



Centre de recherches routières
Ensemble pour des routes durables

J E R I

Les routes en béton : historique, évolutions récentes et perspectives en Belgique

Dr ir Elia Boonen – Centre de recherches routières (Belgique)

Conférence JERI – EPFL, Lausanne

9 novembre 2021

Choix d'un revêtement en béton



- effet albédo: réchauffement de surface ↘
- visibilité ↗
- caractéristiques de surface de qualité (rugosité, bruit, etc.) sur toute la durée de vie;
- rigidité, résistance à la fatigue, résistance à l'usure et à l'orniérage: longue durée de vie
- recyclable à 100 %
- peu d'entretien
- bonnes caractéristiques intrinsèques et de surface conservées sur toute la durée de vie



RAPPEL CONCEPTION

CCT 2015



Définition du réseau/
bouwklasse

Joints transversaux ?

oui

Dalles de béton

non

Béton armé continu



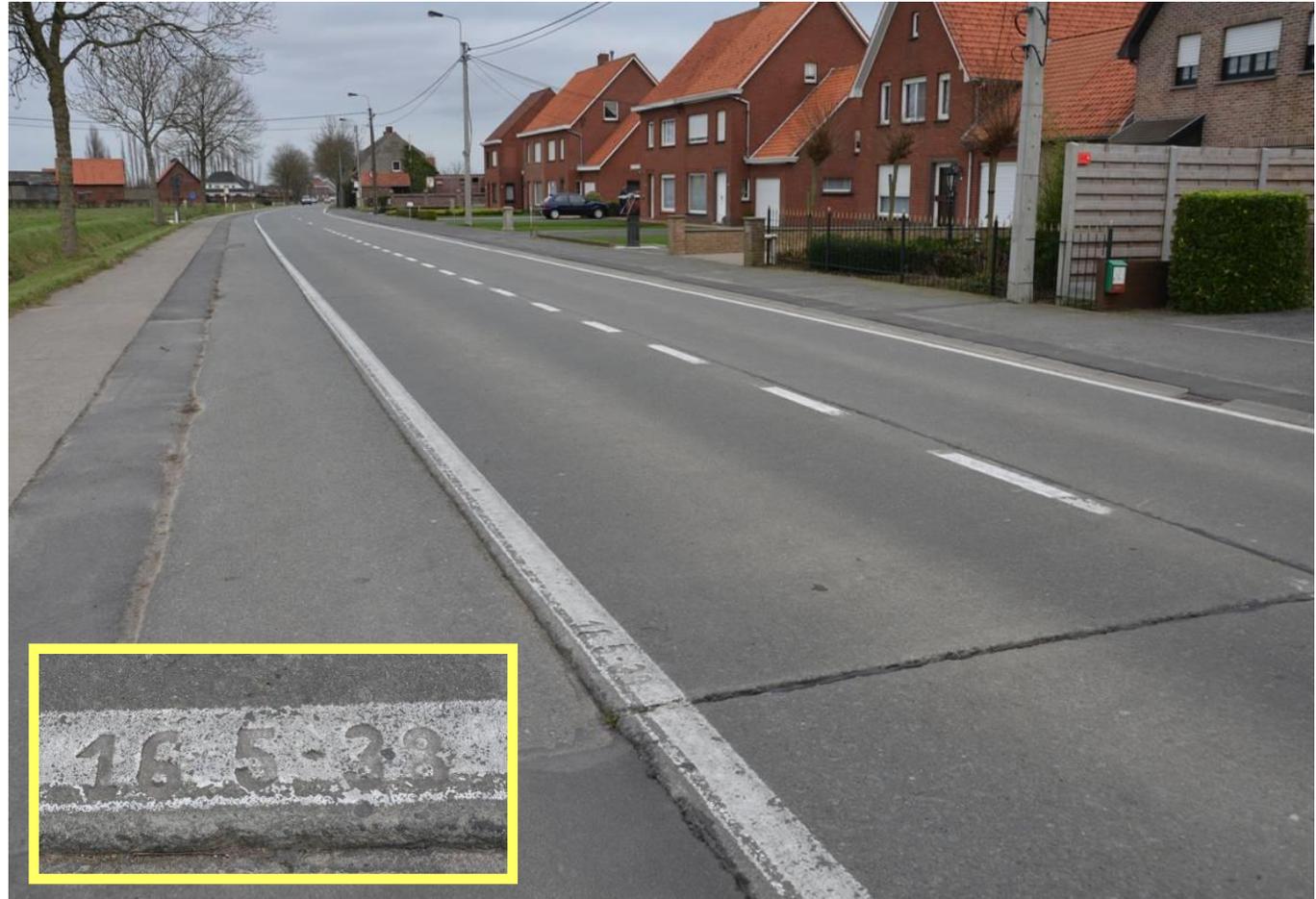
Conception:
Composition du béton – Dimensionnement - Joints

Historique des dalles en béton

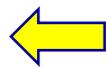
- principe appliqué depuis 125 ans: longévité des revêtements en béton!
- 1891: place du village à Bellefontaine, Ohio, EU: toujours en service (également, premier béton bicouche!);
- premières applications belges début du XXe siècle



Photo prise en 2012!

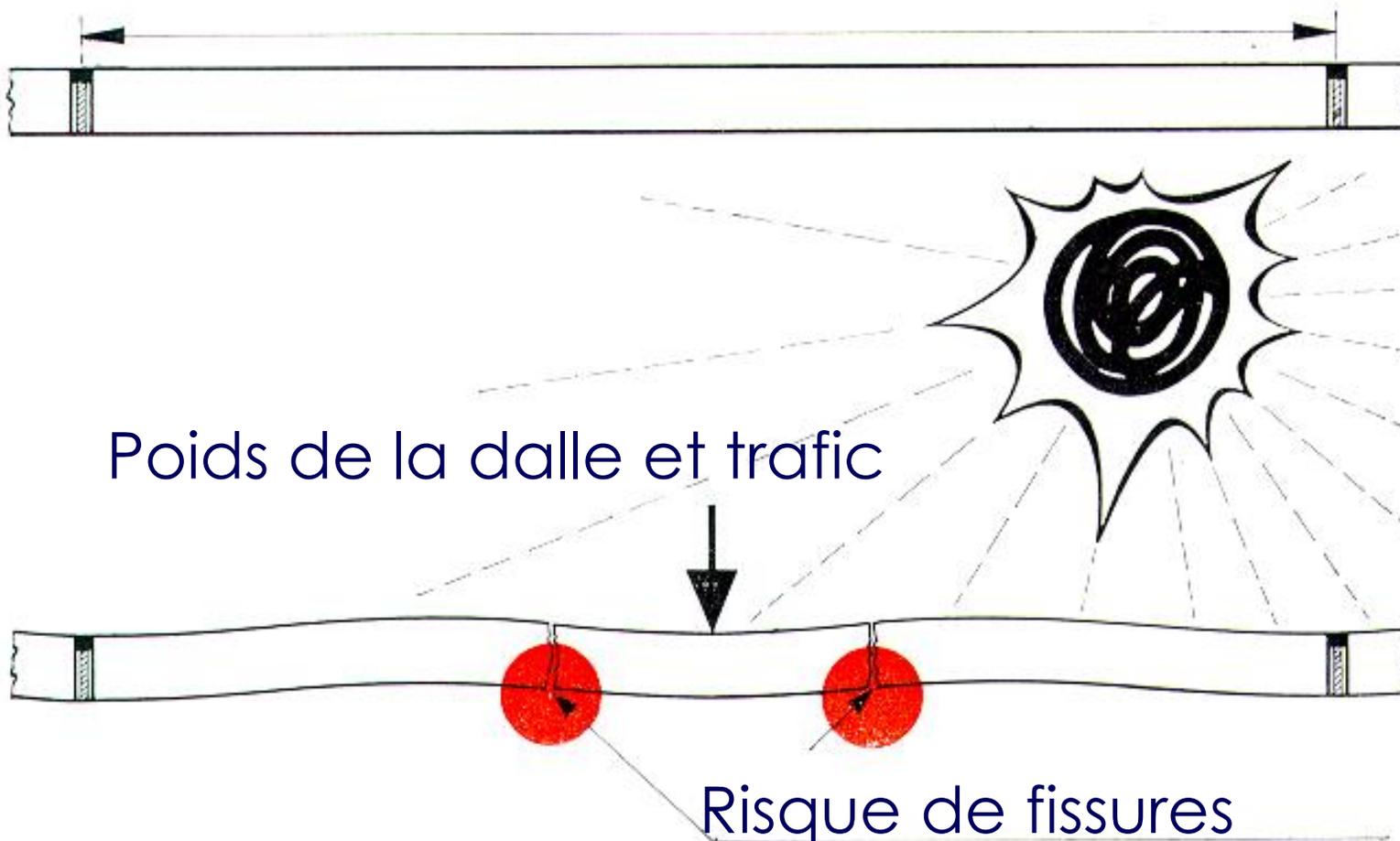


16-5-38

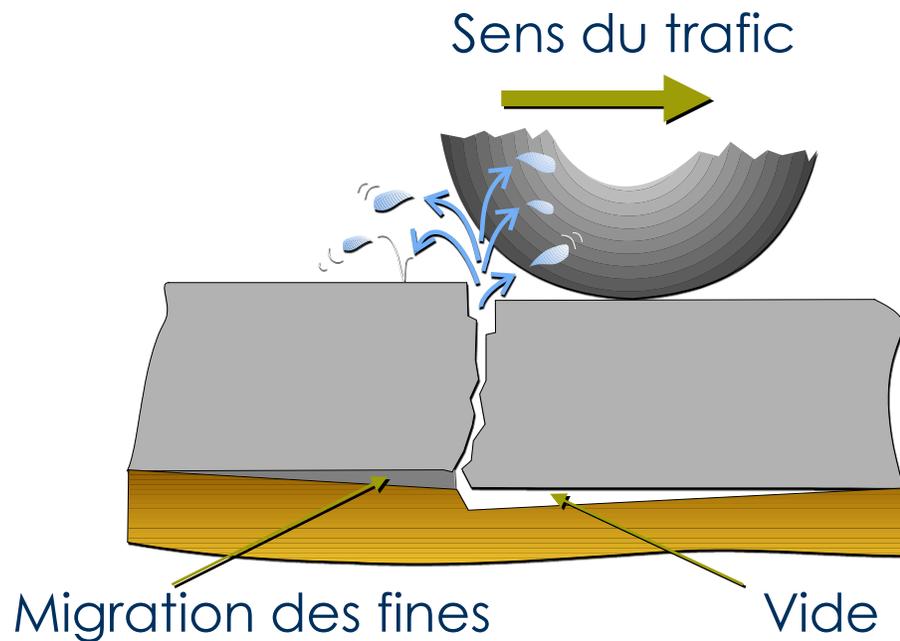


Conception ancienne

Dalles longues 10 à 15 m séparées par joints de dilatation



Effet de pompage au niveau des joints ou des fissures – mise en marche d'escalier



Battement de dalles

Méthode de mesure au CRR: faultimètre

- Objectif
 - Mesure du mouvement des dalles
- Méthode
 - Mesure du mouvement de la dalle lors du passage d'un essieu chargé de 11 t
- Avantage
 - Méthode de mesure réaliste
 - Méthode de mesure relativement rapide

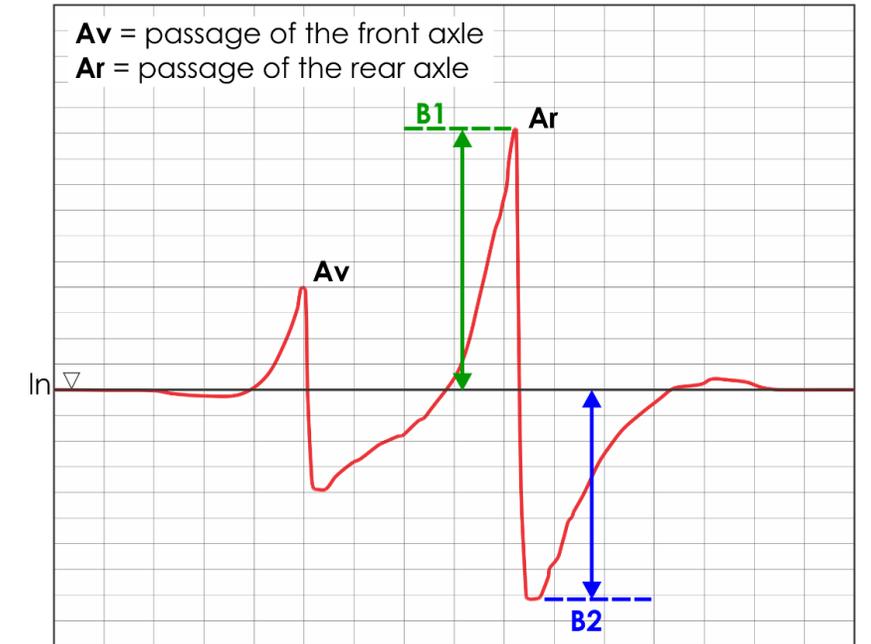


Mouvement des dalles - faultimètre

- Mesure statique, vitesse de la marche
- Pour le mouvement des dalles:
environ 250 joints/jour



Amplitude of relative vertical movement



Time or load displacement

$$B1 + B2 = F \text{ (faultimeter indicator)}$$

B1: mouvement de la dalle avant le point de mesure

B2: mouvement de la dalle après le point de mesure

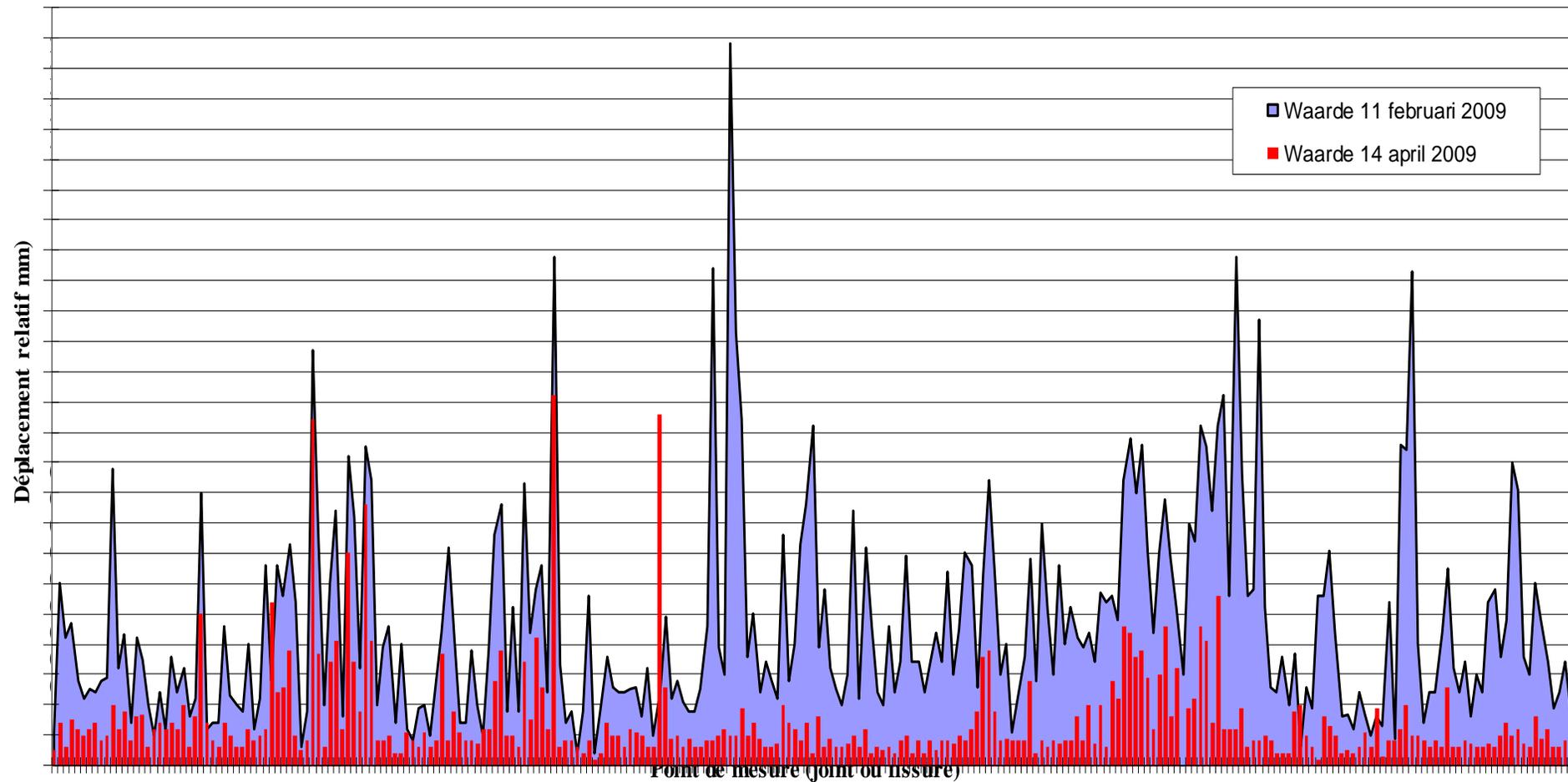
B1+B2: mouvement relatif total

Influence de la température sur le mouvement des dalles

11 février: 5-10 °C

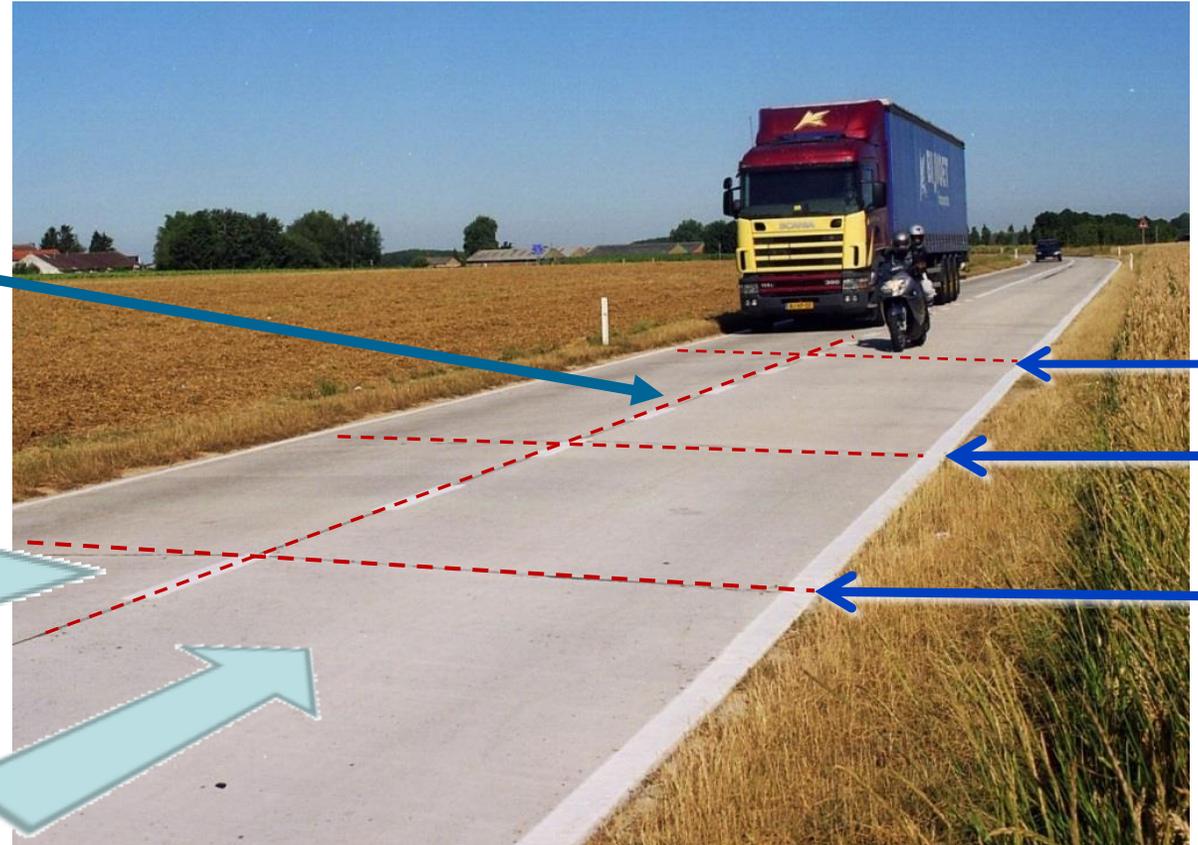
14 avril: 15-25 °C

N9 - Lovendegem, Km 61 + 175, direction Gand, 14/04/2009



Dalles de béton – concept actuel

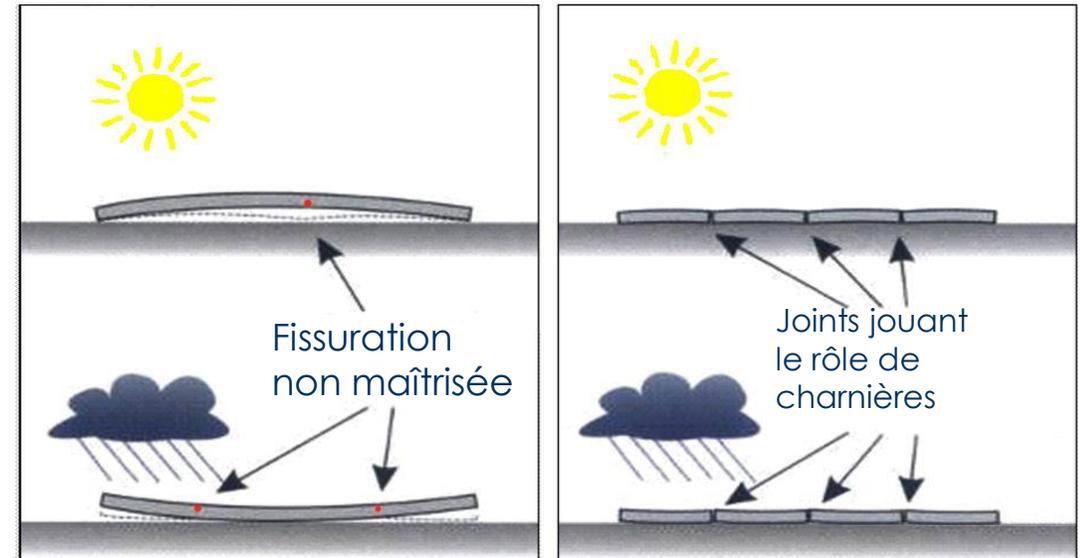
- joint longitudinal de flexion (ou de construction)



- joints transversaux de retrait-flexion (ou joints de construction)

Principes de base

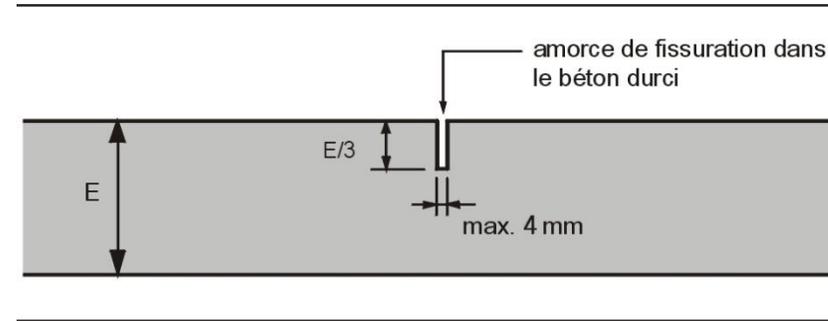
- succession de **dalles courtes**;
- fonction des **joints** :
 - ✓ **charnières** (mouvements dus au gradient de température: “*curling-warping*”)
 - ✓ reprennent le **retrait hydraulique**
 - ✓ amorces de fissuration



Dimension et épaisseur des dalles

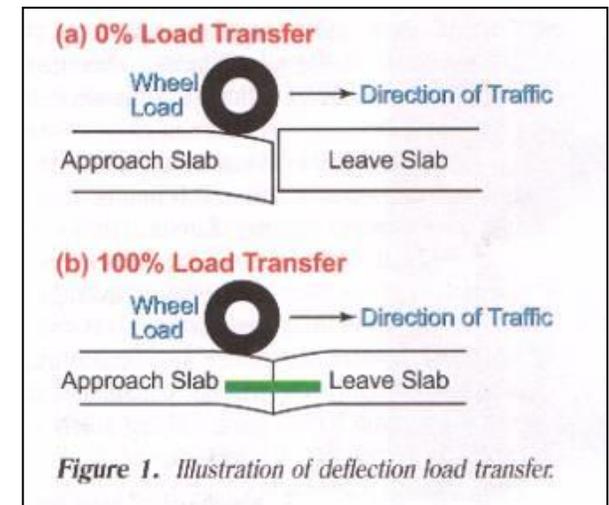
- $L \leq 5 \text{ m}$
- $L \leq 25 \times \text{épaisseur en mm}$
- $L/\text{largeur} \leq 1,5$

Epaisseur (cm)	Distance entre joints (m)
12	3,0
14	3,5
16	4,0
18	4,5
20	5,0



Efficacité du transfert des charges?

- dalles **courtes**, en contact les unes avec les autres;
- emboîtement des granulats dans le béton (“aggregate interlock”);
- **Goujons**: entrave des mouvements verticaux, transfert des charges entre les dalles; l’efficacité de transfert de charges passe de 35 à 80 %.



Revêtements en béton armé continu = BAC

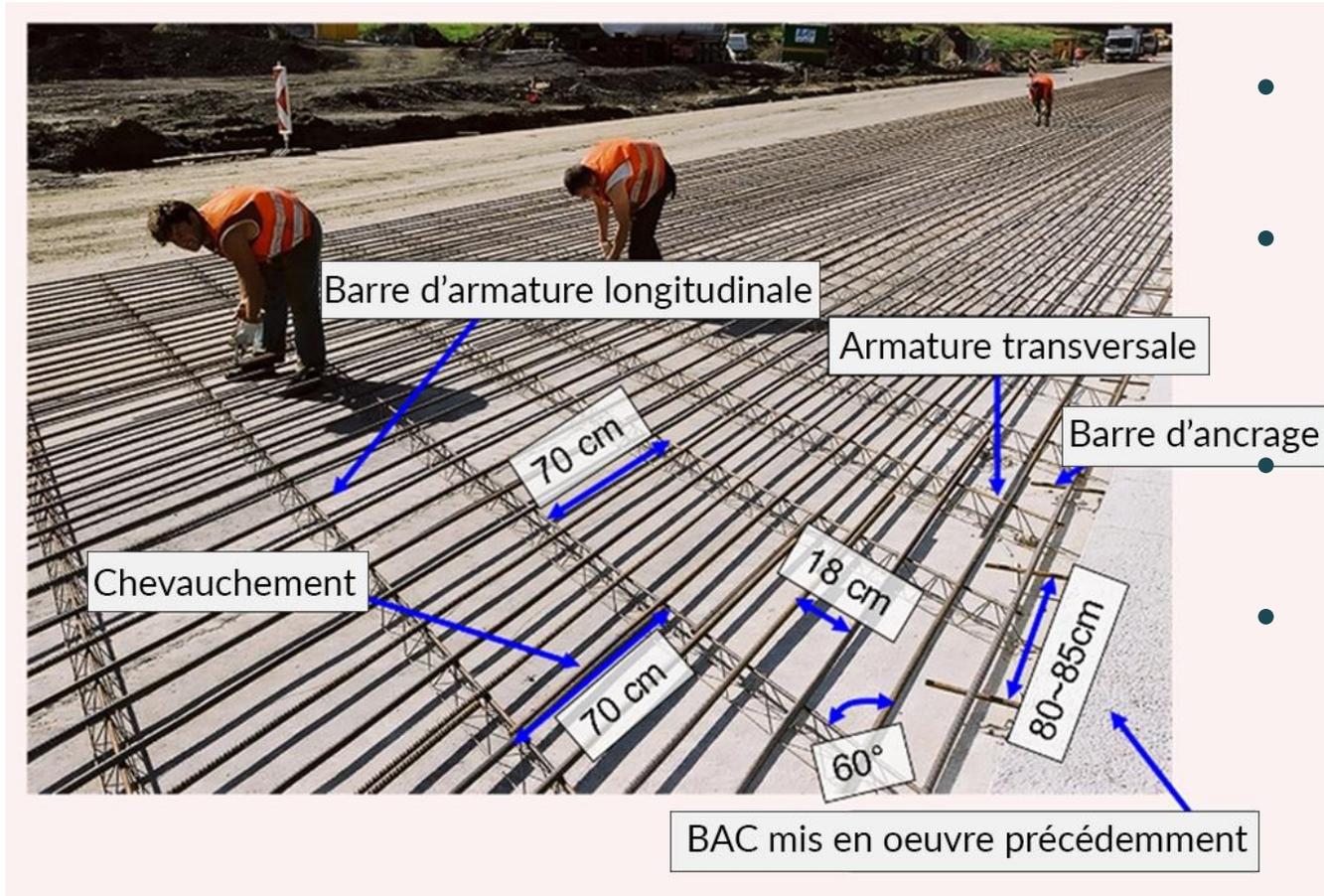
- BAC – premières expériences...
 - 1950: première réalisation belge RN 8 (Leuze-en-Hainaut)
Armature longitudinale: 0,3 à 0,5 %
 - 1970: la Belgique utilise du BAC pour la construction de son réseau autoroutier



La fissuration d'un revêtement en BAC est normale!

- Pas de joints de retrait transversaux, mouvement de retrait réparti sur une série de fines fissures
- **Avantage**: réduire au maximum les problèmes que peuvent susciter les joints transversaux (entretien etc.)
- Présence d'**éventuels** joints de construction transversaux
- Présence de joints longitudinaux (largeur maximale des bandes = 4,50 m)
- Revêtements pourvus d'une **armature longitudinale** dont la section est calculée:
 - pour maîtriser la fissuration $< 0,5$ mm
 - pour répartir les fissures de façon homogène avec une entredistance de 0,8 à 1,5 m

BAC – Concept actuel en Belgique (2011-...)



- **0,70-0,75 %** armature longitudinale
- Distance interfissure acceptable: entre 0,6 et 2,4 m (0,8-1,5 idéal)
- **Couche de liaison** en asphalte
- Evt. Joints de construction transversaux

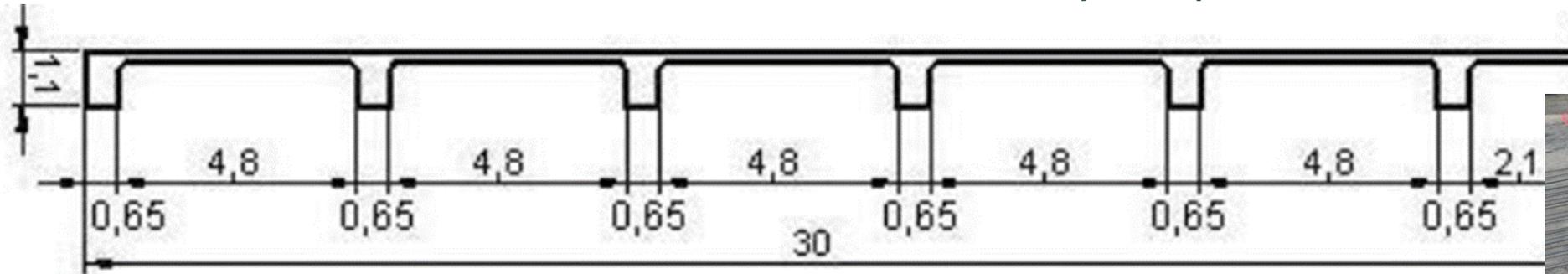


Revêtements en BAC

- Epaisseur minimum en Wallonie:
 - Réseau I: 230mm
 - Réseau II: 200mm
 - (Réseau III: 180 mm)



- Mouvements de dilatations repris par des culées d'ancrage:



BAC - Contrôle de la distance interfissure (2013 -...)

Maîtriser la fissuration

- Le pourcentage d'armature influence la propagation des fissures et la distance interfissure
- **Méthode plus récente: amorce de fissuration active**
Cf. SB 250, Ch. 6-1.3.3.10 - CCT Qualiroutes, Chap. G.1.2.7.1.4
 - Longueur: 40 cm
 - Interdistance: 1,20 m
 - Profondeur: 4 cm
 - Sciage: dès que possible, toujours dans les 24 h après le bétonnage

Appliqué sur E313, E17, A8, E420, A7, etc.

Centre de recherches routières



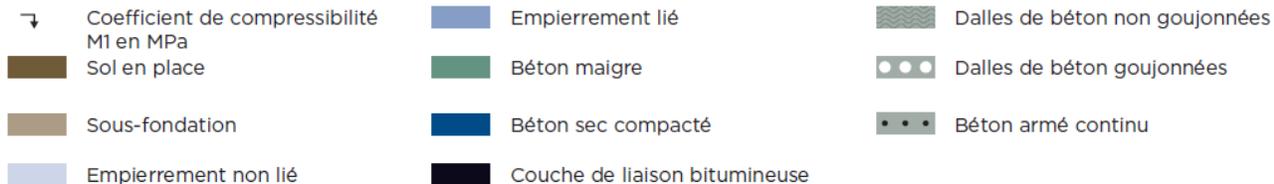
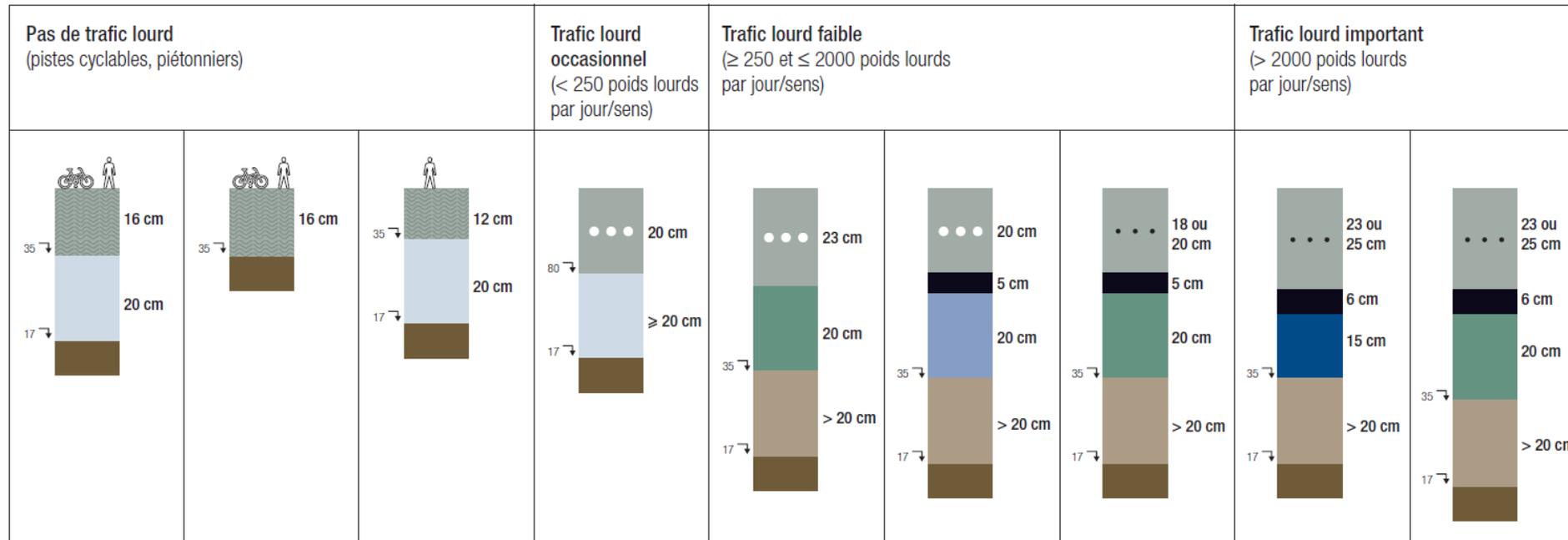
Revêtements en béton – finition de surface

- Déterminé par confort de roulement, bruit, aspects esthétiques,...
- Brossage
- Dénudage chimique
- Impression
- Combiné ou non avec coloration



Revêtements en béton: dimensionnement

■ Structures-type en fonction du *classe de trafic*



@ Febelcem

Classification des routes selon le CCT Qualiroutes

- Réseau I
Ce réseau comprend les routes du RGG⁽¹⁾.
Le réseau I est subdivisé en deux sous-réseaux:
 - le réseau Ia où le trafic lourd est supérieur à 6 000 poids lourds par jour et par sens de circulation (Sont concernés : A3 entre Loncin et Cheratte, A7 entre Haut-Ittre et Arquennes, A7 entre Houdeng-Goegnies et Hautrage, A15 entre Loncin et Grâce-Hollogne, A15 entre Daussoix et Houdeng-Goegnies)
 - le réseau Ib où le trafic lourd est inférieur à 6 000 poids lourds par jour et par sens de circulation.
- Réseau II
Ce réseau comprend les autres routes régionales et les routes communales où le trafic lourd est supérieur à 250 poids lourds par jour et par sens de circulation.
Le réseau II est subdivisé en deux sous-réseaux:
 - le réseau IIa où le trafic lourd est supérieur à 1 000 poids lourds par jour et par sens de circulation
 - le réseau IIb où le trafic lourd est compris entre 250 et 1 000 poids lourds par jour et par sens de circulation.
- Réseau III
Le réseau III comprend les voiries n'appartenant pas aux réseaux I et II.
Il est subdivisé en deux sous réseaux.
Le réseau IIIa comprend les voiries où le trafic lourd est inférieur à 250 poids lourds par jour et par sens de circulation, les voiries agricoles et le RAVeL.
Le réseau IIIb comprend:
 - les trottoirs, les pistes cyclables, les zones d'immobilisation et les parkings non accessibles au trafic lourd et non adjacents à une chaussée
 - les voiries exécutées en largeur de 2,00 m ou moins, non accessibles au trafic lourd
 - les portions de chaussées situées à l'intérieur des voies de tramways.

- En fonction de l'intensité du trafic
 - **Réseau Ia:** > 6 000 véhicules lourds par jour/sens
 - **Réseau II:** > 250 véh. lourds/ jour/ sens
 - **Réseau III** < 250 véhicules lourds/ jour/sens

En Flandre (SB 250): détermination de la *classe de trafic* (“*bouwklasse*”)

- La « ***bouwklasse*** » est déterminée par le nombre d'essieux standard pouvant rouler sur le revêtement pendant toute la durée de vie
 - Durée de vie = f(revêtement choisi)
 - Nombre d'essieux standard à calculer à partir du trafic prévu, en tenant compte d'un certain nombre de paramètres: chaque essieu est converti en un essieu standard, de manière à obtenir le même impact sur la structure routière
- B1 = ***classe de trafic*** la plus lourdement chargée jusque B10 = la moins chargée et BF pour les pistes cyclables séparées
- Chaque ***classe de trafic*** inférieure peut reprendre la moitié de la *classe de trafic* supérieure

Conversion intensité du trafic en *classe de trafic*

$N_{100\text{ KN}}$	<i>classe de trafic</i>
$< 128 \times 10^6$	B1
$< 64 \times 10^6$	B2
$< 32 \times 10^6$	B3
$< 16 \times 10^6$	B4
$< 8 \times 10^6$	B5
$< 4 \times 10^6$	B6
$< 2 \times 10^6$	B7
$< 1 \times 10^6$	B8
$< 0,5 \times 10^6$	B9
$< 0,25 \times 10^6$	B10
-	BF

= Répartition selon le nombre prévu d'essieux de 100 kN sur toute la durée de vie (20 ou 30 ans)

Categorie volgens het RSV	Betonverharding	Andere verharding
Hoofdwegen	B1	B2
Primaire wegen	B2	B3
Secundaire wegen	B5	B5
Lokale wegen (en landbouwwegen)	B8	B8

Tabel 2-7-2: bouwklassen in functie van de wegcategorie

Source: SB 250 2- 8.3

http://wegenenverkeer.be/rekenmodules

Rekenmodule bouwklasse

De structuur wordt belast door 48190194 standaardassen (61463784 voertuigen).

De bouwklasse is **B2** (max. 64 miljoen standaardassen)

voor deze parameters is geen standaardstructuur beschikbaar

ontwerpparameters gewone wegen	
wegcategorie	<input type="radio"/> hoofdwegen <input checked="" type="radio"/> primaire wegen <input type="radio"/> secundaire wegen <input type="radio"/> lokale wegen
verharding	<input type="radio"/> bitumineuze verharding met APO-onderlagen <input type="radio"/> bitumineuze verharding met AVS-onderlagen <input checked="" type="radio"/> verharding van platenbeton <input type="radio"/> verharding van doorgaand gewapend beton <input type="radio"/> bestrating van betonstraatstenen
fundering	<input type="checkbox"/> gevoelig aan wrijving <input type="radio"/> ongebonden steenslagfundering <input type="radio"/> behandelde steenslagfundering <input type="radio"/> met cement gestabiliseerde steenslagfundering <input checked="" type="radio"/> schraalbetonfundering <input type="radio"/> walsbetonfundering <input type="radio"/> fundering van schraal asfalt <input type="radio"/> waterdoorlatende steenslagfundering
klimaatzone	
aantal rijstroken	<input type="radio"/> 1 rijstrook <input type="radio"/> 2 rijstroken <input checked="" type="radio"/> 3 rijstroken <input type="radio"/> 4 rijstroken of meer
breedte van de rijstrook	<input type="radio"/> 3,75 m <input checked="" type="radio"/> 3,50 m <input type="radio"/> 3,25 m <input type="radio"/> 3,00 m of smaller
ontwerplevensduur (in jaar)	<input type="text" value="30"/>

verkeersparameters	
aantal voertuigen per dag en per richting	<input type="text" value="50000"/>
aandeel vrachtwagens (in %)	<input type="text" value="10"/>
vrachtwagens met breedbanden (in %)	<input type="text" value="20"/>
evolutie (in %)	<input type="text" value="2.5"/>
ontwerpsnelheid	<input type="radio"/> 10 km/h <input type="radio"/> 30 km/h <input type="radio"/> 50 km/h <input type="radio"/> 70 km/h <input checked="" type="radio"/> 90 km/h
<input type="button" value="BEREKEN"/>	

Bereken de bouwklasse van

- gewone wegen
- smalle wegen
- bushaltes en busstroken

Structures standard pour les revêtements en béton de ciment (quelques exemples) **nouveau module de calcul**

<i>classe de trafic</i>	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
Dalle de béton	-	-	-	21	20	22	21	21	21	20
Couche de liaison	-	-	-	5	5	-	-	-	-	-
Fondation en empierrement	-	-	-	40	40	40	35	30	25	20
Dalle de béton	-	-	-	21	20	21	21	20	20	18
Couche de liaison	-	-	-	5	5	5	5	5	5	5
Fondation en béton maigre	-	-	-	25	25	25	25	25	25	25
Béton armé continu	25	23	22	21	20	-	-	-	-	-
Couche de liaison	5	5	5	5	5	-	-	-	-	-
Fondation en béton maigre	25	25	25	25	25	-	-	-	-	-

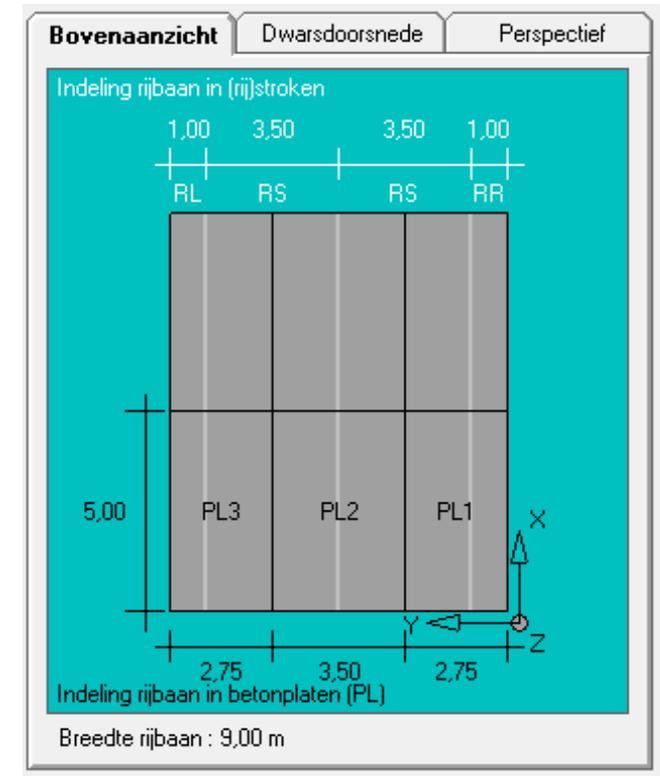
Goujons B1 à B7 obligatoires

- Si le béton ne contient pas d'entraîneur d'air: épaisseur du revêtement - 1 cm

Sinon: calcul avec logiciels...

- VENCON (NL)
- PAVERS (NL)
- Qualidim (B)
- Alizé (F)
- etc.

- Encodage exact des paramètres très important
- Lieu où le calcul est réalisé!



Source: VENCON

Révision Qualidim 2021-2022



- Version beta disponible pour revêtements bitumineux/semi-flexibles
- Nouvelle catalogue des structures rédigé actuellement par le SPW
- Réévaluation du “module routes en béton” en collaboration avec SPW, Febelcem et ABRoads: retro-engineering en cours



Wallonie



Service public
de Wallonie



FEBELCEM



Évolutions récentes: certification du béton routier (2017-...)

- Certification of pavement concrete to assure compliance with requirements & quality control, for example:

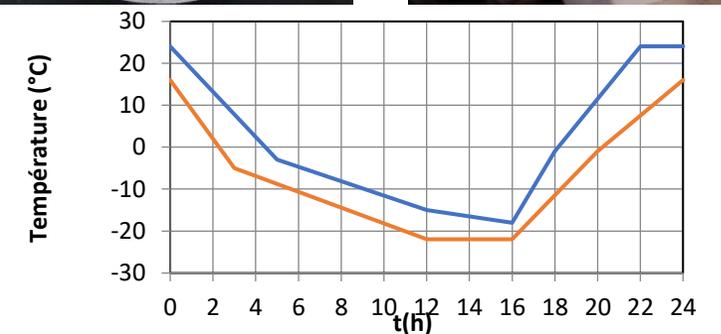
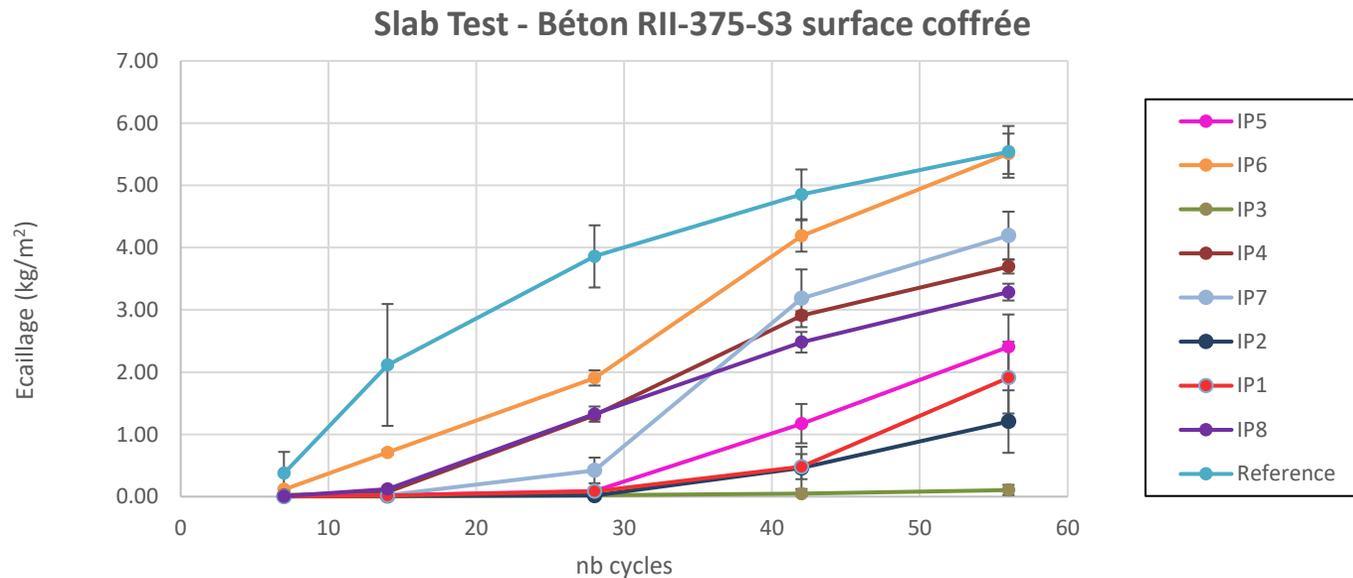


	D_{max}	Min. Cement content	Max. W/C-ratio	Flexural strength 28 d	Compressive strength 28 d	Compressive strength 7 d	Freeze-thaw resistance with de-icing salts
Bottom layer B1-B5	31,5 mm	$\geq 375 \text{ kg/m}^3$	$\leq 0,45$	6,0 MPa	55 MPa	35 MPa	$\leq 1,5 \text{ kg/m}^2$
Bottom layer B6-B10	31,5 mm	$\geq 350 \text{ kg/m}^2$	$\leq 0,50$	5,0 MPa	45 MPa	30 MPa	$\leq 3,0 \text{ kg/m}^2$
Bicycle path BF	31,5 mm	$\geq 350 \text{ kg/m}^2$	$\leq 0,50$				
	20 or 14 mm	$\geq 375 \text{ kg/m}^2$	$\leq 0,50$		40 MPa (air < 3%) 35 MPa (air \geq 3%)	25 MPa (air < 3%) 20 MPa (air \geq 3%)	$\leq 3,0 \text{ kg/m}^2$
	6,3 mm	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$	$\leq 0,45$				
Linear elements	31,5 mm	$\geq 350 \text{ kg/m}^2$	-	-	40 MPa (air < 3%) 35 MPa (air \geq 3%)	25 MPa (air < 3%) 20 MPa (air \geq 3%)	$\leq 3,0 \text{ kg/m}^2$

- Use of high quality RCA with up to 20% (bicycle paths and bottom layers of concrete pavements) or 40% (in linear elements) replacement of the coarse aggregates ($d > 4 \text{ mm}$)

Méthode d'essai gel-dégel pour béton routier optimisé

- Projet **Gelavia (2018-2020)** - *Critères de Résistance des Bétons de Routes au Gel-Dégel en présence de sels de déverglaçage*:
 - Evaluation of testing method for the evaluation of resistance to scaling
 - Hydrofobic impregnation products



Smets et al. 2021 – ICCP 2021, virtual

Perspectives/innovations: Recyclage dans la construction routière en béton (2016-2021-...)

Boonen et al. 2021 – ICCP 2021, virtual

- **Recybeton:** Utilisation de granulats recyclés dans le béton prêt à l'emploi
- **Ridias:** Réemploi de granulats de débris mixtes dans le béton et le béton sec compacté – cf. Boonen et Van der Wielen, RGRA n° 978 (Janvier 2021)
- **Plusieurs planches d'essai** (A8, E42, Anvers – Oosterweel,...): Réemploi de scories inox dans le béton routier
- **Rubost:** Réemploi de caoutchouc dans des glissières en béton



Béton (maigre) drainant pour revêtements routiers durables – projet *Be-Drain* (2020-2022)

- Increased interest & demand for water permeable pavements among which **cast-in-place pervious concrete** (cf. ISCR 2018-Berlin + Belgian road sector)
- Demand for representative compaction method in the lab for **porous lean concrete** (cf. certified mixture for base layers)

=> **Recherche prénormative belge**



Vogel et al. (Germany)

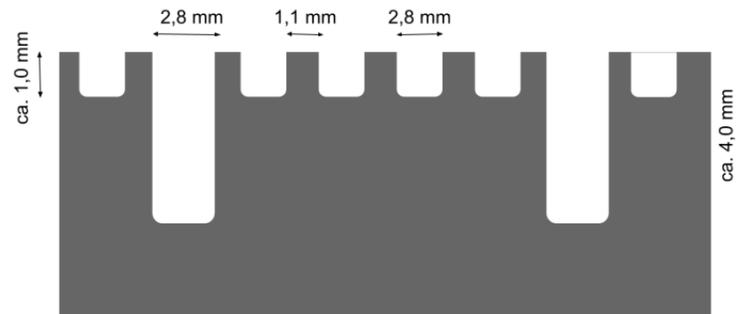


Hydromedia @ Holcim



Next Generation concrete Surface - NGCS

- Première planche d'essais belge à Maldegem (2015) avec résultats impressionnants de réduction de bruit
- Profilé 1 déjà dans SB 250, Chap. 12-1.6.3



Figuur 12-1-1 principeschets van de dwarsdoorsnede van het groevenpatroon

- Optimisation du “profilé 1” en cours dans **projet SIM Ghrante (2018-2022)** – L. Goubert

Belgian test tracks N44 Maldegem:
initial noise reduction: 4,5 dB(A) wrt SMA10(!)



Routes en béton: passé et futur...



A3 – E40
Bruxelles-Liège
1971 - 1972



Dalles en béton
1938 – 2012 - ...



N5 - E420
Contournement de Couvin
2017 - 2018



Centre de recherches routières
Ensemble pour des routes durables

J E R I

Elia Boonen

Researcher – Technological advisor – Deputy Head of Division
Geotechnics – Drainage and infiltration technics – Concrete Roads

T +32 2 766 03 41 - +32 477 94 38 21

E e.boonen@brrc.be

W www.brrc.be