce contexte, il est important de tester et/ou de vérifier les propriétés des mortiers de jointoiement utilisés (par exemple, à l'aide des fiches produit) à l'avance (par exemple, dans la phase de conception ou lors de l'étude préliminaire), pour voir si elles satisfont aux exigences. Outre la détermination de ces valeurs, il faut veiller à une bonne ouvrabilité des mortiers, une applicabilité en fonction de la largeur et de la profondeur de joint, une résistance aux machines de balayage et de brossage (érosion), un coefficient de dilatation à la chaleur satisfaisant, etc. car ce sont autant de points qui ne peuvent pas être perdus de vue lors de la mise en œuvre des matériaux de jointoiement.

Enfin, un contrôle sur chantier peut être effectué pour vérifier si le matériau a été appliqué correctement (bonne teneur en eau, bon mélange, bonne adhérence au pavé, etc.). Le tableau 9 reprend quelques valeurs indicatives pouvant être atteintes sur chantier par rapport aux résultats en laboratoire.

Nous espérons que ces directives relatives aux exigences performantielles à atteindre *en laboratoire* par les matériaux de jointoiement destinés aux revêtements modulaires contribueront à la durabilité de ce type de revêtement dans son ensemble.



Bibliographie

- [1] **Centre de recherches routières (2009)**
Code de bonne pratique pour la conception et l'exécution de revêtements en pavés de béton.
 Bruxelles: CRR. (Recommandations, 1376-9340 ; R 80). Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/r8009>, consultation du 03/04/2017.
- [2] **Beeldens, Anne; Boonen, Elia; De Cauwer, Benny; Fagot, Maureen; Reheul, Dirk (2013)**
Code de bonne pratique pour la gestion et la maîtrise des mauvaises herbes sur les revêtements modulaires par voie non chimique.
 Bruxelles: Centre de recherches routières. (Recommandations, 1376-9340 ; R 84). Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/r8412>, consultation du 03/04/2017.
- [3] **Beeldens, Anne; Gendera, Frank; Rens, Luc; Van den Berghe, Thomas, Van den Heyning, Geert; Vijverman, Lieve (2008)**
Revêtements drainants en pavés de béton.
 Bruxelles: Centre de recherches routières. (Dossier ; 5). Disponible en ligne http://www.brrc.be/fr/article/dossier05_fr, consultation du 03/04/2017.
- [4] **Boonen, Elia; Lybaert, Marijn; Beeldens, Anne (2014)**
Evaluation de sections expérimentales avec des matériaux de jointolement innovants sur le terrain du CRR à Sterrebeek : nouvelle étude prénormative sur les exigences performantielles (PREVOSTRAT).
 In: Bulletin CRR, (101), pp. 5-9. Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/bul101>, consultation du 30/03/2017.
- [5] **Boonen, Elia; Lybaert, Marijn; Beeldens, Anne (2015)**
Etude prénormative sur les exigences performantielles pour des matériaux de jointolement innovants dans des revêtements modulaires (PREVOSTRAT) : état des lieux après un an de recherche.
 In: Bulletin CRR, (105), pp. 16-17. Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/bul105>, consultation du 14/04/2017.
- [6] **Evans, Kerry; Burton, David (2012)**
Improved Binder Blends.
 Applied for by Tuffbau Limited. Patent no. WO2012114129 A1. Disponible en ligne <http://www.google.com/patents/WO2012114129A1>, consultation du 30/03/2017.
- [7] **Vandewalle, Lucie; Beeldens, Anne; Pierre, Christian; Germain, Olivier, De Myttenaere, Olivier (2009)**
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: Association Belge de la Route (Ed.): 21e congrès belge de la route, Gand, septembre 22-25. Bruxelles: ABR. Disponible en ligne <http://www.abr-bwv.be/sites/default/files/II.17.pdf>, consultation du 30/03/2017.
- [8] **Schaeffer, Vernon R.; Kevern, John T.; Wang, Kejin (2011)**
An integrated study of pervious concrete mixture design for wearing course applications.
 Washington: National Concrete Pavement Technology Center; Federal Highway Administration, US Department of Transportation. Disponible en ligne <http://www.rmc-foundation.org/images/PvC%20Wearing%20Course%20Apps%20Final%20Report%2010-11.pdf>, consultation du 03/04/2017.

- [9] **Destrée, Alexandra; Piérard, Nathalie; Vanelstraete, Ann (2015)**
Development of a test method to determine the colour durability of coloured bituminous mixtures.
In: Road Materials and Pavement Design 16 (S1), pp. 170-86. Disponible en ligne <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14680629.2015.1029670>, consultation du 03/04/2017.
- [10] **Bissonnette, Benoît; Courard, Luc; Fowler, David W.; Granju, Jean-Louis (Eds.) (2011)**
Bonded cement-based material overlays for the repair, the lining or the strengthening of slabs or pavements.
Dordrecht: Springer. (RILEM State art reports ; 3). Disponible en ligne <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-1239-3>, consultation du 03/04/2017.
- [11] **Centre de recherches routières (1968)**
Mode opératoire pour la mesure en laboratoire du coefficient de perméabilité des sables à saturation complète.
Bruxelles: CRR. (Méthode de mesure ; MF 31). Disponible en ligne <http://www.brrc.be/fr/article/mf3168>, consultation du 30/03/2017.

Normes – Directives techniques

Association française de normalisation (2007)

Chaussées urbaines : mise en œuvre des pavés et dalles en béton, des pavés en terre cuite et des pavés et dalles en pierre naturelle.

La Plaine Saint-Denis: AFNOR. NF P98-335.

British Standards Institution (2010)

Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers. Part 7, code of practice for the construction of pavements of natural stone paving units and cobbles, and rigid construction with concrete block paving.

Londres: BSI. BS 7533:7.

British Standards Institution (2010)

Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers. Part 10, guide for the structural design of trafficked pavements constructed of natural stone setts and bound construction with concrete paving blocks.

Londres: BSI. BS 7533:10.

Bureau de Normalisation (2016)

Méthodes d'essais des ciments. Partie 1, détermination des résistances mécaniques.

Bruxelles: NBN. NBN EN 196-1.

Bureau de Normalisation (2016)

Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie. Partie 12, détermination de l'adhérence des mortiers d'enduit durcis appliqués sur supports.

Bruxelles: NBN. NBN EN 1015-12.

Bureau de Normalisation (2011)

Mortiers de joints pour carrelages. Partie 4, détermination du retrait.

Bruxelles: NBN. NBN EN 12808-4 (2009/AC:2011).

Bureau de Normalisation (2009)

Essai pour béton durci. Partie 7, masse volumique du béton durci.

Bruxelles: NBN. NBN EN 12390-7.

Bureau de Normalisation (2009)

Mortiers de joints pour carrelages. Partie 2, détermination de la résistance à l'abrasion.

Bruxelles: NBN. NBN EN 12808-2.

Bureau de Normalisation (2009)

Mortiers de joints pour carrelage. Partie 3, détermination de la résistance à la flexion et à la compression.

Bruxelles: NBN. NBN EN 12808-3.

Bureau de Normalisation (2009)

Mortiers de joints pour carrelage. Partie 5, détermination de l'absorption d'eau.

Bruxelles: NBN. NBN EN 12808-5.

Bureau de Normalisation (2009)

Mortiers de jointoiement pour carreaux et dalles céramiques : exigences, évaluation de conformité, classification et désignation.

Bruxelles: NBN. NBN EN 13888.

Bureau de Normalisation (2007)

Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie. Partie 9, détermination de la période d'ouvrabilité et du temps ouvert du mortier frais.

Bruxelles: NBN. NBN EN 1015-9 (1999/A1:2007).

Bureau de Normalisation (2006)

Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton : méthodes d'essai – détermination du module d'élasticité en compression.

Bruxelles: NBN. NBN EN 13412.

Bureau de Normalisation (2006)

Pavés en béton : prescriptions et méthodes d'essai.

Bruxelles: NBN. NBN EN 1338 (2003/AC:2006).

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.

Bureau de Normalisation (2002)

Produits et systèmes de protection et de réparation des structures en béton : méthodes d'essai – temps de raidissement.

Bruxelles: NBN. NBN EN 13294.

Bureau de Normalisation (1999)

Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton : méthodes d'essais – mesurage de l'adhérence par traction directe.

Bruxelles: NBN. NBN EN 1542.

Bureau de Normalisation (1999)

Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton : méthodes d'essais – détermination de la résistance au cisaillement.

Bruxelles: NBN. NBN EN 12615.

Bureau de Normalisation (1998)

Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton : méthodes d'essais – détermination du coefficient de dilatation thermique.

Bruxelles: NBN. NBN EN 1770.

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.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (2013)

Zusätzliche Technischen Vertragsbedingungen für den Bau von Wegen und Plätzen außerhalb von Flächen des Straßenverkehrs.

FLL: Bonn. ZTV-Wegebau.

Forschungsgesellschaft Strasse – Schiene – Verkehr (2009)

Technische Vertragsbedingungen : Pflasterstein- und Plattendecken, Randeinfassungen.

Vienne: FSV. RVS 08.18.01.

Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (2007)

Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbeläge in gebundener Ausführung.

Cologne: FGSV (FGSV Arbeitspapier, 618/2).

Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege (2009)

Gebundene Bauweise : Historisches Pflaster.

Pfaffenhofen: WTA. WTA Merkblatt 5-21. Disponible online <http://wta-international.org/uploads/5-21-09.pdf>, dernière consultation 30/03/2017.

Les membres ressortissants et les membres adhérents reçoivent gratuitement les nouvelles publications CRR. Toutes les publications peuvent être téléchargées gratuitement après enregistrement sur notre site web www.crr.be

Les non-membres peuvent commander une version papier au CRR.

Pour commander cet ouvrage:

publication@brrc.be – Tél.: +32 (0)2 766 03 26

Référence: CR 45 – Prix: 12,00 €

■ Autres publications dans la série «Compte rendu de recherche»

Dans la série «Compte rendu de recherche», apparaissent les publications CRR qui contiennent les résultats pratiques obtenus dans un domaine spécifiques, avec mention des méthodes scientifiques et/ou les études d'information réalisées.

Référence	Titre	Prix
CR 44/07	Comparaison de quatre appareils pour la mesure in situ de la densité des revêtements bitumineux	7,50 €
CR 43/07	Enrobés à module élevé (EME): de la conception à la mise en œuvre	25,00 €
CR 42/06	Evolution de la température d'une couche d'enrobé bitumineux nouvellement posée	16,00 €€
CR 41/05	Chantier pilote en enrobés drainants bicouches	16,00 €€
CR 40/03	Revêtements en enrobé à froid: premières expériences belges	15,00 €€

■ Autres séries CRR

- Recommandations
- Méthode de mesure
- Synthèse



Centre de recherches routières

Votre partenaire pour des routes durables

Etablissement reconnu par application de l'Arrêté-loi du 30 janvier 1947
Boulevard de la Woluwe 42
1200 Bruxelles
Tél. : 02 775 82 20
www.crr.be

Pour les revêtements modulaires, le jointoiment constitue un élément essentiel de la structure de voirie. Pour pouvoir effectivement remplir le rôle de revêtement, les joints doivent toujours être remplis du matériau approprié. Le type de matériau de jointoiment et la durabilité du joint dans son ensemble sont donc aussi de grande importance pour la stabilité du revêtement à long terme.

Cette publication CRR fait le compte rendu du projet biennal de recherche prénormative *PREVOSTRAT* (en entier "*Prestatie-eisen voor innovatieve voegvullingsmaterialen in bestratingen met kleinschalige elementen*"), réalisé par le CRR avec le soutien du SPF Economie et le Bureau de Normalisation (NBN) et en collaboration avec l'*Universiteit Gent* (unité d'enseignement *Plantaar-dige Productie*). L'étude avait pour but d'établir des méthodes d'essai et les exigences performantielles correspondantes pour des matériaux de jointoiment innovants, liés ou non, appliqués dans les revêtements routiers modulaires (en béton, terre cuite ou pierre naturelle).

Parallèlement aux conclusions principales et résultats de l'étude, ce compte rendu de recherche propose également des directives et des recommandations pour des exigences relatives aux matériaux de jointoiment dans les normes européennes et/ou cahiers des charges types belges.

Mots-clef ITRD

0177 – Recommandation ; 0187 – Norme ; 2998 – Joint ; 4769 – Mortier ; 5910 – Durabilité ; 5925 – Caractéristiques ; 6288 – Méthode d'essai ; 8559 – Rapport de recherche