

Le béton : outil de perméabilisation des surfaces urbaines ?

Luc Rens, Ingénieur conseil infrastructure – FEBELCEM
Nathalie Balfroid, Ingénieur conseil infrastructure - FEBELCEM



Contenu de l'exposé

- Le défi
 - Constats
 - Comment lutter contre l'imperméabilisation des sols?
 - Les techniques
- La solution des revêtements drainants
 - Le principe
 - Les avantages
 - Solutions en béton préfabriqué
 - Les classiques
 - Les nouveaux produits
 - Solution en béton coulé en place
 - Les applications et caractéristiques
 - Expériences en Belgique et en Europe
- Les questions
- Conclusions

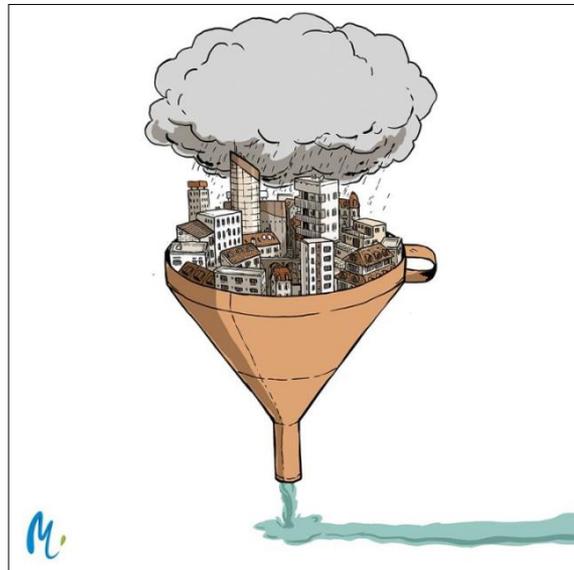
Le défi

- Constats
 - Démographie en augmentation
 - Extension urbaine
 - Imperméabilisation croissante
 - Dérèglement climatique
 - Une problématique qui n'est pas nouvelle mais qui s'aggrave
 - Phénomènes pluvieux plus fréquents
 - Inondations
- ↓
- Dégradation des biens
 - Mise en danger des personnes
 - Pollution
 - ...



Le défi

- Pourquoi l'imperméabilisation des sols est une problématique environnementale préoccupante ?
 - Fonction naturelle du sol : filtration des pluies à la source.
 - Flux artificiels plus ou moins bien dimensionnés



Le défi

- Comment lutter contre l'imperméabilisation des sols?

RESTER LE PLUS PROCHE DU CYCLE NATUREL DE L'EAU

- Infiltration de l'eau pluviale au plus près de son point de chute, si la nappe et le sol le permettent
- Sinon, tamponnement des eaux de pluie et rejet à faible débit vers le milieu naturel

Le défi

- La boîte à outils des techniques
 - La tranchée drainante
 - Le puits d'infiltration
 - Les structures réservoir (p.e. tuyaux surdimensionnés en béton)
 - Les revêtements perméables
 - La toiture verte
 - L'espace vert inondable
 - Le bassin
 - La récupération/utilisation des eaux pluviales



Des toitures vertes,
belles et durables
grâce au béton

www.infobeton.be

Le défi

- La boîte à outils des techniques
 - La “perforation”



Herstal – Pôle Marexhe



Charleroi – Quais de Sambre



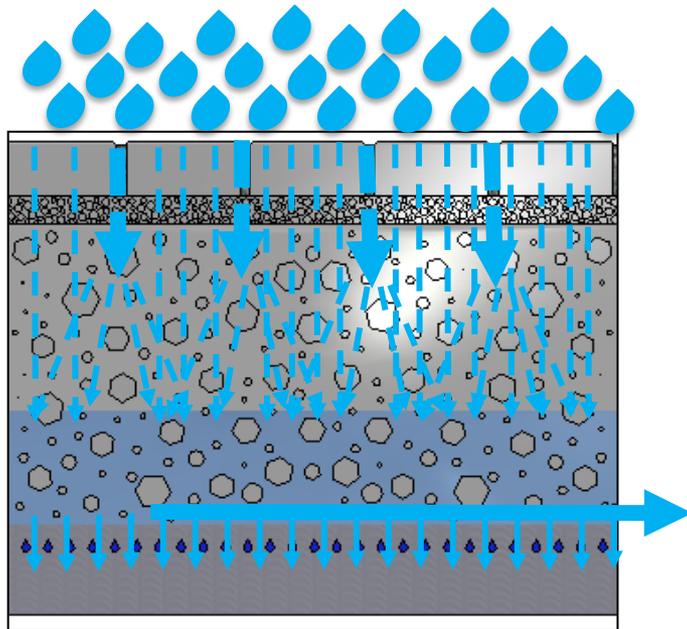
Mechelen - Nekkerspoel



Antwerpen - Cadixplein

La solution des revêtements drainants

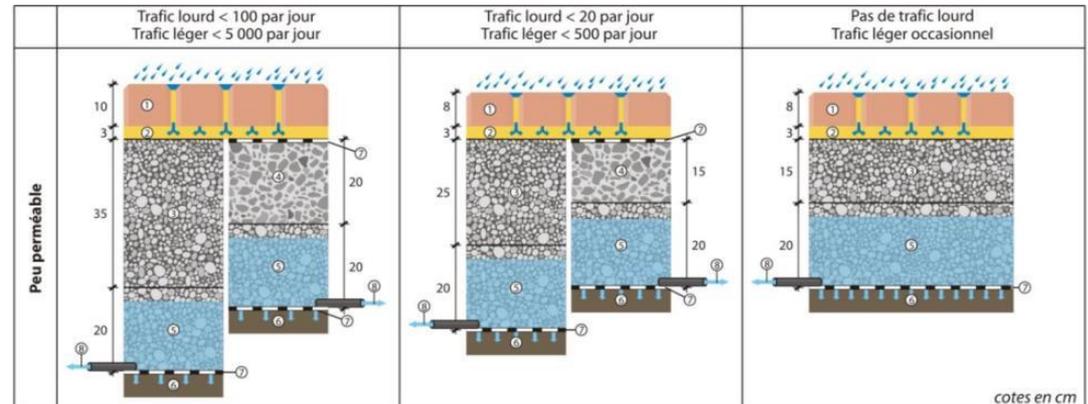
- Le principe général



- **Le revêtement:** carrossable et perméable – l'eau passe directement dans la fondation
- **La fondation:** portance suffisante – perméable – l'eau passe au maximum dans la sous-fondation
- **La sous-fondation:** fonction de stockage d'eau – perméable
- **Le sol:**
 - Si perméable => système d'infiltration => pas besoin d'un drainage latéral
 - Si non-perméable ($<10^{-6}$ m/s) => système tampon => drainage latéral en bas de la structure

La solution des revêtements drainants

- Résistant au trafic pendant la durée de vie prévue
 - Type de trafic
 - Nombre de passages



La solution des revêtements drainants

- Le principe général
 - Infiltration dans les zones de sol perméable
 - Stockage et évacuation différée dans les zones de sol imperméable

En fonction du coefficient de perméabilité « k », les sols sont répartis dans les catégories suivantes :

| | |
|--|-----------------------------|
| sols très perméables..... | $> 10^{-4}$ m/s |
| sols à bonne perméabilité | $10^{-4} > k > 10^{-6}$ m/s |
| sols à moyenne voire mauvaise perméabilité | $10^{-6} > k > 10^{-8}$ m/s |
| sols quasiment imperméables..... | $k < 10^{-8}$ m/s |

Selon le type de sol, on peut supposer les coefficients de perméabilité [m/s] suivants :

| | |
|------------------------|--------------------------|
| sable/gravier | $10^{-3} - 10^{-5}$ m/s |
| sable limoneux | $10^{-4} - 10^{-7}$ m/s |
| limon sablonneux | $10^{-5} - 10^{-8}$ m/s |
| limon | $10^{-6} - 10^{-9}$ m/s |
| argile | $10^{-9} - 10^{-11}$ m/s |

La solution des revêtements drainants

- Les méthodes de mesure



Open-end test

Il existe différentes méthodes pour déterminer la perméabilité in situ, comme l'essai « open-end-test ». Dans cette méthode, une colonne d'eau est disposée sur le sol à une hauteur constante de 1 m. Une mesure continue de l'eau ajoutée pendant au moins 20 minutes permet de déterminer la perméabilité du sol.



Méthode du puits

La « méthode du puits » constitue une vérification plus simple, mais moins précise. Un puits de 50 cm x 50 cm est creusé jusqu'à environ 50 cm de profondeur. Une fine couche de gravillons est ensuite disposée dans le fond. 5 l d'eau sont versés et le temps nécessaire pour que cette eau disparaisse dans le sol est mesuré. Cet essai est au moins répété à trois reprises. La perméabilité est ensuite égale à :

$$\text{perméabilité [m/s]} = \text{quantité d'eau [l]} / \text{durée [s]} / \text{surface du puits [m}^2\text{]} / 1000$$

La solution des revêtements drainants

- Les avantages

- Pas besoin d'avaloirs mais prévoir une sécurité par la présence de zones vertes aux points bas
- Pas besoin de pente (0,5% est désirable – max. 5% pour la pente longitudinale)
- Pas besoin de stockage d'eau complémentaire (le flux limité d'évacuation détermine la durée de stockage dans la structure)
- Pas d'égouttage pour eaux pluviales
- Soutien de certaines législations environnementales
- Coûts d'investissement avantageux au niveau du projet global

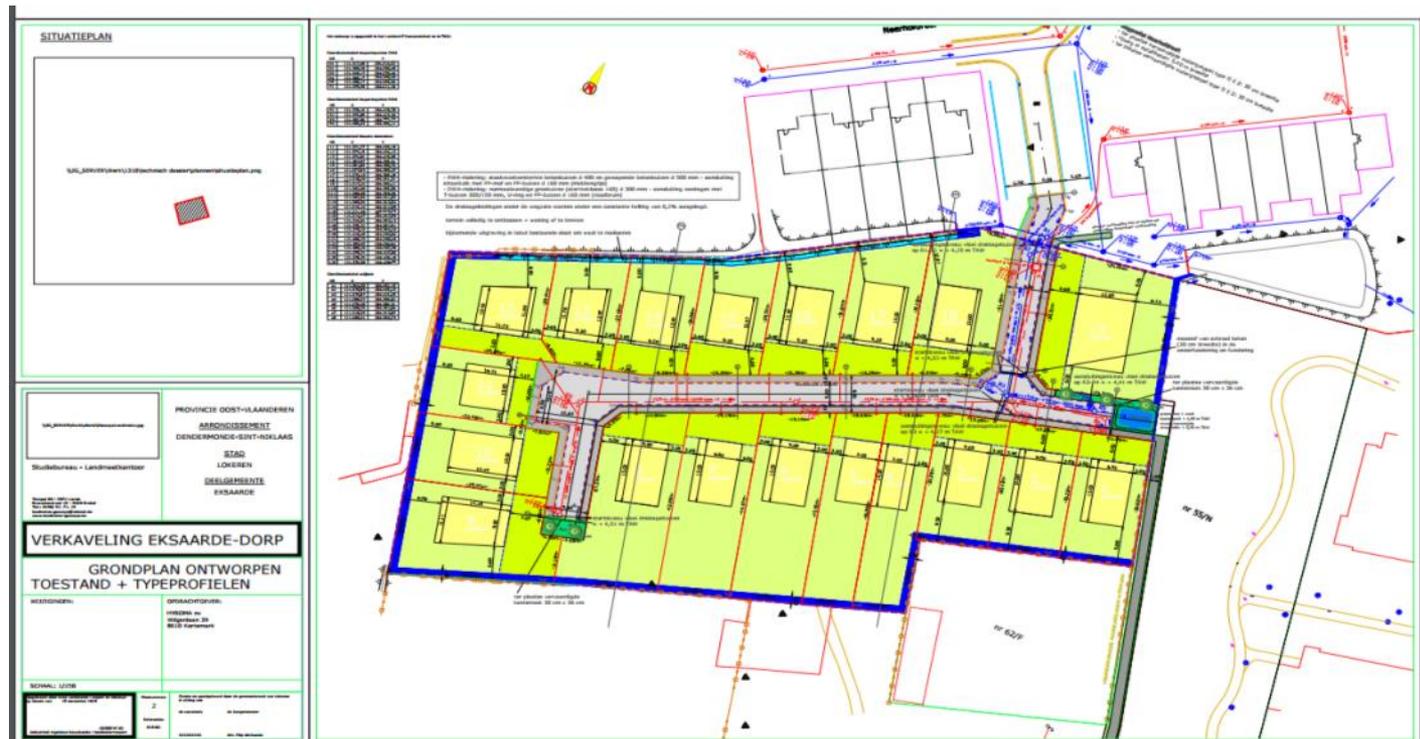
La solution des revêtements drainants

- Les avantages

Exemple de comparaison de coûts :

Le projet "Binnenhof" à Eksaarde

- Quartier résidentiel
- Surface de la voirie : 1400 m²



La solution des revêtements drainants

- Les avantages

Exemple de comparaison de coûts :

Le projet "Binnenhof" à Eksaarde

Comparaison des structures:

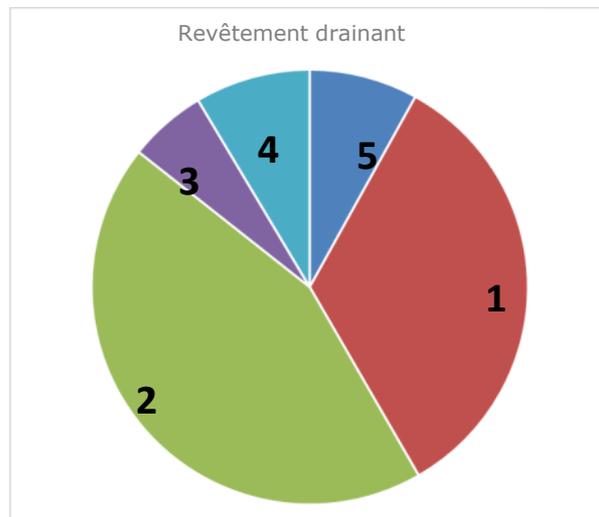
| Structure drainante | | Revêtement bitumineux | |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 10 cm | Pavés en béton à joints élargis | 4 cm | Couche de roulement AB-4C |
| 3 cm | Couche de pose | 8 cm | Couche de base APO-A |
| 20 cm | Béton maigre drainant | 9 cm | Empierrement type IIA |
| 37 cm | Sous-fondation armée d'une géogrille | 20 cm | Empierrement type IA |
| | Géotextile drainant | 24 cm | Sous-fondation |
| | | | Géotextile drainant |
| 70 cm | Epaisseur totale | 65 cm | Epaisseur totale |

La solution des revêtements drainants

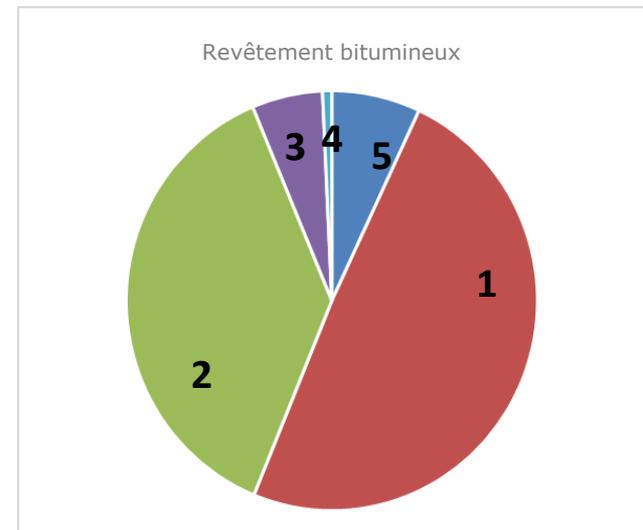
- Les avantages

- Comparaison des coûts:

- 1. Egouttage – évacuation des eaux pluviales
 - 2. Structure de la voirie (terrassements, sous-fondation, fondation, revêtement)
 - 3. Éléments linéaires
 - 4. Travaux d'entretien (nettoyage en phase de construction)
 - 5. Généralités, signalisation,...



€ 243.000



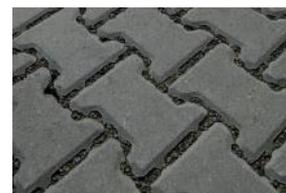
€ 280.000

Les solutions en béton préfabriqué



Les pavages drainants en béton préfabriqué

- Les solutions classiques
 - Pavés en béton à joints élargis
 - Pavés en béton avec ouvertures de drainage
 - Pavés en béton poreux
 - Dalles-gazon en béton



Les pavages drainants en béton préfabriqué

- Les prescriptions techniques
 - CCT Qualiroutes
 - G. 4.5. REVÊTEMENTS DRAINANTS EN PAVES DE BETON
 - C. 3.4.7.4. COUCHE DE POSE POUR PAVAGES DRAINANTS
 - C. 3.4.7.5. SABLE POUR JOINTOIEMENT DES PAVAGES DRAINANTS
 - C. 29.8. PAVES EN BETON POUR REVETEMENTS DE SOL PERMEABLES A L'EAU
 - F. 4.2.1.4. EMPIERREMENTS DE TYPE IV POUR PAVAGES DRAINANTS
 - Portance :110 Mpa (coefficient de compressibilité par l'essai à la plaque)
 - En pratique, une portance de 80 MPa est suffisante.
 - F. 4.6. FONDATION EN BETON MAIGRE POREUX

PTV-121
DALLES-GAZON EN
BETON



BENOR

PTV-122
DALLES ET PAVES
EN BETON
PERMEABLES A
L'EAU



TROUW AAN KWALITEIT
LA QUALITÉ EN CONFIANCE

09/2017



PTV-126
PRODUITS EN BETON
POUR PAVAGES
DRAINANTS



Les pavages drainants en béton préfabriqué

- Les domaines d'application

| Type de trafic | | | |
|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 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 |
| II | Illimité | Limité à 5 000 par jour | Limité à 100 par jour |
| III | Illimité | Limité à 500 par jour | Limité à 20 par jour |
| IV | Illimité | Occasionnel | Aucun |



Les pavages drainants en béton préfabriqué

- Les domaines d'application
 - Les parkings de voitures



McDonalds Bilzen



Quick Bilzen



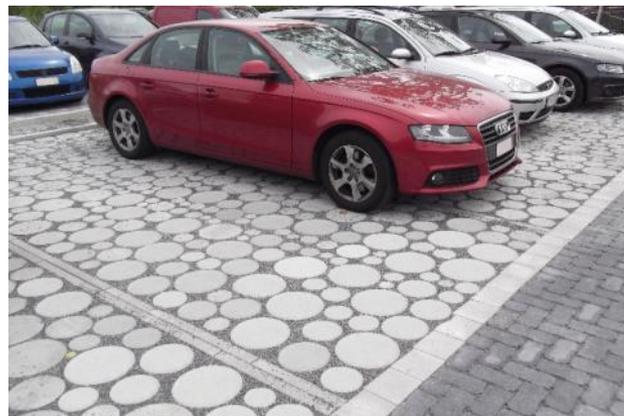
Cimetière de Zutendaal



B-Mine Beringen

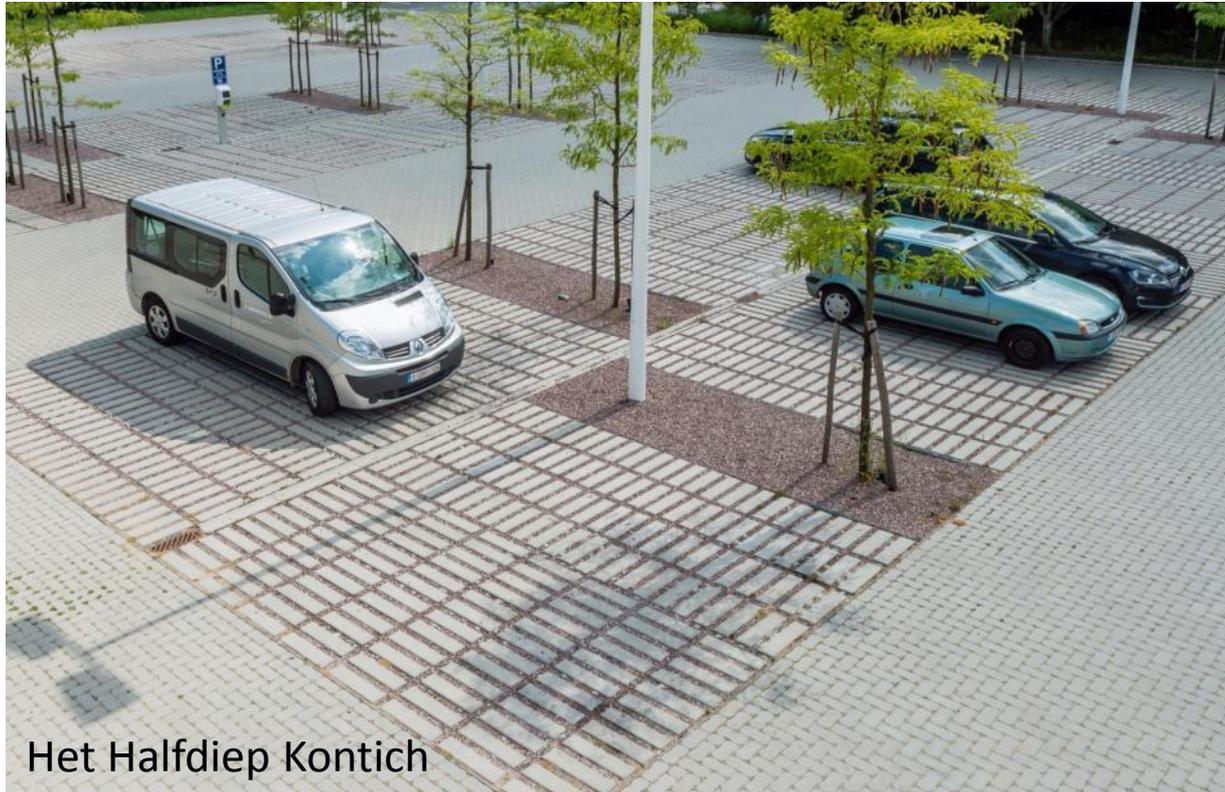
Les pavages drainants en béton préfabriqué

- Les nouveautés
 - Nouvelles conceptions avec des accents de forme, couleur et fonctionnalité



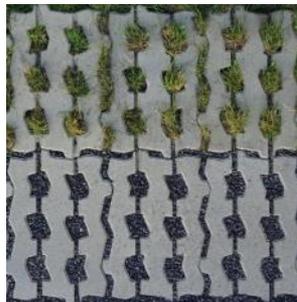
Les pavages drainants en béton préfabriqué

- Les nouveautés
 - Nouvelles conceptions avec des accents de forme, couleur et fonctionnalité



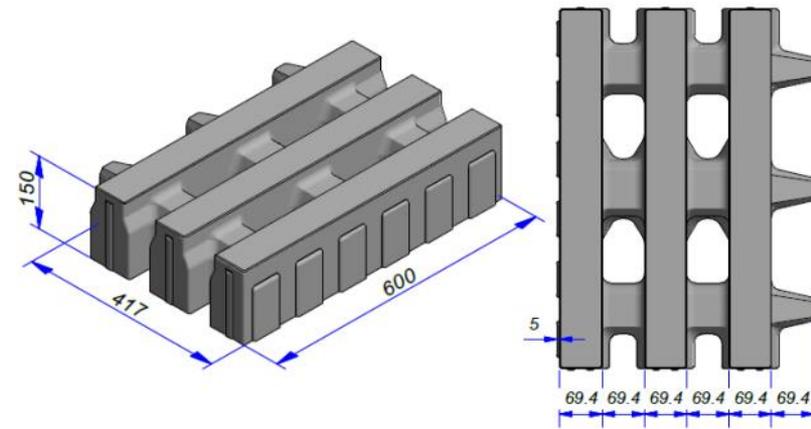
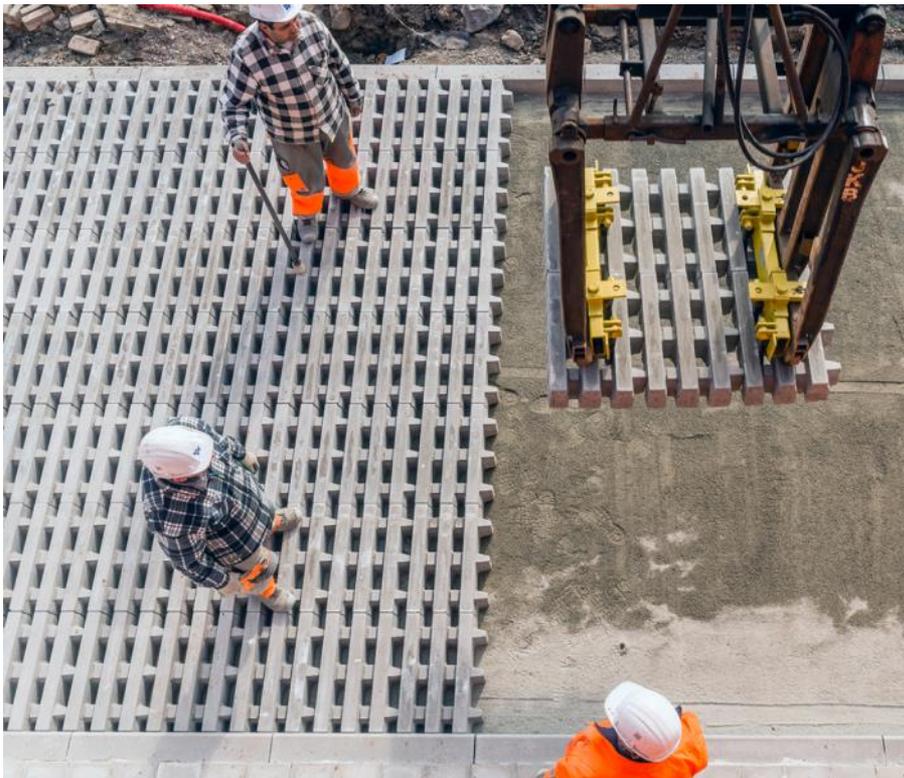
Les pavages drainants en béton préfabriqué

- Les nouveautés
 - Dalles-gazon nouvelle génération



Les pavages drainants en béton préfabriqué

- Les nouveautés
 - Dalles-gazon nouvelle génération



Les pavages drainants en béton préfabriqués

- Les nouveautés
 - Dalles-gazon nouvelle génération



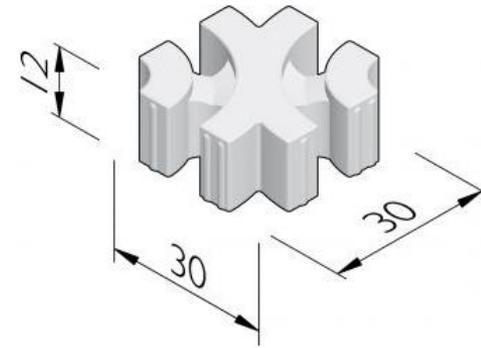
Les pavages drainants en béton préfabriqués

- Les nouveautés
 - Dalles-gazon nouvelle génération



Les pavages drainants en béton préfabriqué

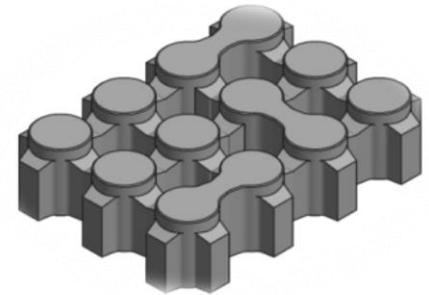
- Les nouveautés
 - Dalles-gazon nouvelle génération



Flanders Bike Valley - Paal

Les pavages drainants en béton préfabriqué

- Les nouveautés
 - Dalles-gazon nouvelle génération



La solution en béton coulé en place



La solution en béton coulé en place

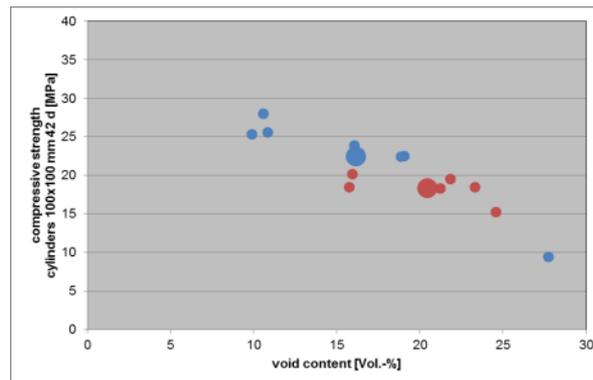
- Le béton drainant

- Applications traditionnelles

- Fondation -> drainage
- Couche de roulement -> drainage et/ou réduction de bruit

- Caractéristiques

- Granulométrie discontinue (absence ou faible quantité de sable)
- 15 à 25% de vides
- Perméabilité de 10^{-4} à 10^{-2} m/s
- Résistance à la compression: 10 à 25 MPa



La solution en béton coulé en place

- Le béton drainant – la mise en oeuvre

Malaxage -
approvisionnement



Moyens de
compactage



Réalisation des
joints



La solution en béton coulé en place

- Le béton drainant – **l'expérience belge**
 - 1996 : sections expérimentales de revêtements peu bruyants
 - Béton drainant dans la couche supérieure d'un revêtement en béton armé continu bicouche
 - Composition sur base de polymères
 - Résistance plus élevée
 - Résistance aux sels de deverglaçage
 - Couvert d'un enrobé après 14 ans (début de perte de granulats en surface)



La solution en béton coulé en place

- Le béton drainant – **l'expérience belge**
 - Utilisation comme couche drainante
 - Bandes longitudinales le long de chaussées en béton armé continu afin d'améliorer l'évacuation d'eau enfermée et d'éviter des punch-outs
 - Béton maigre drainant comme couche de fondation sous des pavages
 - Plutôt exceptionnellement mais intérêt croissant pour couche de roulement (parkings, ...)



La solution en béton coulé en place

- Le béton drainant – **prescription**
 - Béton maigre drainant dans le CCT-Qualiroutes

F. 4.6. FONDATION EN BETON MAIGRE POREUX

F. 4.6.1. DESCRIPTION

Le béton maigre poreux est composé d'un mélange de gravillons, de ciment et d'eau. Il permet l'écoulement de l'eau à travers sa structure vers un système de drainage.

[...]

F. 4.6.2.2.1. COMPOSITION

L'entrepreneur fournit, au moins quinze jours avant le début du bétonnage:

- les fiches techniques des composants (gravillons, ciment, adjuvants éventuels, ...)
- une étude de la composition du béton, certifiée par un laboratoire, reprenant:
 - la composition en masse des gravillons
 - la teneur en ciment et en eau
 - la consistance du béton frais
 - la masse volumique du béton à l'état sec
- l'emplacement de la centrale à béton.

Le choix de la composition est laissé à l'entrepreneur. Néanmoins, celle-ci ne contient pas de sable et la teneur en ciment est d'au moins 200 kg/m³.

A titre indicatif, une composition de béton poreux est la suivante:

- 6,3/20 ou 8/20 mm: 1.130 kg
- 2/6,3 ou 2/8 mm: 565 kg
- ciment: 200 kg minimum
- eau: environ 100 litres.

La solution en béton coulé en place

- Le béton drainant – **prescription**
 - Béton maigre drainant dans le CCT-Qualiroutes

F. 4.6.3. SPECIFICATIONS

F. 4.6.3.1. RESISTANCE A LA COMPRESSION SIMPLE

Les résistances sont mesurées sur carottes de 100 cm² à au moins 90 jours d'âge.

Le prélèvement des carottes a lieu au minimum 8 jours après la pose de la fondation en béton maigre poreux.

Les prescriptions concernent, par fraction de lot (ou section), les résistances individuelles R'_{bi} .

| Caractéristique | Exigence |
|--|----------|
| Résistance minimum $R'_{bi,min}$ (MPa) | 13,0 |

F. 4.6.3.2. POROSITE EFFICACE ET PERMEABILITE

La porosité efficace et la perméabilité sont mesurées sur carottes de 100 cm² extraites de la fondation. Les prescriptions concernent, par lot, la porosité efficace individuelle P_i et la porosité efficace moyenne P_m .

Porosité efficace individuelle minimale $P_{i,min} = 6,5 \%$.

Porosité efficace moyenne minimale $P_{m,min} = 8,0 \%$.

Lorsque les résultats de porosité efficace sont insuffisants, la perméabilité du béton maigre poreux est déterminée. Celle-ci est supérieure à $4 \cdot 10^{-4}$ m/s sur toutes les carottes.

La solution en béton coulé en place

- Le béton drainant:

- **une nouvelle démarche au niveau belge**

- Evolution du béton maigre poreux vers le béton drainant

- Plus résistant (20 à 25 MPa)
 - Durabilité accrue
 - Gel-dégel en présence de sels de deverglaçage
 - Arrachement de granulats en surface
 - Combinaison éventuelle avec des aspects esthétiques

- Par une composition adaptée:

- dosage en ciment ↗
 - e/c ↘
 - Ajout de polymères ou d'adjuvants thixotropes
 - Ajout éventuel de pigments

La solution en béton coulé en place

- Le béton drainant:

- une nouvelle démarche au niveau belge**

- Une recherche appliquée a été initiée par FEBELCEM et sera suivie par ses membres et d'autres partenaires
 - Développer le béton drainant
 - Essais de laboratoire
 - Planches d'essai
 - Etablir des prescriptions techniques pour les CCT's belges

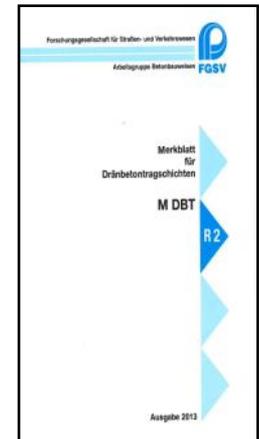


Centre de recherches routières
Votre partenaire pour des routes durables



La solution en béton coulé en place

- Le béton drainant – les expériences européennes
 - Allemagne**
 - Premières planches d'essai (1994-2002) visaient une réduction de bruit de roulement sur autoroutes
 - Récemment: développement d'un béton drainant
 - 2013 : spécifications techniques "M DBT R2"
 - Conception
 - Matériaux
 - Exécution
 - Essais

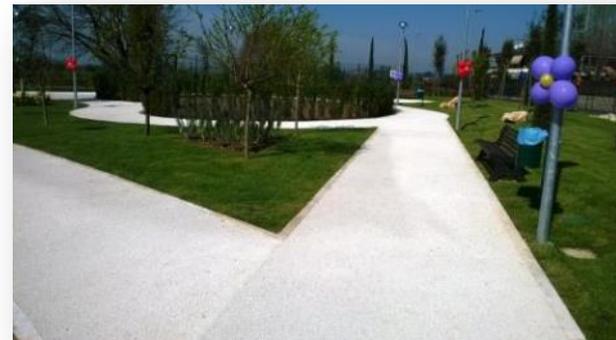


La solution en béton coulé en place

- Le béton drainant – les expériences européennes

Italie

- Diverses applications de béton drainant
 - Parkings, rampe, piste cyclable,...



La solution en béton coulé en place

- Le béton drainant – les expériences européennes
France
 - Marché en plein développement
 - Combinaison avec les techniques des bétons décoratifs
 - Savoir-faire et réseaux d'experts
 - Vrai leader en Europe et même au niveau mondial



Les questions



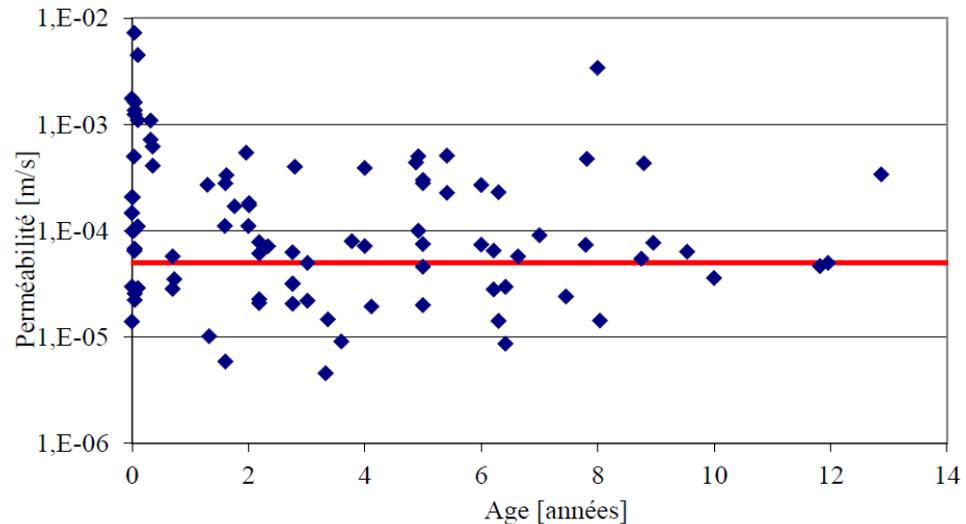
Les questions



Les questions

- S'ils sont prévus dans le domaine d'utilisation adapté, les pavages drainants ont déjà fait preuve de leurs performances en termes de:
 - Drainabilité
 - Durabilité

Evolution de la perméabilité dans le temps



Source : CRR

Conclusions

- Les revêtements drainants contribuent à la lutte contre l'imperméabilisation des sols
- Le béton, aussi bien par des systèmes modulaires préfabriqués que des solutions en béton prêt à l'emploi, est un outil incontournable dans la perméabilisation des surfaces urbaines
- FEBELCEM continue à rechercher, développer et mettre au point des applications innovantes, adaptées aux différentes problématiques:
 - du changement climatique;
 - de la gestion des eaux pluviales;
 - de l'aménagement des espaces publics.

Merci de votre attention!

