



## Code de bonne pratique

*pour la conception et  
l'exécution de revêtements en  
pavés dé béton*



**Recommandations**

Le présent code de bonne pratique a été rédigé par le groupe de travail «Code de bonne pratique pour la conception et l'exécution des revêtements en pavés de béton»;

### **Composition du groupe de travail:**

**Président:** Henk Keymeulen (Agentschap Wegen en Verkeer)

**Secrétaires:** Anne Beeldens (CRR)  
Olivier De Myttenaere (CRR)

**Membres:** Patrick Ampe (Hogeschool Gent Vakgroep Bouwkunde)  
Anne Beeldens (CRR)  
Freddy Capoen (FEBE)  
Serge Colin (D+A International)  
Olivier De Myttenaere (CRR)  
Raymond Debroux (Service Public de Wallonie)  
Marc Demunter (Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale),  
Eli Desmedt (VlaWeBo)  
Liesbeth Donné (FEBE), avec nos remerciements à Davy Vennekens et Lieve Vijverman  
Frank Gendera (Ebema)  
Jan Higuët (Technum)  
Jan Horemans (Holcim)  
Henk Keymeulen (Agentschap Wegen en Verkeer)  
Björn Pirson (Grontmij)  
Luc Rens (FEBELCEM)  
Dirk Smets (Arcadis Gedas)  
Jean-Pol Tasiaux (Inasep)  
Thomas Van den Berghe (Stradus)  
Egied Vandezande (expert indépendant)  
Jef Vanhoutte (Agentschap Wegen en Verkeer)  
Nos remerciements à Paul Bauweraerts (Probeton)

### **Note importante:**

Bien que les recommandations formulées dans le présent code de bonne pratique 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.

Centre de recherches routières

Bruxelles

Code de bonne pratique pour la  
conception et l'exécution de revêtements  
en pavés de béton

R80/09

Édité par le Centre de recherches routières  
Établissement reconnu par l'application de l'Arrêté-loi du 30 janvier 1947

Boulevard de la Woluwe, 42 – 1200 Bruxelles

Tous droits de reproduction réservés



# Table des matières

Avant-propos	VII	
1	Aspects liés à la conception	1
1.1	Principes de dimensionnement, répartition du trafic en catégories et structures types correspondantes	1
1.2	Choix et spécifications des différentes couches constituant une route	3
1.2.1	Fond de coffre	3
1.2.1.1	Dimensionnement contre les cycles de gel/dégel	4
1.2.1.2	Portance	5
1.2.1.3	Evacuation des eaux	5
1.2.2	Sous-fondation	5
1.2.2.1	Sous-fondation en sable	5
1.2.2.2	Sous-fondation en empierrement	6
1.2.2.3	Sous-fondation en sol stabilisé ou en matériaux similaires	6
1.2.3	Fondation	6
1.2.4	Drainage et évacuation de l'eau	7
1.2.4.1	Limiter la pénétration d'eau à travers les joints	8
1.2.4.2	Evacuer l'eau infiltrée	8
1.2.5	Contrebutage	9
1.2.5.1	Exigences en matière de contrebutage	9
1.2.5.2	Raccordement au contrebutage à l'aide de chapelles	11
1.2.6	Couche de pose	12
1.2.6.1	Exigences en matière de couche de pose	12
1.2.6.2	Matériaux	13
1.2.6.3	Epaisseur, profilage et compactage de la couche de pose	13
1.2.7	Caniveaux	14
1.2.7.1	Exigences en matière de caniveaux	14
1.2.7.2	Matériaux	14
1.2.8	Pavés en béton	15
1.2.8.1	Choix du type de pavés en béton	15
1.2.8.2	Qualité	15
1.2.8.3	Format	15
1.2.8.4	Epaisseur	17
1.2.8.5	Ecarteurs	19
1.2.8.6	Chanfrein	19
1.2.8.7	Pièces spéciales	20
1.2.8.8	Finition de surface	20
1.2.8.8.1	Structure des pavés en béton	20
1.2.8.8.2	Finition standard: pas de traitement de surface	20
1.2.8.8.3	Stabilité du coloris de la couche de roulement	21
1.2.8.8.4	Traitements de surface	22
1.2.8.9	Choix relatif à la sécurité et au confort	26
1.2.8.10	Choix relatif aux exigences acoustiques	26
1.2.8.11	Choix de l'appareillage	27
1.2.9	Scellement des joints	27
1.2.10	Profil transversal	28
1.2.10.1	Profil à pente transversale unique	28

1.2.10.2	Profil en toit	29
1.2.10.3	Profil bombé modifié	29
1.2.10.4	Profil en toit inversé	29
2	Exigences supplémentaires lors de la conception de pavages en béton pour des applications particulières	31
2.1	Prescriptions spécifiques aux pavages drainants	31
2.1.1	Introduction	31
2.1.2	Types de pavages drainants	31
2.1.2.1	Pavés en béton à joints élargis	31
2.1.2.2	Pavés en béton avec ouvertures de drainage	32
2.1.2.3	Pavés en béton poreux	32
2.1.2.4	Dalles-gazon en béton	33
2.1.3	Principe de fonctionnement	33
2.1.4	Domaine d'application	33
2.1.5	Dimensionnement	34
2.1.5.1	Dimensionnement de l'évacuation de l'eau et du système de drainage	35
2.1.5.2	Dimensionnement de la fondation	37
2.1.5.3	Dimensionnement de la sous-fondation	38
2.1.5.4	Choix du type de pavage drainant	39
2.1.5.5	Choix de la couche de pose et du produit de scellement des joints	40
2.1.5.6	Contrôle	40
2.2	Ronds-points en pavés de béton	41
2.2.1	Structure d'un rond-point en pavés de béton	41
2.2.2	Contrebutage	41
2.2.3	Joints, appareillage et format	42
2.3	Pistes cyclables en pavés de béton	42
3	Certification de qualité	43
3.1	Introduction	43
3.1.1	Marquage CE avec exigences minimales de qualité	43
3.1.2	Certification BENOR avec hautes exigences de qualité	44
3.2	Labels de produit	44
3.3	Norme européenne NBN EN-1338 et marquage CE	44
3.3.1	Domaine d'application	44
3.3.2	Caractéristiques de forme - écarts admissibles	45
3.3.3	Caractéristiques mécaniques	45
3.3.3.1	Résistance aux agressions climatiques (durabilité)	45
3.3.3.1.1	Détermination de l'absorption d'eau totale	45
3.3.3.1.2	Détermination de la résistance au gel/dégel en présence de sels de déverglaçage	46
3.3.3.2	Résistance à la rupture en traction par fendage	47
3.3.3.3	Résistance à l'abrasion	47
3.3.3.4	Résistance à la glissance	48
3.3.3.5	Performance au feu	48
3.3.3.6	Conductivité thermique	48
3.3.4	Caractéristiques visuelles	48
3.3.4.1	Aspect	48
3.3.4.2	Texture	48
3.3.4.3	Couleur	48
3.4	Norme belge NBN B21-311 et marque BENOR	49
3.4.1	Classes autorisées	49
3.4.1.1	Ecart dimensionnel sur les diagonales	49
3.4.1.2	Résistance aux agressions climatiques (durabilité)	49
3.4.1.3	Résistance à l'abrasion (résistance à l'usure)	50
3.4.2	Catégories d'application	50
3.5	Autres prescriptions relatives aux pavés en béton	50
3.5.1	PTV 122 pour les pavés en béton perméables à l'eau	50
3.5.1.1	Pavés en béton à ouvertures de drainage ou joints élargis	50

3.5.1.2	Pavés en béton poreux	51
4	Exécution d'un revêtement en pavés de béton	53
4.1	Inspection et contrôle de conformité des matériaux livrés	53
4.2	Fond de coffre	54
4.3	Sous-fondation	54
4.4	Contrebutage et finition des bords	54
4.4.1	Détermination de la largeur de la route en fonction des pavés en béton livrés	54
4.4.2	Pose d'un épaulement derrière les éléments de contrebutage	55
4.5	Fondation	55
4.6	Epandage, profilage et compactage de la couche de pose	56
4.7	Mise en place des pavés	57
4.7.1	Ordre de mise en place en fonction de l'appareillage	57
4.7.2	Mélange de pavés provenant de différents paquets	57
4.7.3	Mise en place des pavés en béton (méthode «click-and-drop»)	57
4.7.4	Rectitude des joints lors de la mise en oeuvre	57
4.7.5	Pièces spéciales préfabriquées	58
4.7.6	Sciage des pavés d'ajustement	58
4.7.7	Mise en place mécanique des pavés en béton	58
4.7.7.1	Avantages et inconvénients du pavage mécanique	58
4.7.7.1.1	Avantages	58
4.7.7.1.2	Inconvénients	58
4.7.7.2	Différences par rapport à une mise en œuvre manuelle	59
4.7.7.2.1	Livraison des pavés	59
4.7.7.2.2	Déplacement sur chantier et mise en place des pavés	59
4.8	Remise en place des pavés et des dalles portant une indication	59
4.9	Joints de dilatation dans le pavage	60
4.10	Finition autour des points singuliers et aux extrémités du revêtement	60
4.11	Jointoyage et vibration du pavage en pavés de béton	61
5	Entretien	63
5.1	Contrôle et remplissage régulier des joints	63
5.2	Nettoyage	63
5.2.1	Brossage	63
5.2.2	Nettoyage avec de l'eau sous haute pression ou avec de l'eau chaude	63
5.2.3	Nettoyage par vapeur	64
5.2.4	Elimination des taches	64
5.3	Mousse, algues et champignons	65
5.4	Efflorescence de chaux sur le béton	65
5.4.1	Qu'est-ce que l'efflorescence de chaux?	65
5.4.2	Comment apparaît l'efflorescence de chaux?	66
5.4.3	Comment l'efflorescence de chaux disparaît-elle?	67
5.4.4	Différences entre les types de ciment	67
5.4.5	Est-il possible d'accélérer le processus?	67
6	Démontage et remise en place des pavés en béton (après intervention sur impétrants)	69





## Avant-propos

Les revêtements en pavés en béton ont le vent en poupe depuis une quinzaine d'années. Les pavés en béton sont un matériau attractif: finie l'austérité du noir et du gris, et le concepteur créatif peut donner libre cours à ses idées.

Hélas, les pavés en béton ont été victimes de leur succès il y a quelques années. Les pavages étaient prescrits à tort et à travers, et donc aussi pour les routes fortement chargées. Chaque bureau d'étude avait son propre modèle de profil transversal, chaque fournisseur avait son interprétation de «teinté dans la masse», chaque entrepreneur avait sa méthode d'exécution. Souvent, le résultat était beau et durable. Dans certains cas, par contre, le pavage devait être recommencé prématurément.

Au vu de ces expériences, la nécessité de rédiger un code de bonne pratique rassemblant l'ensemble des aspects liés aux pavés en béton s'est fait sentir.

Car les pavés en béton sont un matériau flexible, méritant d'être traité avec égard.

Ils sont bien sûr disponibles dans de nombreux coloris, formats, formes et textures, et ont donc un vaste domaine d'application. Ces propriétés doivent être choisies après mûre réflexion, car elles peuvent influencer grandement le caractère d'une rue, d'une place ou d'un parc.

L'aspect esthétique n'est qu'un des nombreux avantages des pavés en béton. En combinant divers coloris et textures, il devient possible d'indiquer et de délimiter des zones de fonctions différentes. En rendant ces fonctions plus reconnaissables, ils contribuent à la sécurité des usagers de la route. Les nombreux joints entre les pavés participent aussi à la sécurité en créant un effet de ralentissement de la vitesse. En outre, en optant pour des formats et un appareillage adaptés aux différentes zones, on assure un confort maximal aux usagers.

Les pavés en béton répondent parfaitement aux exigences sans cesse croissantes en matière de durabilité. La fabrication «bicouche» offre des zones qui peuvent être adaptées individuellement à leur fonction de manière optimale: la couche inférieure assure la résistance tandis que l'on peut jouer avec différents granulats dans la couche supérieure. De cette manière, il est possible d'obtenir un revêtement très résistant à l'usure. L'utilisation de granulats colorés permet quant à elle de garantir la durabilité de la teinte du revêtement.

Pour que ces avantages puissent être mis à profit de façon optimale, le résultat final doit naturellement satisfaire à toute une série de spécifications. Les affaissements, les inégalités et les dégradations n'ont pas seulement un impact négatif sur l'aspect d'un pavage, mais ils diminuent également la sécurité et le confort des usagers. C'est pourquoi il est capital d'accorder la plus grande attention à la conception et à la mise en œuvre de ces revêtements. Bien plus que de simples pavés, un pavage est également un ensemble de couches ayant chacune un rôle bien précis. Une couche mal exécutée peut avoir des répercussions sur l'ensemble du pavage.

L'objectif principal des rédacteurs du présent code était et est toujours la réalisation de revêtements en pavés de béton de qualité.

Le premier chapitre du présent code de bonne pratique traite des différents éléments constituant un pavage et de leurs caractéristiques spécifiques.

Le deuxième chapitre se penche sur les applications spéciales des pavés en béton. Il existe en effet des exigences spécifiques pour les pavages perméables, tandis que la conception et l'exécution de ronds points et de pistes cyclables doivent être effectuées avec une attention particulière. Ces dernières peuvent offrir aux cyclistes un confort élevé, lorsque les matériaux sont choisis judicieusement et que la mise en œuvre est réalisée avec soin.

Pour garantir un niveau de qualité élevé, les pavés en béton sont produits en Belgique sous la marque BENOR. Les spécifications et contrôles y afférents font l'objet du troisième chapitre du présent code.

Le chapitre quatre énumère ensuite les directives à suivre pour réaliser un revêtement de qualité en pavés de béton. Les spécificités de chaque couche y sont abordées.

Il faut naturellement veiller à ce que le pavage se maintienne dans le temps. Pour ce faire, des directives d'entretien sont données dans le chapitre cinq.

Enfin, le chapitre six s'attarde sur le démontage et la remise en place des pavés, nécessaires notamment lors de travaux liés aux divers impétrants et canalisations.

Le présent code de bonne pratique a pu voir le jour grâce à la collaboration de nombreux spécialistes du secteur: fournisseurs, bureaux d'étude, hautes écoles, entrepreneurs, administrations et bien sûr le CRR.

Je souhaite remercier chaque personne ayant apporté, d'une manière ou d'une autre, sa pierre à l'édifice. J'espère que ce code deviendra un compagnon indispensable dans la pratique, car il en vaut vraiment la peine.

ir Henk Keymeulen  
Chef de division  
Président du groupe de travail

# Chapitre 1

## Aspects liés à la conception

### 1.1 Principes de dimensionnement, répartition du trafic en catégories et structures types correspondantes

La structure d'un pavage se présente généralement comme illustré à la figure 1.1:

Les différents éléments d'une structure de ce type seront traités en détail plus loin dans le présent code de bonne pratique.

Le dimensionnement d'un revêtement en pavés de béton consiste à déterminer l'épaisseur des pavés et de la couche de pose, la nature et l'épaisseur de la fondation et de l'éventuelle sous-fondation en fonction de la charge de circulation attendue et de la portance du sol.

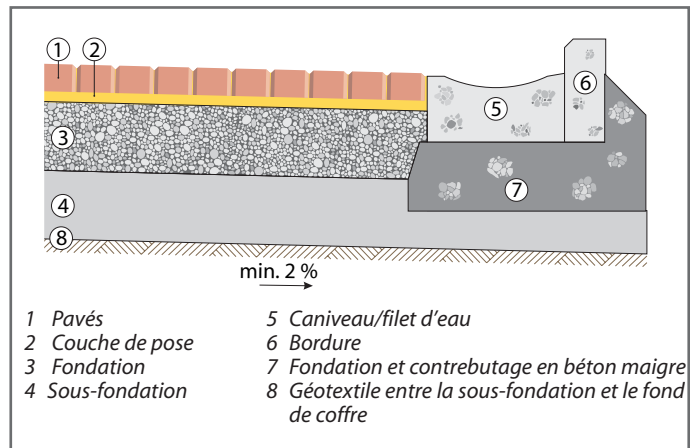


Figure 1.1 Exemple de structure d'un pavage

Dans un revêtement constitué de pavés en béton, les pavés ne contribuent individuellement que très peu à la portance du revêtement, en raison de leurs dimensions restreintes.

En effet, les pavés n'offrent individuellement aucune résistance contre les déplacements et/ou les rotations. Dans un pavage, les pavés sont placés les uns à côté des autres et sont reliés entre eux via les joints qui doivent être totalement remplis. Le mouvement d'un seul pavé résulte en des efforts dans les joints qui se transmettent aux pavés voisins. Dès lors, on obtient un ensemble de pavés qui collaborent entre eux, ce qui contribue à la portance du revêtement. Grâce à cet effet «dalle», le pavage (pavés et lit de pose) peut être considéré comme un revêtement plus ou moins souple.

Au niveau du dimensionnement, ce sera surtout la fondation qui sera la plus sollicitée et qui devra donc pouvoir résister aux contraintes et déformations. Une distinction est faite entre les fondations souples, non liées (sable, empierrement, mélanges sable-empierrement) et les fondations rigides, liées hydrauliquement (sable-ciment, empierrements liés, béton maigre, béton maigre drainant et béton sec compacté).

Pour les fondations non liées, c'est la déformation permanente de la couche de fondation, et la déformation de la sous-fondation et du sol qui y est liée, qui constituent le critère déterminant pour le dimensionnement. Ces déformations mènent en effet à des déflexions et à de l'orniérage dans le pavage.

Les fondations liées au ciment assurent une meilleure répartition des charges et protègent les couches sous-jacentes contre les surcharges et donc contre les déformations permanentes. Le critère déterminant de dimensionnement est dans ce cas le rapport entre la contrainte de traction qui se manifeste au bas de la couche de fondation et la contrainte de traction maximale admissible du matériau. Une fondation rigide rompt à cause de la fissuration, ce qui fait diminuer la rigidité et la portance du matériau.

La durée de vie de la structure peut être déterminée à l'aide des caractéristiques spécifiques et des lois de fatigue des différents types de fondations. Cette durée est généralement exprimée de manière théorique en un nombre de passages d'essieux standard et peut, si l'on connaît le spectre du trafic, être transposée en une durée de vie en années. Des logiciels de calcul permettant de déterminer une durée de vie théorique ont été développés à cet effet dans plusieurs pays (France, Pays-Bas, etc.).

Une approche plus pratique et plus couramment appliquée est l'utilisation de structures types valables pour des classes de trafic simplifiées. Ces structures sont établies suivant les calculs théoriques mentionnés ci-avant ou selon des méthodes empiriques, sur base d'expériences dans un pays donné.

Ainsi, il existe en Flandre des «Standaard Wegstructuren» en fonction des classes de construction de la route. Dans d'autres pays également (France, Allemagne, Royaume-Uni, Australie, etc.), des tableaux similaires ont été établis. En comparant ces différentes directives de conception, et en tenant compte de la tradition belge en matière de méthode de construction et de matériaux, une nouvelle répartition en catégories de trafic a été établie pour le présent code de bonne pratique, et une nouvelle liste, simplifiée, des structures types recommandées a été dressée.

Quatre catégories de charge de trafic ont été définies, allant de la catégorie I (la plus chargée) à la catégorie IV (la moins chargée). Pour chaque catégorie, le volume maximal autorisé de trafic léger (< 3,5 t) et de trafic lourd (> 3,5 t) est renseigné. Au lieu de travailler avec le principe théorique du nombre d'essieux standard équivalents, on utilise ici le nombre quotidien de passages de véhicule, dans les deux sens de circulation, comme échelle de mesure du trafic. En guise d'illustration, nous renseignons les classes de construction qui s'en approchent le plus.

Type de trafic				Indication de la classe de construction selon les «Standaard Wegstructuren» 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 1.1** Catégories de trafic

A chaque catégorie de trafic correspond des structures types recommandées. La durée de vie des structures types proposées est de vingt ans.

Catégorie		I	II	III	IV
Épaisseur des pavés		10 cm ou 12 cm	8 cm ou 10 cm	8 cm ou 10 cm	6 cm ou 7 cm ou 8 cm
Épaisseur de la couche de pose		3 cm	3 cm	3 cm	3 cm
Nature et épaisseur de la fondation	Béton sec compacté	20 cm	15 cm	-	-
	Béton maigre	25 cm	20 cm	15 cm	-
	Béton maigre drainant	-	20 cm	15 cm	-
	Empierrement lié hydrauliquement	-	25 cm	15 cm	
	Sable-ciment	-	-	20 cm	15 cm
	Empierrement	-	35 cm	25 cm	15 cm
Sous-fondation	Voir plus loin				

**Tableau 1.2** Structures types en fonction des catégories de trafic

Aucune recommandation spécifique n'est ici donnée pour le sol ou le fond de coffre, ni pour la sous-fondation. Les exigences en matière de portance et de mise hors gel auxquelles le fond de coffre et la sous-fondation doivent satisfaire sont spécifiées plus loin dans le présent Code de bonne pratique. Le choix du matériau constituant le lit de pose ainsi que le choix du type, de l'épaisseur des pavés et de l'appareillage de pose seront également abordés plus en détails.

Les champs non remplis du tableau 2 signifient que les choix de fondation concernés ne sont pas recommandés pour la catégorie de trafic considérée. Une présentation visuelle est donnée à la figure 2.

Le tableau n'est pas valable pour les applications spécifiques telles que les terminaux à conteneurs et les pistes aéroportuaires. Les structures types pour les pavages drainants sont abordés plus loin dans le présent Code.

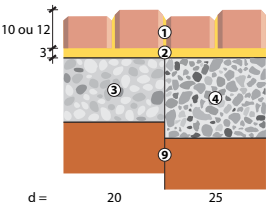
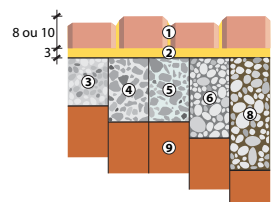
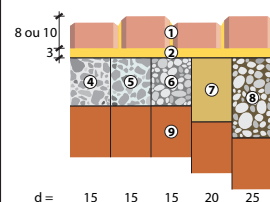
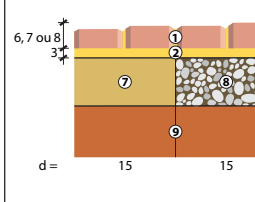
Catégorie I Véhicules lourds < 400 par jour Véhicules légers < 5 000 par jour	Catégorie II Véhicules lourds < 100 par jour Véhicules légers < 5 000 par jour	Catégorie III Véhicules lourds < 20 par jour Véhicules légers < 500 par jour	Catégorie IV Pas de véhicules lourds Véhicules légers occasionnels
 <p>d = 20      25</p>	 <p>d = 15    20    20    25    35</p>	 <p>d = 15    15    15    20    25</p>	 <p>d = 15      15</p>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pavés en béton</li> <li>2. Couche de pose</li> <li>3. Béton sec compacté</li> <li>4. Béton maigre</li> <li>5. Béton maigre drainant</li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>6. Empierrement lié hydrauliquement</li> <li>7. Sable-ciment</li> <li>8. Empierrement</li> <li>9. Sous-fondation</li> </ol> <p>d Epaisseur de la fondation (cm)</p>	

Figure 1.2 Structures types en fonction de la charge du trafic

## 1.2 Choix et spécifications des différentes couches constituant une route

### 1.2.1 Fond de coffre

Le fond de coffre est le matériau présent sur place (ou matériau d'apport dans le cas d'un remblai) qui doit porter la chaussée et supporter les charges du trafic et ce quelles que soient les conditions climatiques.

La portance du sol a une influence directe sur l'épaisseur de la chaussée nécessaire pour une charge de trafic donnée.

La portance du sol dépend fortement de la teneur en eau de ses matériaux constituants. Si ceux-ci sont saturés, la portance peut même totalement disparaître. Il est dès lors plus que recommandé de prévoir un drainage sous le fond de coffre si le sol est imperméable.

Si le sol est constitué de matériaux gélifs, il faut faire en sorte que le front de gel n'atteigne jamais cette profondeur. Pour ce faire, on peut augmenter l'épaisseur de la sous-fondation. En effet, lorsque les matériaux gélifs gèlent, ceux-ci se dilatent, ce qui peut mener à un soulèvement de la chaussée. Il est dès lors crucial de contrôler la sensibilité au gel du sol d'une part et de déterminer la profondeur du front de gel d'autre part.

#### 1.2.1.1 Dimensionnement contre les cycles de gel/dégel

La profondeur  $Z$  de pénétration du gel, en cm, est par définition égale à :  $Z = 5 \times \sqrt{J}$ .

$J$  est ici l'indice de gel. Cet indice est le nombre de degrés-jours entre les points supérieur et inférieur sur une courbe cumulée des degrés-jours en fonction du temps pour une saison de gel. En principe, on retient l'indice de gel décennal: il s'agit de l'indice de gel maximal que l'on observe sur une période de dix ans.

La valeur de  $J$  est donnée dans le tableau ci-dessous pour différentes stations météorologiques, pour la période 1995-2005. A l'aide de ces chiffres, il a été possible de calculer les valeurs correspondantes de la profondeur  $Z$  de pénétration du gel.

Station météorologique	Province	Indice de gel décennal (°C.jours)	Z (cm)
Middelkerke	Flandre occidentale	147	61
Mørbeke	Flandre orientale	133	58
Geel	Anvers	157	63
Gorseme	Limbourg	154	62
Uccle	Bruxelles	135	58
Beauvechain	Brabant wallon	167	65
La Hestre	Hainaut	143	60
Thirimont	Hainaut	196	70
Ciney	Namur	210	72
Rochefort	Namur	348	93
Liège	Liège	124	56
Thimister	Liège	182	67
Hockay	Liège	212	73
Mont-Rigi	Liège	290	85
Stavelot	Liège	270	82
Nadrin	Luxembourg	340	92
Libramont	Luxembourg	223	75
Arlon	Luxembourg	254	80

**Tableau 1.3** Indice de gel et profondeur Z de pénétration du gel en différents lieux

l'exécution des travaux, il est possible de procéder à un traitement du sol (guide pratique n° 2 du code de bonne pratique R74 du CRR) soit par l'ajout d'un produit d'amélioration adapté, soit en appliquant une géogrid.

L'épaisseur de la structure non gélive à mettre en œuvre (en cm) dépend de la profondeur de pénétration du gel:

$$D_{\text{sans gel}} = a \times Z$$

La valeur de a est égale à 0,8 lorsque la nappe phréatique est située à plus de 1,4 m en dessous de la surface du revêtement. Si ce n'est pas le cas, a est alors égal à 1,0.

Si la structure prévue est plus fine que l'épaisseur non gélive nécessaire calculée ci-avant, il faut alors, si le sol est sensible au gel, soit remplacer une partie du sol par un matériau non sensible au gel, soit améliorer le sol avec un produit de traitement adapté.

### 1.2.1.2 Portance

La portance du fond de coffre est suffisante lorsque le coefficient de compressibilité M1 (au premier cycle de l'essai à la plaque) est égal ou supérieur à 17 MPa.

Lorsqu'on suspecte la portance du coffre d'être insuffisante lors de

## Essai à la plaque



**Figure 1.3**

Le tassement est enregistré en fonction de la charge exercée. L'inclinaison de la courbe obtenue permet d'évaluer la portance du sol testé.

$$M_E = \frac{D \Delta p}{\Delta s}$$

$\Delta p$  : différence de pression entre deux paliers de chargement (MN/m<sup>2</sup>)  
 $\Delta s$  : différence de tassement, en cm  
 $D$  : diamètre de la plaque, en cm

Cet essai fait également l'objet de la méthode d'essai 50.01, reprise dans le mode opératoire CRR MF 40/78.

### 1.2.1.3 Evacuation des eaux

Comme nous l'avons déjà mentionné, la teneur en eau influence fortement la portance du sol ou de la fondation. Une bonne évacuation de l'eau (évacuation des eaux de surface, de l'eau infiltrée et de l'eau ascensionnelle) contribuera à améliorer la portance du sol. De plus amples explications sont données au § 1.2.4.

## 1.2.2 Sous-fondation

L'épaisseur de la sous-fondation est déterminée par l'auteur de projet et tient compte de la qualité du fond de coffre, de la nécessité de préserver le sol du gel et de la nécessité d'assurer un drainage de la chaussée.

En fonction du type de sol, on placera un géotextile non tissé afin d'éviter la remontée de particules fines dans la sous-fondation.

S'il est nécessaire de renforcer le fond de coffre, on peut alors placer des géogrilles. Il s'agit de grilles monolithiques à grandes mailles en plastique et possédant un module d'élasticité élevé et un fluage faible, qui sont utilisées pour faire fonctionner les matériaux mis en œuvre sur le fond de coffre comme un ensemble et optimiser le transfert des contraintes au sol en place. Ces géogrilles sont toujours placées dans une couche d'empierrement.

La sous-fondation doit remplir les fonctions suivantes:

- en tant qu'élément structurel, assurer une répartition suffisante des contraintes appliquées à sa surface vers le sol;
- grâce à son épaisseur, protéger le sol du gel;
- protéger la fondation contre l'humidité ascensionnelle et contre la pénétration de particules fines du sol;
- assurer un drainage du coffre de la chaussée;
- lors de la pose, éviter une déformation excessive du fond de coffre sous l'effet du trafic de chantier, et permettre le transport, l'épandage et le compactage du matériau de fondation;
- dans la plupart des cas, servir de support stable pour la pose des bordures, des filets d'eau et d'autres éléments linéaires.

Pour remplir ces fonctions, les matériaux de la sous-fondation doivent résister au gel et disposer d'une perméabilité suffisante. Ils doivent en outre être faciles à compacter et posséder une portance suffisante (coefficient de compressibilité  $M_1$ , mesuré lors du premier cycle de la plaque d'essai, égal ou supérieur à 35 MPa).

La portance doit être maintenue même si la couche de sous-fondation est exposée pendant plusieurs mois à la pluie et au gel.

Les matériaux utilisés peuvent être d'origine naturelle ou artificielle. Les cahiers des charges (RW99, CCT2000 et SB250) autorisent des matériaux de différentes origines, tels que les granulats naturels, les granulats recyclés (comme par exemple les débris de construction et de démolition) ou bien les granulats artificiels (comme par exemple les scories). Il est bon de noter que les matériaux autorisés varient de région en région. Il est donc recommandé de consulter le cahier des charges de la région concernée.

De manière générale, on distingue des sous-fondations de différents types.

### 1.2.2.1 Sous-fondation en sable

Cette sous-fondation est constituée:

- soit totalement de sable drainant ou de sable pour sous-fondations, lorsque cette couche est suffisamment fine pour être posée en une seule fois;
- soit d'une couche de sable recouverte d'une couche (d'environ 10 cm d'épaisseur) du même sable renforcé d'un empierrement de gros calibre lorsque la couche doit être posée en plusieurs fois.



### 1.2.2.2 *Sous-fondation en empierrement*

Cette sous-fondation est constituée d'un mélange homogène de sable pour sous-fondations et d'un empierrement de gros calibre.

### 1.2.2.3 *Sous-fondation en sol stabilisé ou en matériaux similaires*

Le traitement du sol et autres matériaux, in situ ou en centrale, a pour objectif de modifier les propriétés physiques et mécaniques par l'ajout d'un liant adapté (chaux, ciment, liant hydraulique, etc.). Le liant doit être choisi en fonction du sol ou du matériau à traiter. Une étude en laboratoire est nécessaire pour évaluer les améliorations et déterminer le dosage.

Le CRR a rédigé un guide pratique pour la réalisation des sous-fondations à l'aide de matériaux stabilisés (guide pratique n° 2 du code de bonne pratique R74). La sensibilité au gel du matériau stabilisé doit toujours être contrôlée, et certainement si une période de gel peut se produire immédiatement après le compactage.

## 1.2.3 Fondation

La fondation est mise en œuvre sur la sous-fondation ou sur le fond de coffre si aucune sous-fondation n'est prévue. Son rôle est double:

- constituer un support indéformable pour le revêtement;
- répartir les efforts induits par le trafic jusqu'à un niveau acceptable pour la sous-fondation.

Une distinction est faite entre les fondations non liées (empierrement et gravier) et les fondations liées (sable-ciment, empierrement stabilisé, béton maigre armé et non armé, béton maigre drainant et béton sec compacté).

Une fondation stabilisée au ciment offre comme avantage une plus grande rigidité, stabilité et durabilité et donc une amélioration du comportement de la structure sous l'effet du trafic, de l'eau et du gel.

Pour la fondation, on peut utiliser des matériaux naturels ou secondaires: empierrement naturel, sables, scories concassées, granulats de débris de béton, granulats de débris mixtes (de béton et de maçonnerie), et les scories d'aciérie.

Les fondations non liées les plus courantes sont les suivantes:

- empierrement à granularité continue, constitué de granulats de différents calibres, de sable et de fines, dans des proportions telles que l'on obtient une courbe de granularité continue. Ces empierrements sont plus faciles à mettre en œuvre que ceux à granularité discontinue car ils ne présentent pas de risque de ségrégation et sont plus facilement compactables. On parle dans les cahiers des charges de type I ou II;
- empierrement à granularité discontinue. Il est fortement déconseillé de poser ce type d'empierrement sous des revêtements en pavés. Ces empierrements sont plus difficiles à compacter et il est donc plus difficile d'atteindre le coefficient de compressibilité imposé de 110 MPa. Ce type de matériau peut être correctement compacté si l'on utilise une plaque vibrante, mais pas si l'on a recours à un compacteur à pneus.



**Figure 1.4** Fondation avec couche de pose, pavés et matériau de jointoiment

Les fondations liées les plus courantes sont les suivantes:

- empierrement à granularité continue stabilisé au ciment (type a) ou traité au chlorure de calcium (type b). Ces produits sont obligatoirement préparés dans une centrale de malaxage et leur teneur en eau lors de la mise en œuvre est déterminante pour le résultat du compactage;



- sable-ciment, un mélange homogène de sable, de ciment et d'eau. La résistance à la compression qui est obtenue dépend fortement du respect de la teneur optimale en eau, déterminée avec un essai Proctor, du degré de compactage ainsi que de la nature du sable utilisé. Cette fondation peut seulement être utilisée dans le cas d'un trafic léger (catégorie III ou IV);
- béton maigre, éventuellement avec treillis d'armature: ce matériau rigide est constitué d'un mélange de ciment (min. 100 kg/m<sup>3</sup>), d'eau, de sable et de gravillons. Il permet une bonne répartition des contraintes verticales vers les couches sous-jacentes, ce qui fait que le béton maigre est principalement utilisé lorsque le sol a une faible portance et pour les routes dont l'intensité de trafic est élevée (catégories I et II);
- béton maigre drainant: il s'agit d'un béton maigre perméable à l'eau. Il est caractérisé par des gravillons de granularité discontinue et a pour but d'éviter que l'eau ne stagne sur la fondation. Les propriétés du matériau du lit de pose doivent tenir compte du caractère drainant et de la structure ouverte de la fondation. Dans la plupart des cas, on place un géotextile non tissé entre la fondation et le lit de pose;
- béton sec compacté: comparable au béton maigre, mais avec une teneur en ciment plus élevée (min. 200 kg/m<sup>3</sup>) et une dimension de grain maximale égale à 20 mm. Le béton sec compacté a pour avantage de pouvoir être mis en service presque immédiatement après la mise en œuvre.

Nous renvoyons aux différents cahiers des charges-types pour des spécifications plus détaillées.

La surface de la fondation doit être totalement parallèle à la surface du pavage fini de sorte que l'épaisseur de la couche de pose soit constante. La fondation doit par conséquent suivre les changements de profil transversal et longitudinal. Les erreurs de niveau ou de profil de la fondation ne doivent en aucun cas être rattrapées par des variations de l'épaisseur de la couche de pose.

Le coefficient de compressibilité M1 déterminé lors du premier cycle de l'essai de chargement à la plaque doit être au minimum égal à 110 MPa pour les chaussées et à 80 MPa pour les pistes cyclables en site propre.

#### 1.2.4 Drainage et évacuation de l'eau

##### **Effets négatifs de l'eau stagnante**

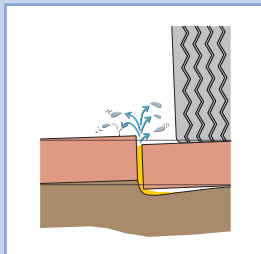


Figure 1.5

L'infiltration d'eau (via les joints) dans la couche de pose et la fondation est inévitable. Pour garantir la stabilité de la structure, il est essentiel que l'eau infiltrée soit évacuée aussi vite que possible via p. ex. une fondation drainante. L'eau dans la fondation fait diminuer la stabilité et la portance, et doit donc être évitée.

Les plus gros problèmes se présentent en effet lorsque de l'eau stagne dans la couche de pose, donc dans la zone située entre les pavés et la fondation.



Figure 1.6 *Dégradation du pavage due à une infiltration et stagnation d'eau*

Si l'eau ne peut pas s'évacuer par la fondation sous-jacente, la couche de pose sera progressivement saturée d'eau. Une charge de trafic continue génère ce que l'on appelle «l'effet de pompage»: le matériau fin de la couche de pose sera pompé avec l'eau vers le haut à travers les joints. De même, le matériau fin utilisé pour le remplissage des joints disparaîtra également à cause de ce phénomène.



**Figure 1.7** *Présence de matériaux fins à la surface suite à l'effet de pompage*

Un problème similaire se présente lorsque la couche de pose est constituée d'un mélange de sable-ciment. Celle-ci n'est pas perméable, ce qui fait que les eaux de percolation stagneront en dessous des pavés en béton et dans les joints. Le produit de scellement disparaîtra suite à l'effet de pompage.

La perte de matériau de la couche de pose, combinée à l'absence de matériau de scellement des joints, aura à moyen terme des conséquences importantes sur la stabilité du revêtement: affaissements localisés, dégradations de la surface et des bords du revêtement en raison du basculement des pavés, etc.

L'eau pénétrera toujours dans la structure par les joints entre les pavés (la quantité dépend de la qualité du remplissage des joints, de l'âge et de l'inclinaison du pavage – s'il est neuf, ce sera 20 % pour une inclinaison normale). Pour éviter les effets négatifs de l'eau sur la structure, il est crucial:

- de limiter autant que possible la pénétration d'eau à travers les joints;
- d'évacuer aussi vite que possible l'eau infiltrée afin d'éviter qu'elle ne stagne dans la couche de pose.

#### **1.2.4.1 Limiter la pénétration d'eau à travers les joints**

Pour limiter la pénétration d'eau au maximum, il est nécessaire:

- de rendre la surface aussi imperméable que possible;
- d'assurer une évacuation rapide des eaux de surface, en prévoyant une pente transversale suffisante (min. 2 %).

Afin de rendre la surface la moins perméable possible, il faut que la perméabilité des joints soit limitée: choix correct du produit de scellement avec une granulométrie adaptée, un remplissage complet des joints, application éventuelle d'un traitement hydrophobe complémentaire sur la surface.



**Figure 1.8** *Bon remplissage des joints avant ouverture au trafic*

Afin d'assurer une évacuation rapide des eaux de surface, il faut, lors de la conception, veiller à prévoir:

- des avaloirs et des caniveaux en nombre suffisant et bien implantés;
- une pente transversale suffisante pour évacuer aussi rapidement que possible l'eau vers les avaloirs et les caniveaux.

#### **1.2.4.2 Evacuer l'eau infiltrée**

En principe, l'eau peut être évacuée de la couche de pose grâce à une fondation drainante.

Si, en raison de la charge de trafic, l'on a opté pour une fondation peu drainante ou imperméable, il est nécessaire de prévoir une ou deux tranchées drainantes ou de réaliser des ouvertures de drainage en bordure de chaussée. Des aménagements doivent être réalisés pour évacuer l'eau de la couche de pose et éventuellement de la fondation. Pour ce faire, on peut forer des trous à travers la fondation imperméable à hauteur du filet d'eau et aux endroits les plus bas et les remplir d'un empierrement de fine granulométrie avant de mettre en œuvre la couche de pose.

Lorsque le sol est perméable, il suffit généralement de prévoir une surface drainante sur les bords extérieurs du revêtement (empierrement, gravier, etc.). Lorsque le sol est peu perméable, il est recommandé de prévoir une tranchée sur le périmètre de la surface pavée, dans laquelle est placée un tuyau d'évacuation perforé et incliné qui est raccordé au système d'égouttage ou qui déverse les eaux en profondeur, dans des couches plus perméables.

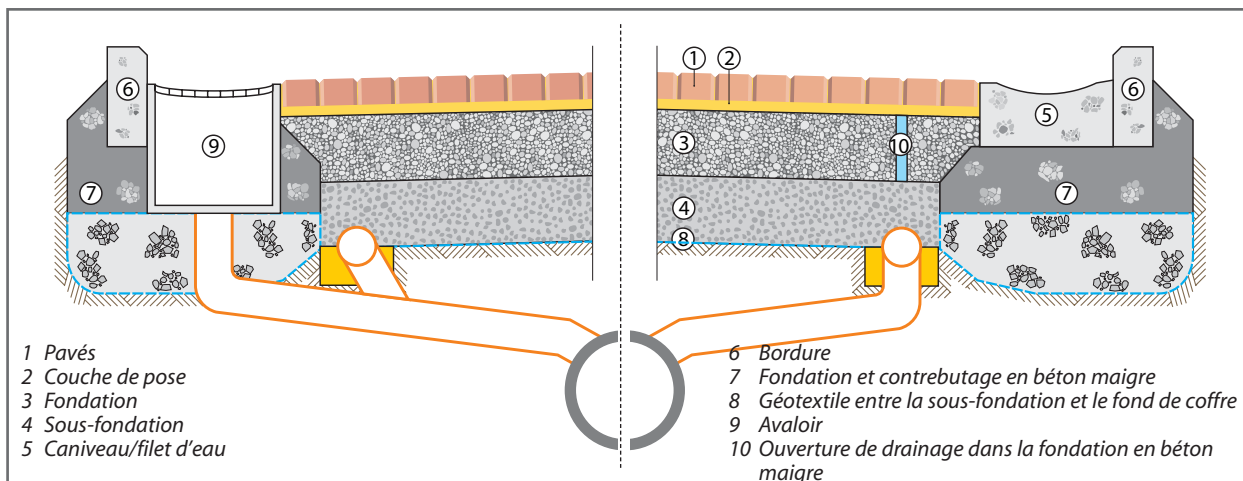


Figure 1.9a  
Figure 1.9b

Evacuation de l'eau via l'avaloir

Evacuation de l'eau qui a pénétré dans la fondation via un tuyau de drainage

## 1.2.5 Contrebutage



Figure 1.10 Contrebutage entre le trottoir et la chaussée

Un contrebutage est toujours nécessaire lorsqu'on pose un pavage, d'une part pour enserrer les pavés et d'autre part pour éviter que le matériau du lit de pose ne soit emporté par l'eau. Il est également nécessaire pour éviter les glissements et rotations des pavés sous l'influence des efforts induits par le trafic. Le contrebutage est nécessaire pour éviter que les pavés en béton ne glissent, ne basculent ou ne soient repoussés tant lors de la pose (contrebutage provisoire ou bordures définitives lorsqu'un côté de la chaussée a été posée) qu'après la mise en service définitive.

### 1.2.5.1 Exigences en matière de contrebutage

Il est toujours nécessaire de poser un contrebutage, indépendamment de la grandeur de la surface, de l'appareillage, du type de pavés et du trafic attendu. Des éléments de contrebutage doivent toujours être prévus au début, à la fin et sur les côtés d'un revêtement pavé; ceux-ci doivent être suffisamment stables (fondation et contrebutage). Dans le cas de transitions vers d'autres types de revêtements (p. ex. revêtement bitumineux, revêtement en béton, etc.), la pose d'un contrebutage est également nécessaire, afin d'éviter que le pavage ne bouge en raison d'une éventuelle déformation du revêtement adjacent.

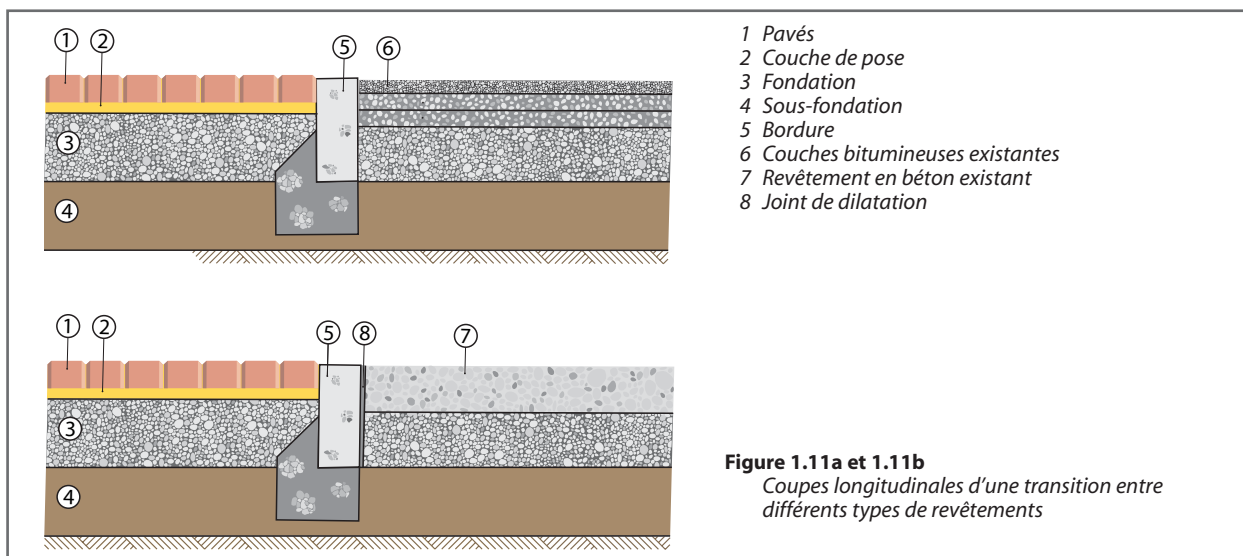


Figure 1.11a et 1.11b  
Coupes longitudinales d'une transition entre différents types de revêtements



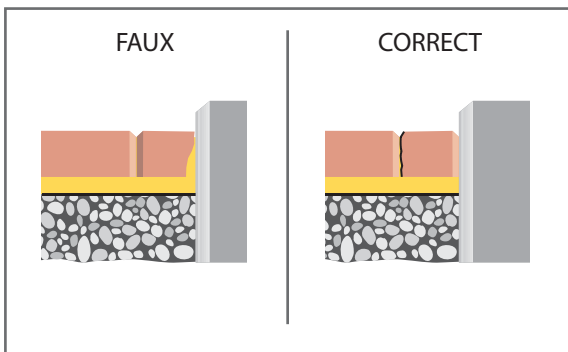
**Figure 1.12** Bordure à la transition entre revêtement bitumineux et pavage en béton

Dans le cas d'un raccordement à un revêtement bitumineux, il suffit de placer un contrebutage entre les deux revêtements. Dans le cas d'un raccordement à un revêtement en béton, un joint de dilatation doit être prévu.

Pour le trafic de catégorie I, II, III (trafic léger – trafic lourd limité), il est préférable d'opter pour des éléments de contrebutage d'au moins 20 cm de largeur et d'épaisseur plutôt que des contrebutage hauts de faible largeur. Pour les pavés à emboîtement, les pavés posés en arêtes de poisson ou à bâtons rompus, il existe des pièces spéciales (chapelle, mitre, etc.) pour assurer la finition du pavage le long des bords du revêtement. Ceux-ci ne remplacent toutefois pas le contrebutage.

Lorsqu'on détermine la largeur entre contrebutages, il faut éviter d'adapter la largeur des joints ou d'utiliser de trop petits morceaux de pavés. Si l'on doit s'écarter de la largeur idéale, obtenue avec les pavés posés tels quels, il est alors recommandé de les couper sur mesure d'un côté de la chaussée uniquement afin de les raccorder aux éléments de contrebutage ou aux accessoires. La machine de sciage est de préférence équipée d'un système d'aspiration des poussières. Il importe de ne pas utiliser d'éléments de taille inférieure à un demi-pavé.

Lorsqu'on détermine la largeur entre contrebutages, il faut éviter d'adapter la largeur des joints ou d'utiliser de trop



**Figure 1.13a** Mauvaise exécution: pavé scié contre le contrebutage

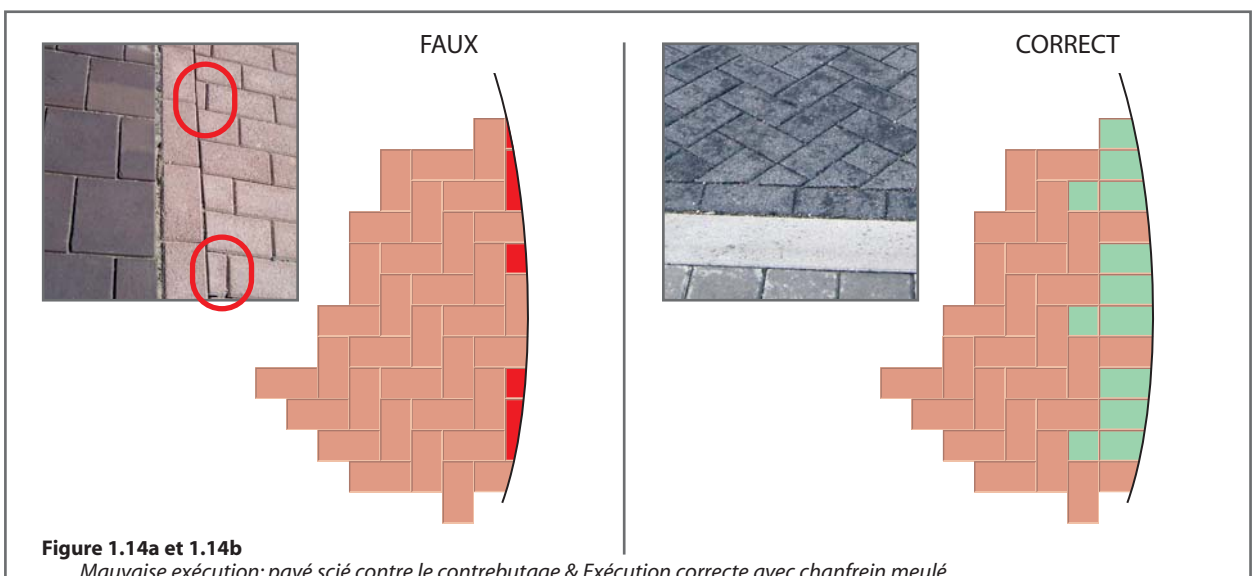
**Figure 1.13b** Exécution correcte avec chanfrein meulé

Les dessins suivants présentent quelques solutions de contrebutage dans diverses situations.

Il est recommandé d'utiliser les pièces d'ajustage adaptées pour les raccords contre le contrebutage afin d'éviter que les joints ne soient trop larges. Lors de la pose de pavés sciés contre le contrebutage, il est nécessaire de réaliser un chanfrein.

Les détails donnés ci-après peuvent être utilisés lorsque l'appareillage est parallèle ou perpendiculaire au contrebutage. Lorsque les contrebutages sont courbés ou que l'appareillage ne touche pas directement le contrebutage, il est possible de placer une rangée simple ou double de pavés complets. Les surfaces sciées des pavés

peuvent alors être placées contre cette simple ou double rangée de pavés, afin de réduire l'impact visuel des découpes, ce qui résulte en une finition plus propre.

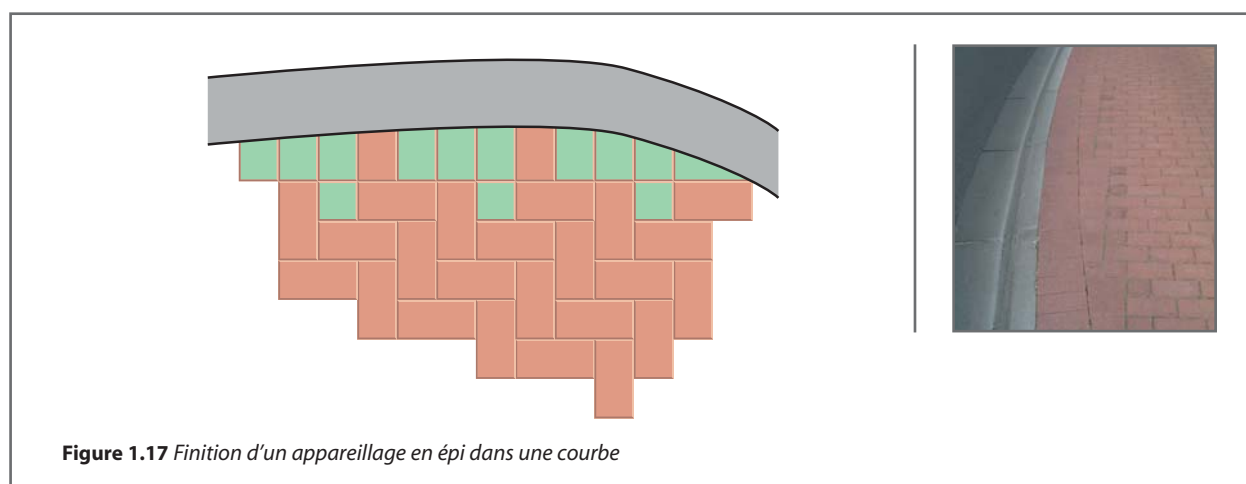
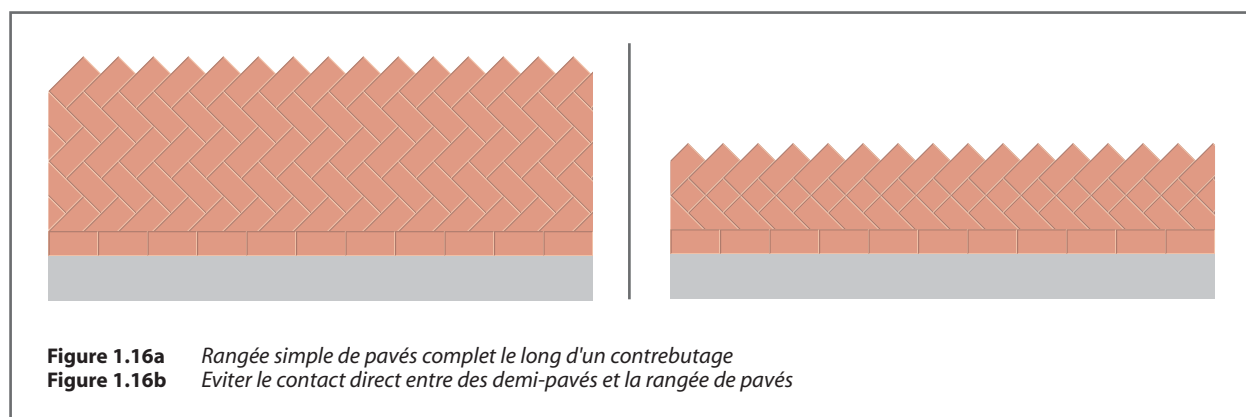
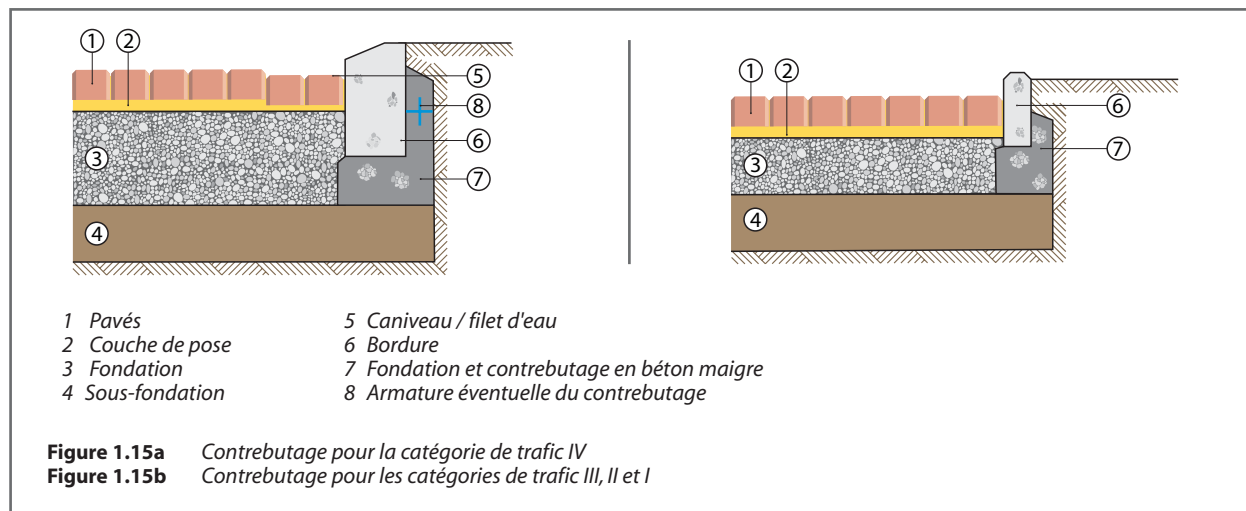


**Figure 1.14a et 1.14b**

Mauvaise exécution: pavé scié contre le contrebutage & Exécution correcte avec chanfrein meulé



Les extrémités latérales du pavage peuvent être réalisées avec un appareillage à joints alternés. Il faut toujours veiller à pouvoir poser autant que possible des pavés entiers ou des demi-pavés contre le contrebutage.



### 1.2.5.2 Raccordement au contrebutage à l'aide de chapelles

Il existe différents accessoires permettant de raccorder un appareillage en épi aux bandes de contrebutage du pavage. Cependant, ces cales ne peuvent être utilisées que lorsque les contrebutages forment un angle de 45° par rapport à l'appareillage. Elles ne peuvent pas être utilisées dans des courbes.

Outre les chapelles, il existe d'autres accessoires spécifiques, qui peuvent éventuellement être fabriqués sur mesure (demi-mitres, mitres, etc.).

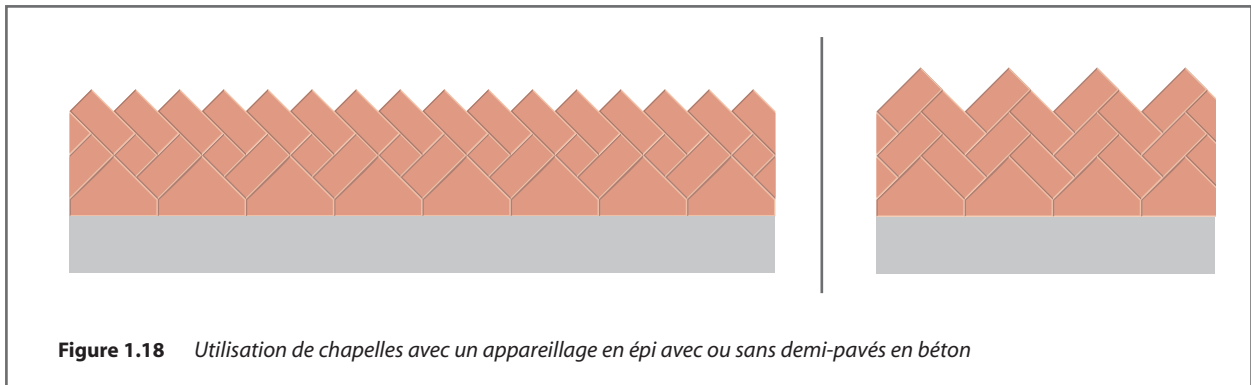


Figure 1.18 Utilisation de chapelles avec un appareillage en épi avec ou sans demi-pavés en béton

## 1.2.6 Couche de pose

### 1.2.6.1 Exigences en matière de couche de pose

La couche de pose est probablement l'élément le plus important de la chaussée, car c'est généralement là que les premières dégradations se manifestent. Il est primordial de consacrer suffisamment d'attention au choix du matériau ainsi qu'à la mise en œuvre de la couche de pose.



Figure 1.19

La couche de pose sert d'une part à compenser les petites inégalités de la fondation et d'éventuelles différences d'épaisseur des pavés et d'autre part à bien fixer les pavés par vibration et à les maintenir en place.

En premier lieu, il convient de s'attarder sur la structure qui se trouve sous la couche de pose. Il faut en effet travailler sur une fondation plane.

Les variations d'épaisseur de la couche de pose ne peuvent pas dépasser 10 mm, ce qui correspond à ce qui est stipulé dans les cahiers des charges types. Il est toutefois recommandé de respecter des tolérances encore plus sévères, aussi bien en ce qui concerne la planéité de la fondation que l'épaisseur de la couche de pose.

Quelques éléments importants:

- l'épaisseur de la couche de pose: celle-ci est, après compactage, égale à 30 mm, avec une tolérance de 5 mm. Une couche de pose trop épaisse peut donner lieu à de l'orniérage et à des affaissements. Des épaisseurs inégales sont à l'origine de déformations;
- le compactage de la couche de pose: celui-ci n'a lieu qu'après la pose des pavés. La couche de pose doit en effet compenser les différences de hauteur des pavés. Un compactage préalable de la couche de pose mène à des différences de hauteur en surface;
- la perméabilité de la couche de pose: celle-ci est toujours perméable à l'eau, à moins que l'on ne travaille avec une couche de pose liée au ciment. On évite ainsi que de l'eau ne stagne sur la couche de pose. Celle-ci peut en outre avoir une fonction de drainage lorsque la fondation est imperméable;
- l'impénétrabilité de la fondation: lorsque la couche de pose est mise en œuvre sur une fondation en empierrement, la partie supérieure de cette fondation doit alors être bien fermée (éventuellement en y incorporant des fines par vibrations et/ou par arrosage). Dans le cas contraire, des inégalités peuvent apparaître dans le revêtement.

Une fondation non perméable en béton maigre présente un risque d'accumulation d'eau dans le lit de pose. Cela peut être évité en mettant en place un système de drainage adapté (voir 1.2.4.2).

### 1.2.6.2 Matériaux

Le choix du matériau de la couche de pose doit se faire en fonction de la catégorie de trafic (voir le tableau 1.1). Pour déterminer le bon type de granulats, il faut tenir compte de la résistance à la dégradation. En cas de doute, il est souhaitable de réaliser des essais de dégradation préalables. Un granulat qui n'est que peu ou pas sujet à la dégradation doit être utilisé pour les catégories I et II. Le matériau doit être sans poussière, c.-à-d. que la quantité de fines inférieures à 63 µm doit être fortement limitée (cf. tableau 1.4).

Catégorie de trafic	Passant granulats sur un tamis de 63 µm	Passant granulats sur un tamis de 500 µm	Granulats	Granulométrie
Catégorie I	Moins de 4,0%	Moins de 60 %	Catégorie Ab ou 3 du PTV 411	0/2 + 2/6,3
Catégorie II	Moins de 4,0%	Moins de 60 %	Catégorie Ab ou 3 du PTV 411	0/2 + 2/6,3
Catégorie III	Moins de 4,0%	Moins de 70 %	Catégorie Bc ou 4 du PTV 411	0/2 + 2/6,3 0/5,6
Catégorie IV	Moins de 7,0%	Moins de 70 %	Tous sables naturels/ empierrement/ sable-ciment	

**Tableau 1.4** Limitation de la quantité de fines en fonction de la catégorie de trafic

Les caractéristiques des granulats doivent être contrôlées comme il se doit étant donné qu'elles décrivent la résistance à la désagrégation du matériau constituant le lit de pose. En Belgique, il s'agit principalement de matériaux durs tels que le porphyre, le grès et le quartz. Pour garantir une mise en œuvre aisée de la couche de pose, il faut également considérer l'ouvrabilité lors du choix des matériaux.

Tous les matériaux qui sont proposés pour une catégorie de trafic peuvent naturellement être utilisés pour une catégorie inférieure.

Pour la mise en place de la couche de pose de routes à trafic lourd canalisé, il est recommandé d'utiliser des matériaux qui satisfont à la classe Ab ou 3 du PTV 411, comme par exemple un empierrement en porphyre, du grès ou du gravier concassé.

Pour la catégorie III, le sable de mer et le sable ternaie entrent également en ligne de compte. Pour la catégorie IV, ce sont tous les matériaux mentionnés ci-avant, ainsi que tous les sables naturels, les graves concassées et le sable-ciment.

### 1.2.6.3 Épaisseur, profilage et compactage de la couche de pose

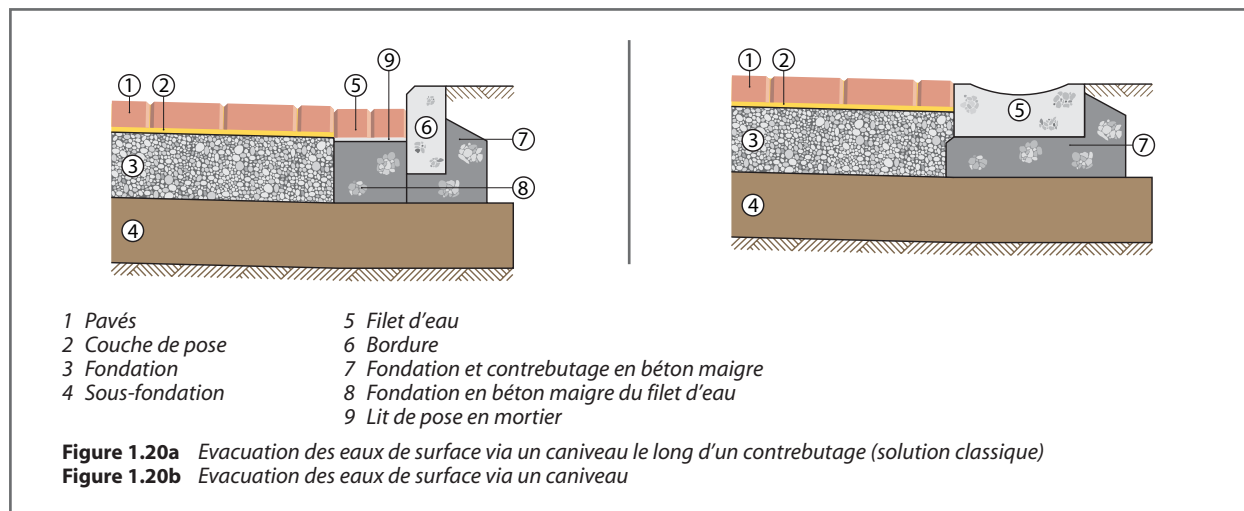
L'épaisseur idéale de la couche de pose est de 30 mm après compactage. Il est primordial que celle-ci soit répartie de manière uniforme sur toute la surface de la route, ce qui signifie concrètement que la tolérance en matière d'épaisseur doit être aussi faible que possible et certainement ne pas dépasser 5 mm. Veiller à ce que la couche de pose ait une épaisseur constante contribue clairement à diminuer considérablement le risque d'apparition de dégradations.

Le compactage de la couche de pose se fait en faisant vibrer les pavés à l'aide d'une plaque vibrante. Pour les exigences qui s'y rapportent, nous renvoyons au chapitre IV – Exécution.

## 1.2.7 Caniveaux

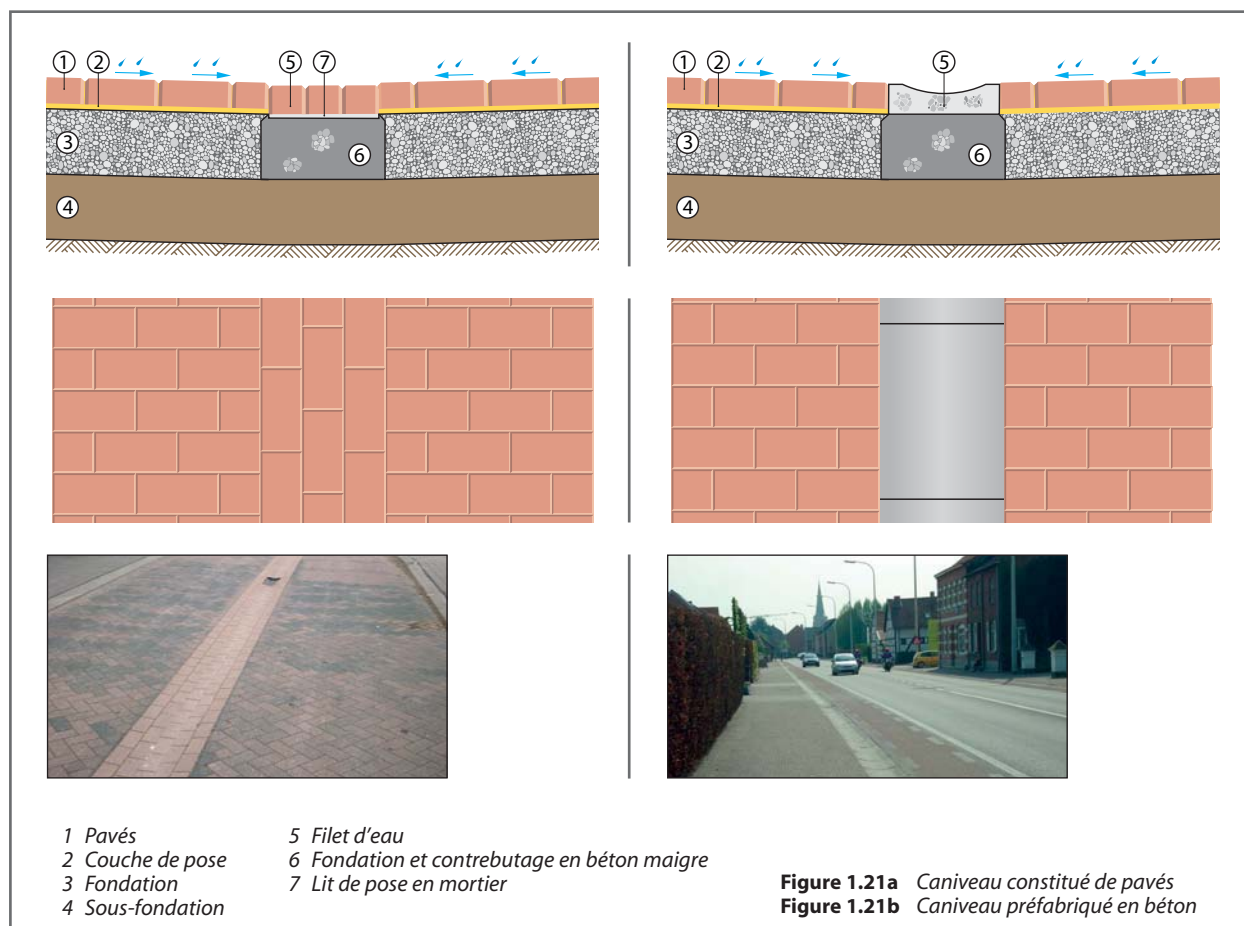
Un revêtement en pavés de béton doit, dans la mesure du possible, présenter une pente transversale suffisante, de préférence supérieure à 2 %. De manière générale, l'eau doit être évacuée afin d'éviter que le sol aux alentours du revêtement ne devienne trop humide.

### 1.2.7.1 Exigences en matière de caniveaux

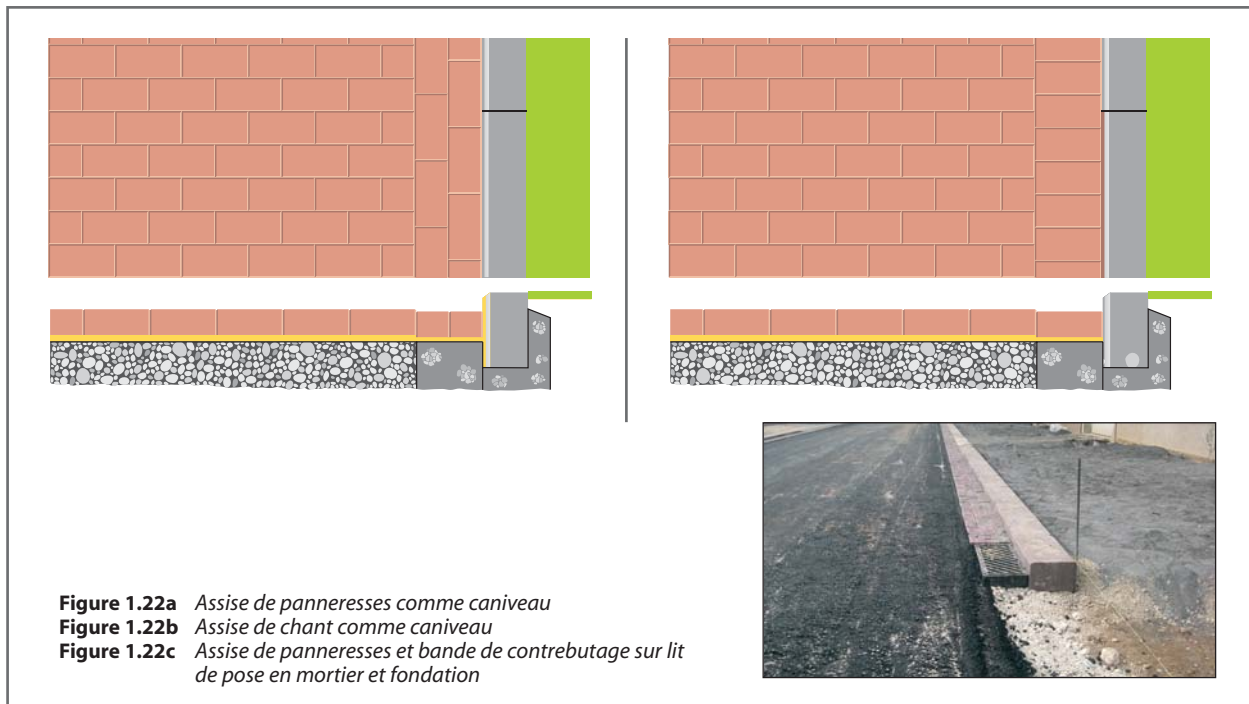


### 1.2.7.2 Matériaux

Il est possible de former des caniveaux en utilisant des pavés rectangulaires et en les plaçant dans un lit de mortier; celui-ci repose sur une fondation en béton s'il est soumis à du trafic routier. Après pose des pavés, on remplit les joints en coulant dans ceux-ci un mortier étanche sans retrait. Après compactage, la surface du pavage adjacent au caniveau doit être de 3 à 6 mm au-dessus de celle du caniveau.







## 1.2.8 Pavés en béton

### 1.2.8.1 Choix du type de pavés en béton

Le choix du format, de la finition de surface et de la couleur des pavés est surtout réalisé par le maître d'ouvrage et par le concepteur. S'il souhaite la réussite à long terme du projet, le concepteur doit prendre en compte toute une série de conditions annexes.

De manière générale, on peut déclarer que pour conférer une longue durée de vie au pavage, les pavés doivent répondre aux exigences suivantes:

- avoir un certificat de qualité BENOR;
- adapter le type, l'épaisseur et le format des pavés à l'application prévue.

Dans le présent chapitre, nous établissons un relevé non limitatif de ces conditions annexes.

Les pavés en béton destinés aux revêtements drainants sont traités au § 2.1.

### 1.2.8.2 Qualité

Les pavés en béton fournis avec un certificat de qualité BENOR offrent la meilleure garantie d'une bonne qualité. Un tel certificat déclare qu'un produit satisfait aux critères en vigueur pour une catégorie d'application donnée, conformément à la norme belge NBN B21-311 et à la norme européenne NBN EN 1338 pour les pavés en béton. Veuillez vous référer au chapitre 3 pour plus de détails.

### 1.2.8.3 Format

Longueur	Largeur	Epaisseur
220	73	80
220	110	80
220	110	100
220	110	120
220	220	80

Le choix de la forme, du format et de la couleur relève du maître d'ouvrage et du concepteur, tout en tenant compte des conditions structurelles et esthétiques du projet.

La norme NBN B21-311 distingue les formats standard rectangulaires suivants (en mm):

Le format standard le plus utilisé est le format «belge» (220 x 110 mm).

En plus de ces formats standard, les dimensions suivantes sont également largement utilisées (en mm): 200 x 200, 300 x 200, 300 x 150, ...

Les pavés de grand format ont des avantages et des inconvénients.

- Avantages:
  - meilleure diffusion des charges vers la couche sous-jacente;
  - moins de joints;
  - pose plus rapide.

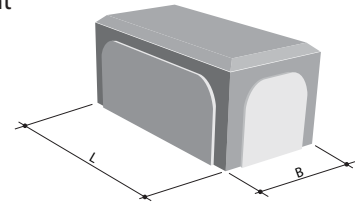


Figure 1.23

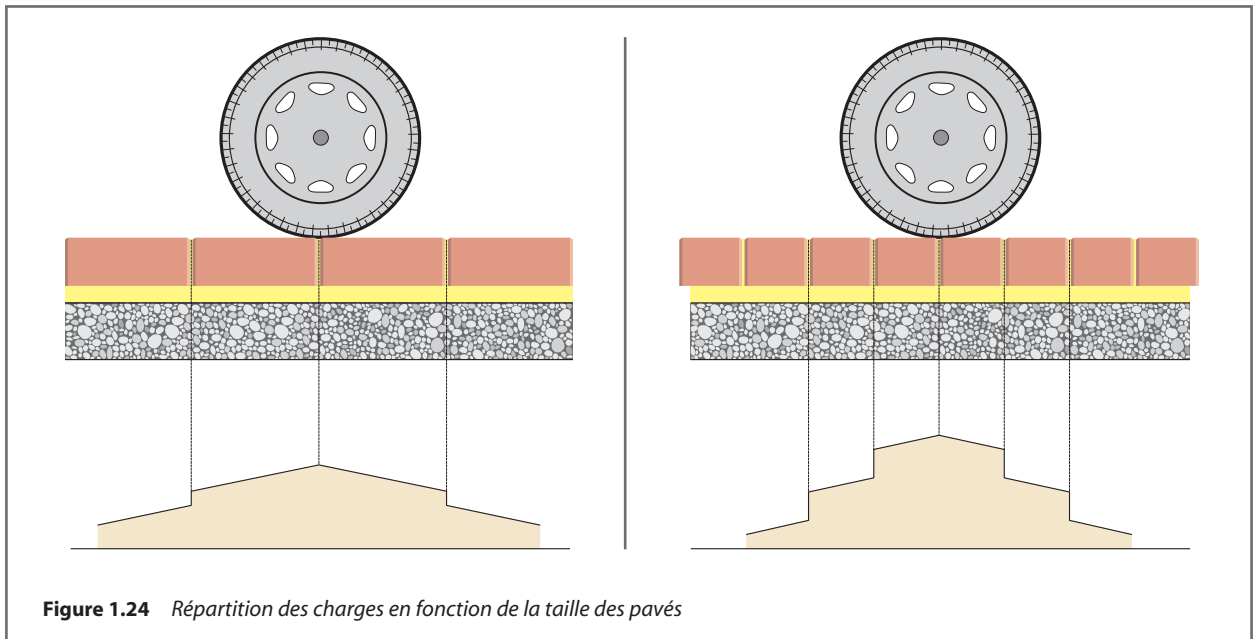


Figure 1.24 Répartition des charges en fonction de la taille des pavés

- Inconvénients:
  - moins bonne compensation des déformations du pavage;
  - plus de découpes pour les courbes;
  - tendance plus importante au basculement;
  - poids plus important lors de la pose.

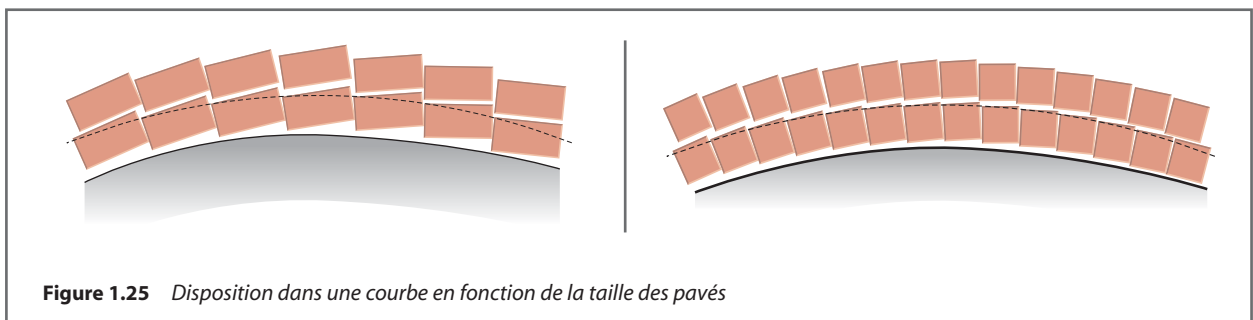


Figure 1.25 Disposition dans une courbe en fonction de la taille des pavés

Pour des charges plus importantes ainsi qu'aux endroits où se produisent de nombreux efforts tangentiels, on peut opter pour des pavés profilés à emboîtement (type B1 selon la NBN EN 1338). Une pose suivant l'appareillage en épi ou à joints alternés donne de bons résultats en matière de stabilité. Les inconvénients des pavés profilés sont leur pose difficile dans les courbes et sur les bords.

Les pavés profilés peuvent également être pourvus d'un épaulement (type B2 selon la NBN EN 1338). Grâce à cet épaulement, chaque pavé répartit l'effort vertical auquel il est soumis sur au moins deux pavés adjacents.

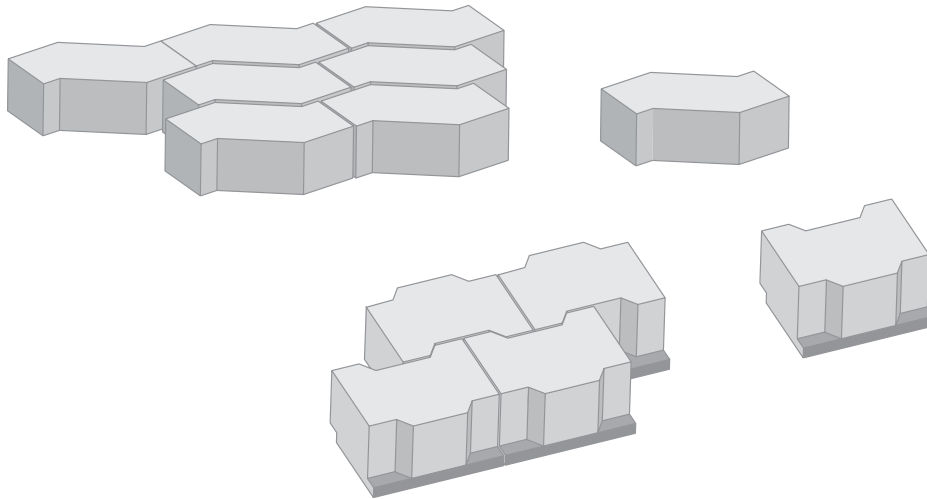


Figure 1.26 Différentes formes de pavés profilés

Un inconvénient de ce type de pavés est qu'il est pratiquement impossible de les enlever et de les replacer, ce qui rend les réparations très difficiles.

Les pavés à épaulement et emboîtement sont particulièrement recommandés pour les revêtements où des charges très lourdes sont attendues, par exemple les terrains industriels et les ports.

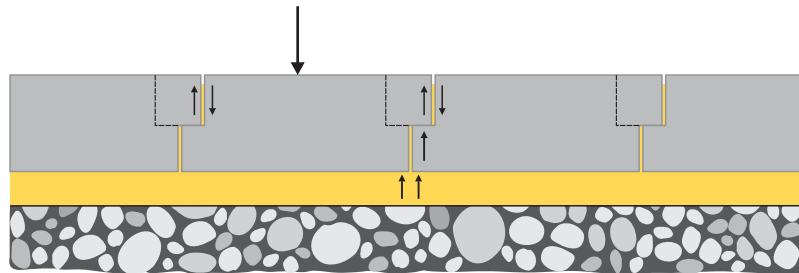


Figure 1.27 Principe de fonctionnement des pavés profilés avec support

#### 1.2.8.4 Epaisseur

Les épaisseurs les plus courantes sont 60, 70, 80, 100 en 120 mm. Suivant les normes NBN B 21-311 et NBN EN 1338, les tolérances dimensionnelles reprises au tableau 1.6 sont admises.

Épaisseur du pavé mm	Longueur mm	Largeur mm	Épaisseur mm
<100	±2	±2	±3
≥100	±3	±3	±4

La différence entre deux mesurages de l'épaisseur sur un même pavé doit être ≤ 3 mm

L'épaisseur doit toujours être adaptée au format choisi et à la classe de charge attendue (voir le tableau 1.2).

Tableau 1.6 Ecart admissible suivant les normes NBN B 21-311 et NBN EN 1338



Figure 1.28

Les tolérances en matière d'épaisseur des pavés en béton sont reprises dans le tableau ci-après, provenant des normes NBN B 21-311 et NBN EN 1338.

Selon la norme NBN EN 1338, les pavés en béton sont des éléments dont le rapport maximal entre la longueur et l'épaisseur est égal à 4. Les éléments ayant un rapport longueur/épaisseur > 4 sont appelés dalles; celles-ci ne peuvent pas faire face aux mêmes sollicitations que les pavés. Les dalles ne font pas l'objet du présent code.

## Principe du transfert de charge

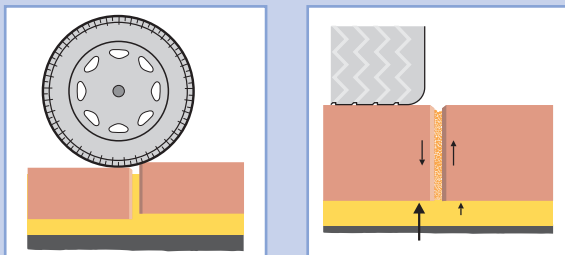


Figure 1.29 Transfert de charge entre les pavés

Le principe suivant lequel une épaisseur plus importante permet de reprendre des charges de trafic plus élevées est évident lorsqu'on observe le principe du transfert de charge.

Sous l'effet d'une charge, le pavé est poussé vers le bas. Le pavé rencontre alors une résistance de la part des matériaux avec lesquels il est en contact.

Le produit de scellement des joints offre également une résistance. Via le frottement entre les forces verticales du pavé et ce produit de scellement, la charge est transmise aux pavés adjacents.

Si les joints sont totalement remplis et que les pavés en béton sont enserrés par des éléments de contrebutage, une répartition importante des efforts peut avoir lieu entre les différents pavés constituant le revêtement.

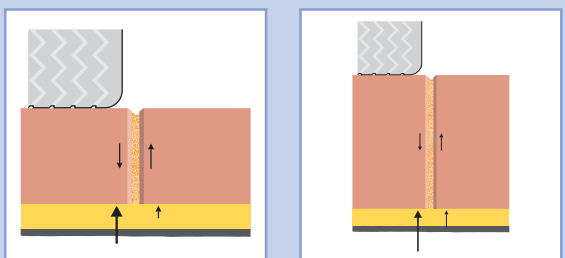


Figure 1.30 Influence de l'épaisseur des pavés sur le transfert des efforts verticaux

Qui dit pavé plus épais dit naturellement hauteur plus importante pour les joints, et donc une plus grande zone de contact entre le pavé et le produit de scellement. Une surface de contact plus importante a pour conséquence un transfert de charge plus important vers les pavés avoisinants.

De plus, des pavés plus épais sont moins sujets au basculement, ce qui réduit le risque de dégradations.

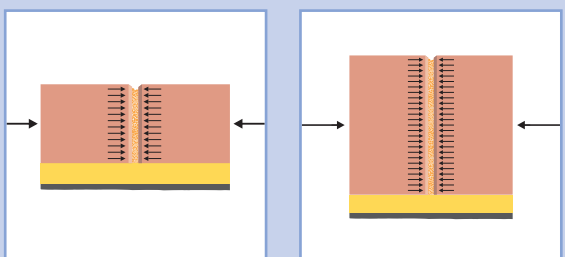


Figure 1.31 Transfert de force horizontale dans les joints en fonction de l'épaisseur du pavé

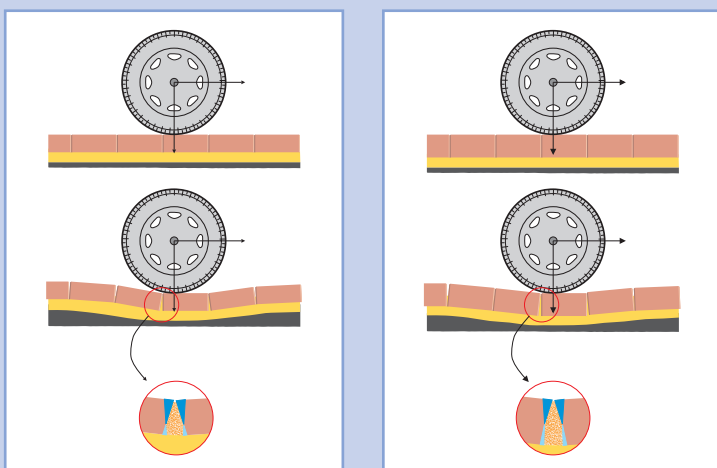


Figure 1.32 Contraintes dans les joints en fonction de la déformation du pavage et de l'épaisseur des pavés

En outre, une surface plus importante diminue les efforts de compression qui s'exercent sur le produit de scellement. Ceci réduit le risque de glissement des pavés et de dégradation du produit de scellement.

### 1.2.8.5 Ecarteurs

Les écarteurs sont des élargissements de 0,5 à 2 mm situés sur les flancs du pavé.

Ceux-ci limitent le risque de dégradation du bord supérieur du pavé lors de la pose et garantissent une largeur minimale de joint après la pose.

Il existe des petits écarteurs (nervures) et des écarteurs plus larges (encoches).

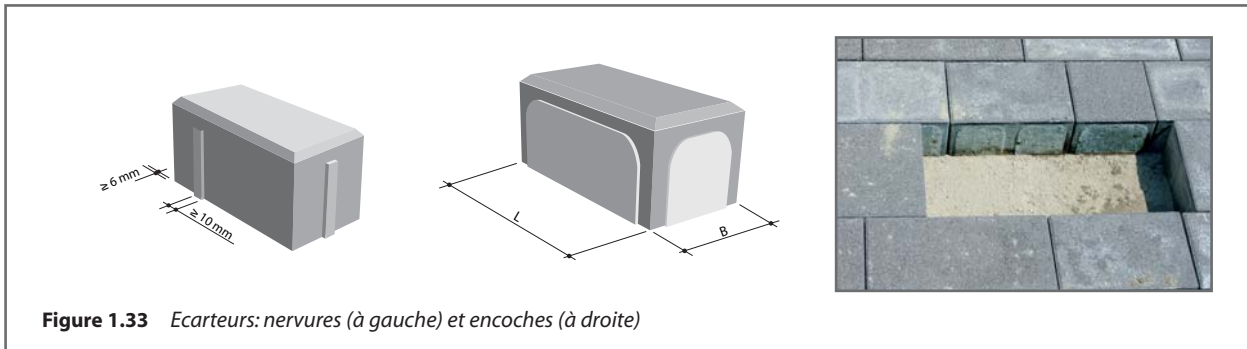


Figure 1.33 Ecarteurs: nervures (à gauche) et encoches (à droite)

Une troisième option est le pavé anti-éclat: la couche supérieure est ici plus petite que le «corps» du pavé.

La largeur de joint idéale après la pose est de 3 à 5 mm, en fonction du type d'écarteurs. Celle-ci est nécessaire pour garantir un scellement efficace des joints.

### 1.2.8.6 Chanfrein

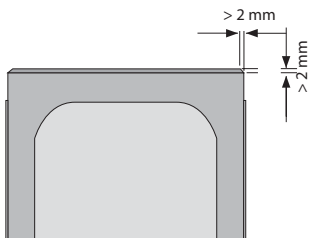


Figure 1.34 Chanfrein

Les pavés en béton peuvent être pourvus d'un chanfrein (au minimum 2/2 mm) sur le pourtour de leur face supérieure. Le principal avantage de celui-ci est que les arêtes des pavés ne sont pas endommagées ou ne se désagrègent pas lors de la vibration des pavés.

L'utilisation combinée de chanfreins et d'écarteurs est surtout bénéfique pour éviter les dégradations précoces en cas de trafic plus lourd.

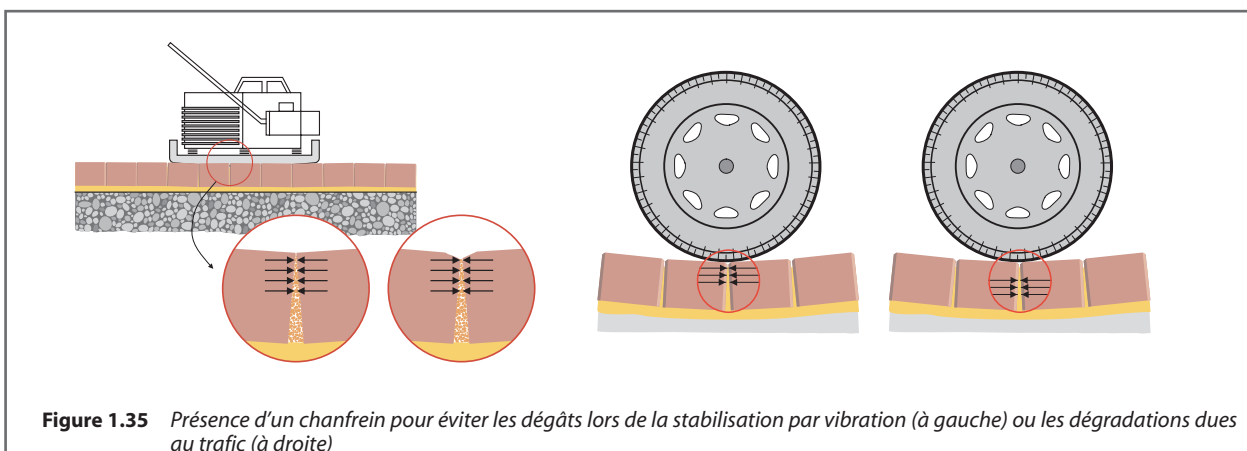
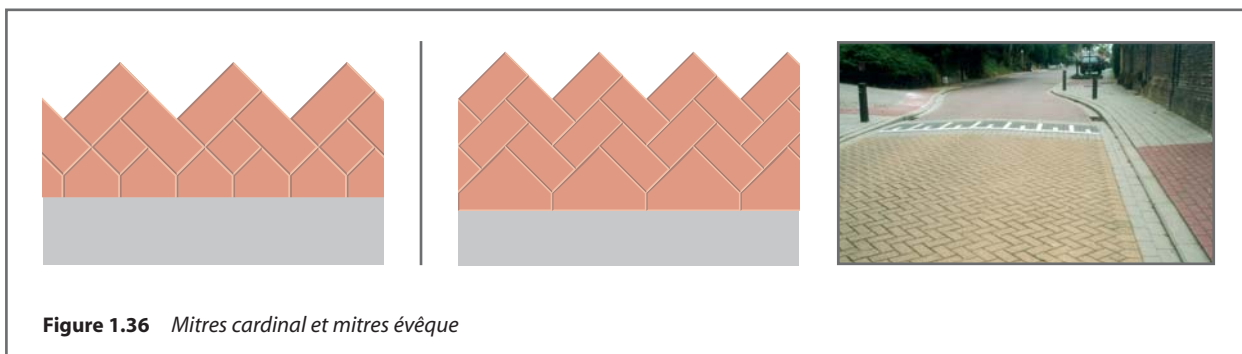


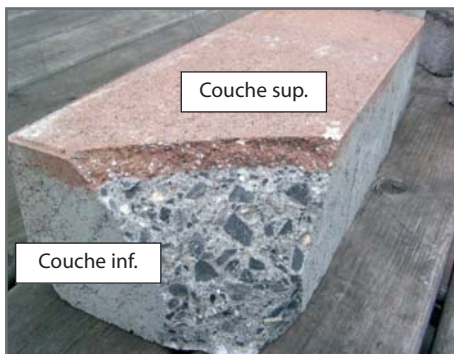
Figure 1.35 Présence d'un chanfrein pour éviter les dégâts lors de la stabilisation par vibration (à gauche) ou les dégradations dues au trafic (à droite)

### 1.2.8.7 Pièces spéciales

Afin de terminer le pavage le long des éléments de contrebutage, il existe diverses pièces spéciales, telles que les demi-pavés, les 1/3 ou 2/3 de pavé, les claveaux, les chapelles, les mitres, etc.



### 1.2.8.8 Finition de surface



Le choix du type de pavés en béton est déterminé tant selon des considérations esthétiques que fonctionnelles. Il existe différentes manières pour adapter l'aspect d'un pavé en béton aux exigences posées.

#### 1.2.8.8.1 Structure des pavés en béton

Les pavés en béton sont généralement produits en deux couches, avec une couche inférieure plus grossière et une couche supérieure plus fine. Ces deux couches sont compactées lorsqu'elles sont encore fraîches pour obtenir un pavé compact.

La couche inférieure:

- est constituée d'un béton de composition plus grossière;
- a une teneur en ciment plus faible;
- n'est pas colorée dans la masse;
- assure une résistance et une tenue suffisantes.

La couche supérieure:

- est constituée d'un béton de composition plus fine;
- a une teneur en ciment plus élevée;
- est teintée dans la masse, par ajout de pigments (s'il s'agit d'une autre couleur que le gris);
- assure la tenue de la couleur, la résistance à l'usure ainsi qu'aux cycles de gel-dégel.



Les pavés de béton peuvent également être produits en une couche, sans couche de roulement (en fonction de la machine et de l'application). Le béton frais utilisé doit alors être teinté dans la masse. De manière générale, ce processus de fabrication favorise moins la bonne tenue de la couleur et la résistance à l'usure.

#### 1.2.8.8.2 Finition standard: pas de traitement de surface

En production standard, la surface supérieure n'est pas traitée après le compactage. Cela donne un aspect fermé et homogène.





Figure 1.39

La texture superficielle des pavés en béton peut être déterminée par la composition du béton et par le choix des granulats utilisés. La granularité et l'ajout ou non de fractions sableuses plus fines sont déterminants pour obtenir une structure fermée ou ouverte. Il est même possible de confectionner une couche supérieure très ouverte, possédant des propriétés de réduction du bruit. Combiner une couche supérieure ouverte avec une couche inférieure constituée d'un béton très ouvert permet d'obtenir un pavé poreux et perméable.

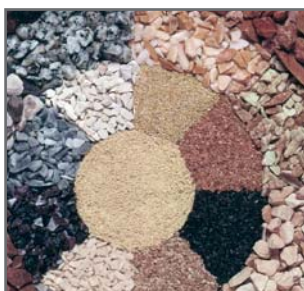


Figure 1.40

Les granularités les plus fréquentes de granulats naturels concassés sont 0/2 mm, 1/3 mm et 2/5,6 mm.

La couleur des couches supérieures non traitées est surtout déterminée par la couleur du ciment utilisé (blanc ou gris), par la couleur de la fraction sableuse fine inerte, des granulats et par les pigments inorganiques ajoutés (généralement des oxydes de fer).

#### 1.2.8.8.3 Stabilité du coloris de la couche de roulement

La couleur et la texture de la couche de roulement seront modifiées lors de son utilisation sous l'effet de l'usure mécanique et des conditions climatiques telles que le gel, les pluies acides, les sels de déverglaçage, etc.

La peau de ciment à la surface va légèrement s'user sous l'influence du trafic, rendant ainsi visible la couleur du sable et des granulats utilisés à la surface.

L'application d'une teneur en ciment suffisamment élevée et de granulats durs et de teinte inaltérable dans les différentes fractions permet d'obtenir une couche supérieure résistant longtemps à l'usure et à la décoloration.

La couleur du ciment et de la fraction sableuse la plus fine est en premier lieu influencée par l'ajout éventuel de pigments. Des colorants stables et inorganiques (oxydes de fer) garantissent une coloration durable.

L'impact des granulats les plus gros dans la couche supérieure est décisif sur le long terme. Dans le cas d'une surface non traitée, ils ne deviennent visibles qu'après la première usure. Il est dès lors important d'adapter leur couleur à la couleur du mortier de la couche supérieure. Ainsi, cette couche conserve sa couleur d'origine, même après une utilisation de longue durée.

Les granulats naturels sont disponibles dans tous les coloris: du jaune au rouge, du beige au brun, du vert au mauve, du blanc au noir. La richesse de la nature permet d'octroyer aux pavés en béton une grande variété de couleurs.

Pour obtenir des couches supérieures de couleur stable, il faut toujours utiliser des gravillons durs de couleur correspondante, comme:

- du basalte pour le noir;
- du porphyre pour le gris;
- du granite pour le rouge ou le jaune;
- du quartz pour le blanc.

Outre la couleur des granulats en pierre naturelle, leur dureté a également son importance. Tous les granulats de

La pierre naturelle n'est pas suffisamment dure pour pouvoir être utilisée dans des pavages fortement sollicités. De manière générale, les matériaux dont la dureté est d'au moins 6 sur l'échelle de dureté de Mohs, tels que le granite, le porphyre, le basalte et le quartz, donnent de bons résultats. Les matériaux plus tendres comme le calcaire ou le marbre ne sont pas recommandés, à moins qu'ils ne soient appliqués dans des surfaces polies très épaisses ou dans des proportions limitées en combinaison avec des granulats durs.

Oltre la dureté (sur l'échelle de Mohs), les caractéristiques suivantes ont également leur importance pour une utilisation dans la couche de roulement:

- le coefficient de polissage accéléré (CPA): donne une idée de la résistance au polissage = degré de polissage;
- le coefficient Los Angeles: donne une idée de la résistance aux chocs = degré de fragmentation;
- la valeur Micro-Deval: donne une idée de la résistance à l'usure = niveau d'usure.

Les recherches ont démontré qu'une méthode de mesure cohérente pour déterminer la stabilité de la couleur n'était pas possible. Si l'on prend en considération les recommandations susmentionnées, il est néanmoins possible de garantir une couleur durable.

#### 1.2.8.4 Traitements de surface

Les pavés en béton peuvent être améliorés par un traitement de surface. Ceci peut modifier l'aspect ou la texture de la couche supérieure par dénudage, grenailage, bouchardage, polissage, fendage, etc.

L'aspect variera selon le type de traitement. Après celui-ci (dénudage, grenailage, bouchardage, polissage, fendage, etc.), les granulats utilisés, et donc leur couleur spécifique deviennent visibles en surface.

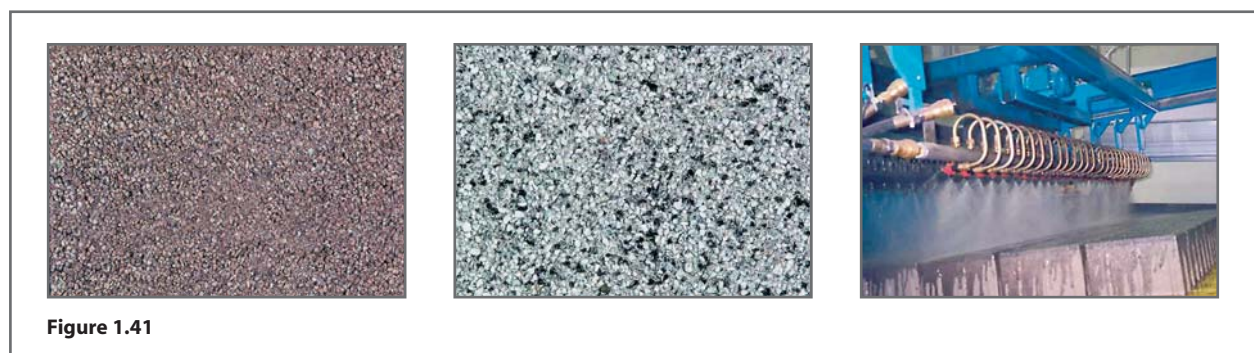
Tous ces traitements, à l'exception du dénudage, nécessitent un durcissement suffisant de la surface et ont généralement lieu lors d'une deuxième phase de production. Le dénudage est, quant à lui, réalisé lors de la production sur le béton frais, immédiatement après le compactage des éléments.

Il est possible d'obtenir un effet de vieillissement par tambourinage ou par martèlement.

L'utilisation de granulats naturels détermine en grande partie l'aspect de la couche supérieure après traitement. Les granulats naturels sont entre autres le basalte noir, le porphyre gris, le granite rouge ou jaune, le marbre brun, le quartz blanc, etc.

Oltre ceux en pierre naturelle, d'autres types de granulats, plus surprenants, peuvent être utilisés pour obtenir des couleurs ou des effets de luminosité spéciaux, comme des scories de cuivre, du verre, des matériaux fluorescents, etc.

##### a) Dénudage



Le dénudage de la couche supérieure a lieu immédiatement après le compactage des pavés de béton, donc à l'état frais (non durci). Tout d'abord, on élimine après rinçage la peau de ciment et la fraction sableuse la plus fine, afin de rendre visibles tous les granulats colorés utilisés. Il est possible de réaliser un dénudage fin, moyennement grossier ou grossier, afin de conférer à la surface une certaine structure.



### b) Grenailage

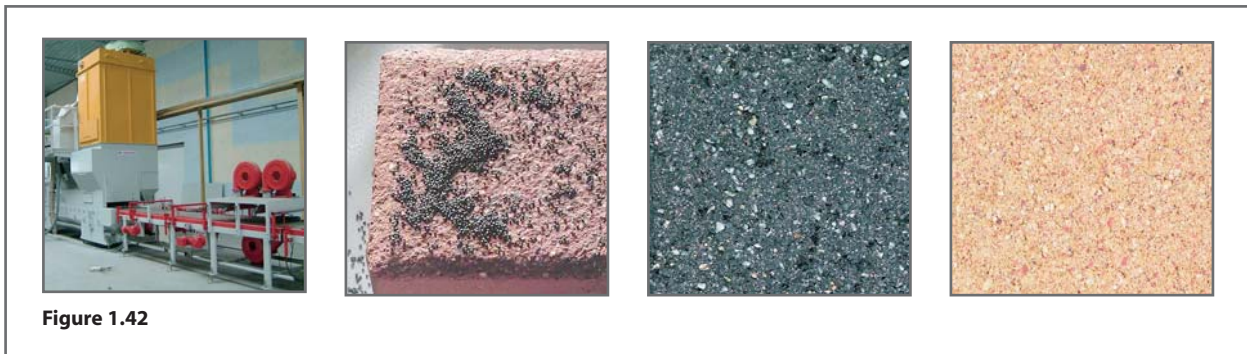


Figure 1.42

La couche supérieure est ici rendue plus rugueuse en projetant sous pression de la grenaille ou des billes d'acier inoxydable. Les granulats utilisés sont pour ainsi dire éclatés et la peau de ciment est éliminée. La surface devient ainsi plus terne.

Ici aussi, il est possible de réaliser un grenailage fin, moyennement grossier ou grossier. Il est même possible de réaliser des lignes ou des carrés, en ne grenillant la surface que partiellement.

### c) Bouchardage



Figure 1.43

Dans le cas du bouchardage, l'aspect est déterminé par un traitement à l'aide de petits marteaux dotés de pointes en acier. Le bouchardage rend la structure inégale et est un traitement plus grossier que le grenailage pour rendre la surface davantage rugueuse. Celle-ci devient également plus terne et plus matte. Les bords de la couche supérieure sont également plus endommagés après le bouchardage qu'après le grenailage, ce qui provoque un effet de vieillissement.

### d) Polissage

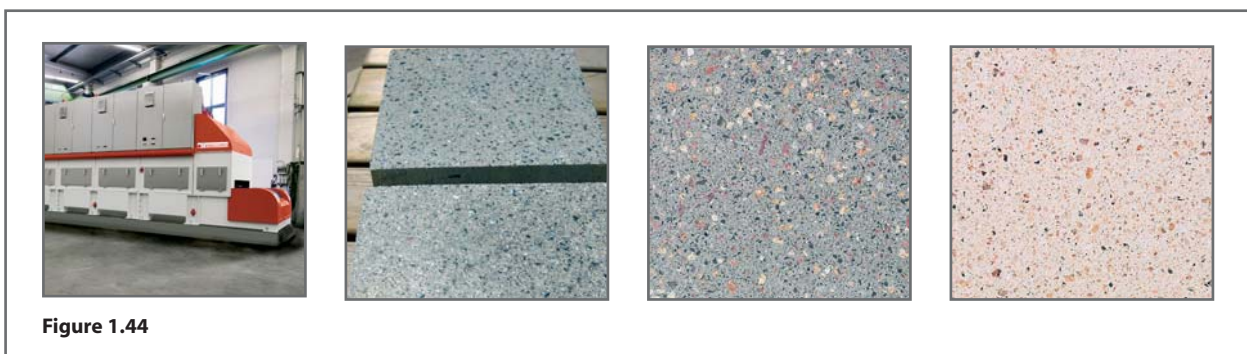


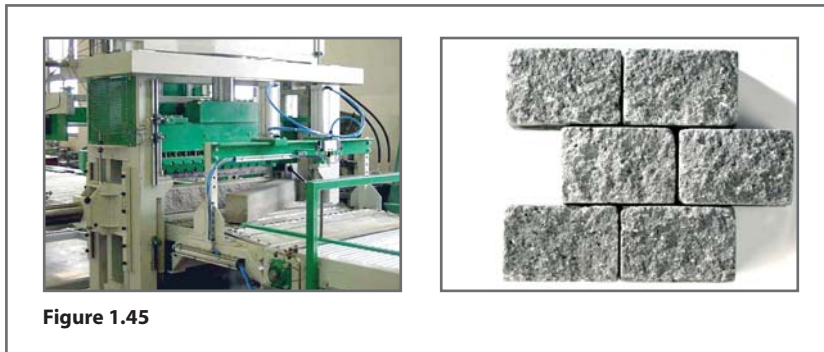
Figure 1.44

La couche supérieure est ici lissée sous eau avec du diamant ou du corindon jusqu'à obtenir une surface unie et lisse où les granulats de pierre naturelle sont totalement mis en valeur. Dans la pratique, des granulats plus tendres comme le calcaire ou le marbre sont aussi utilisés, car ils sont plus faciles à polir.

Plus la surface est polie finement, plus le résultat sera lisse et brillant. Il est possible de réaliser un polissage brillant, doux ou mat. Il est important que la porosité des surfaces polies soit faible. Pour cela, un béton de composition adaptée est requis.

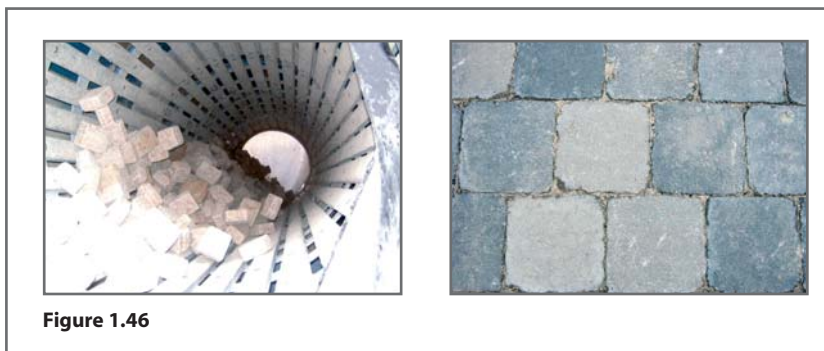
Le polissage peut aussi être combiné à d'autres traitements, comme le grenailage ou le bouchardage, pour obtenir des effets particuliers supplémentaires, mais également une surface plus rugueuse.

#### e) Fendage



Les pavés de béton peuvent être fendus sur toute leur surface. On utilise ici la face intérieure du pavé comme surface de roulement, ce qui fait que les granulats de pierre naturelle sont visibles. Il s'agit du traitement de surface donnant le résultat le plus rugueux.

#### f) Tambourinage



Tambouriner les pavés en béton permet de leur donner un aspect vieilli. Dans un tambour circulaire, les pavés s'entrechoquent, ce qui permet d'endommager artificiellement les coins et les arêtes. Dans ce cas-ci, c'est tout le pavé, et pas seulement sa couche supérieure, qui est traité.

Ce traitement n'est possible qu'une fois que les produits ont totalement durci et a donc lieu lors d'une seconde phase, après un certain temps de stockage.

#### g) Vieillissement «in-line»



Comme alternative au tambourinage, il existe maintenant des solutions où le vieillissement se fait «in-line». La surface supérieure (y compris les bords) est endommagée à l'aide de battants, de chaînes, de boules d'acier, de marteaux ronds, etc. Ce traitement fait souvent apparaître de légères rayures.

### h) Imprégnation



Figure 1.48



Une fois que la couche supérieure est traitée, l'imprégnation peut offrir une protection supplémentaire contre les salissures externes. Celle-ci a lieu lors de la production ou après la pose des pavés, et consiste à pulvériser sur la surface un produit lié à l'eau à base de silicone ou d'acrylates. Le traitement a pour effet de repousser l'eau, la saleté et/ou l'huile, ce qui permet de garantir

plus longtemps les caractéristiques de la surface. Un autre avantage est que les pavés sont plus faciles à nettoyer après jointoyage.

### i) Comparaison entre différents traitements de surface



Figure 1.49 Surface supérieure du pavé non traitée, dénudée, grenillée et bouchardée

La différence de rugosité et de texture superficielle entre les traitements les plus courants apparaît clairement dans la figure 1.49.

### j) Autres traitements



Couche supérieure en tôle larmée en aluminium



Couche supérieure en pierre naturelle

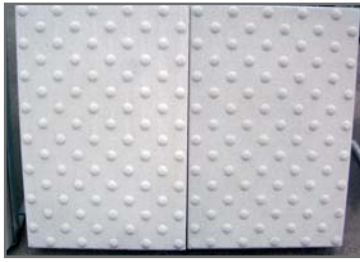


Couche supérieure en caoutchouc

Figure 1.50

Même sans traitement, une surface en pavés de béton peut avoir un aspect particulier. D'une part, on peut combiner le béton avec d'autres matériaux tels que de la tôle larmée, de la pierre naturelle ou du caoutchouc (collés sur ou ancrés dans le béton). D'autre part, l'aspect peut être déterminé par la forme sous laquelle le pavé en béton est pressé ou sous laquelle il est coulé. Classiquement, il s'agit de dalles à protubérances à l'attention des personnes malvoyantes ainsi qu'un relief imitant la pierre naturelle ou le bois.





Protubérances  
Figure 1.51



Imitation de pierre naturelle



Imitation de bois

### 1.2.8.9 Choix relatif à la sécurité et au confort

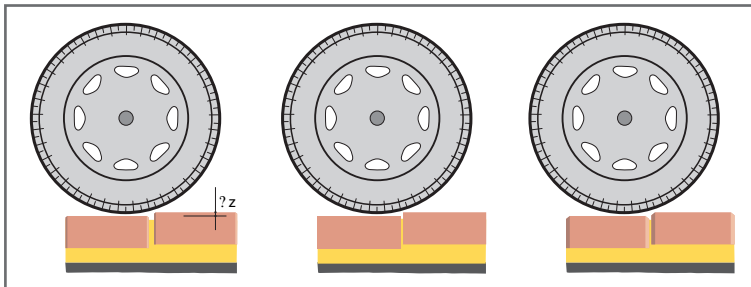


Figure 1.52 Différence de hauteur entre deux pavés moins perceptible dans le cas de pavés munis de chanfreins

Un traitement comme le grenailage, le vieillissement, le dénudage ou le bouchardage peut améliorer la sécurité grâce à l'augmentation de rugosité qu'il apporte. Un revêtement en pavés de béton incite le conducteur à ralentir, en raison de l'effet optique des joints. Cette sensation diminue lorsque les dimensions du pavé dépassent 150 mm, vu le nombre de joints moins important.

Les éventuelles différences de hauteur entre des pavés adjacents sont moins frappantes quand les pavés ont un chanfrein. Cela donne un meilleur sentiment de confort à l'utilisateur, et un meilleur rendu esthétique.

### 1.2.8.10 Choix relatif aux exigences acoustiques

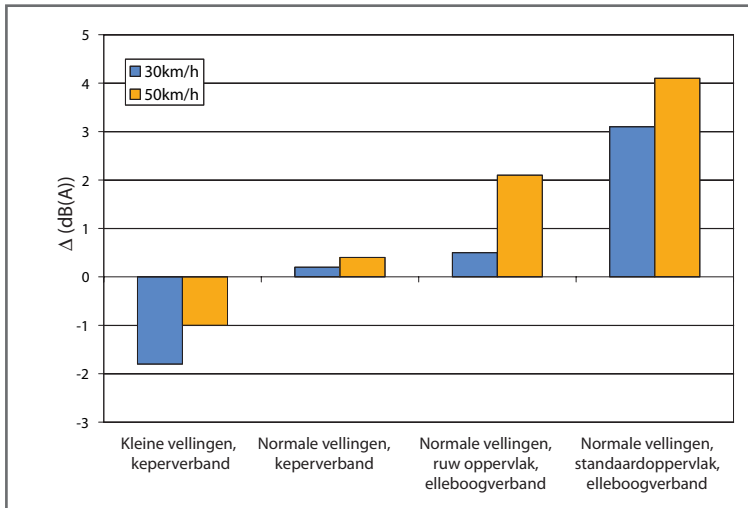


Figure 1.53 Influence du chanfrein, de l'appareillage et de la finition de surface sur le bruit de roulement

La forme, le format, les chanfreins, l'appareillage, la largeur des joints et la structure de la surface ont un impact sur le bruit de roulement.

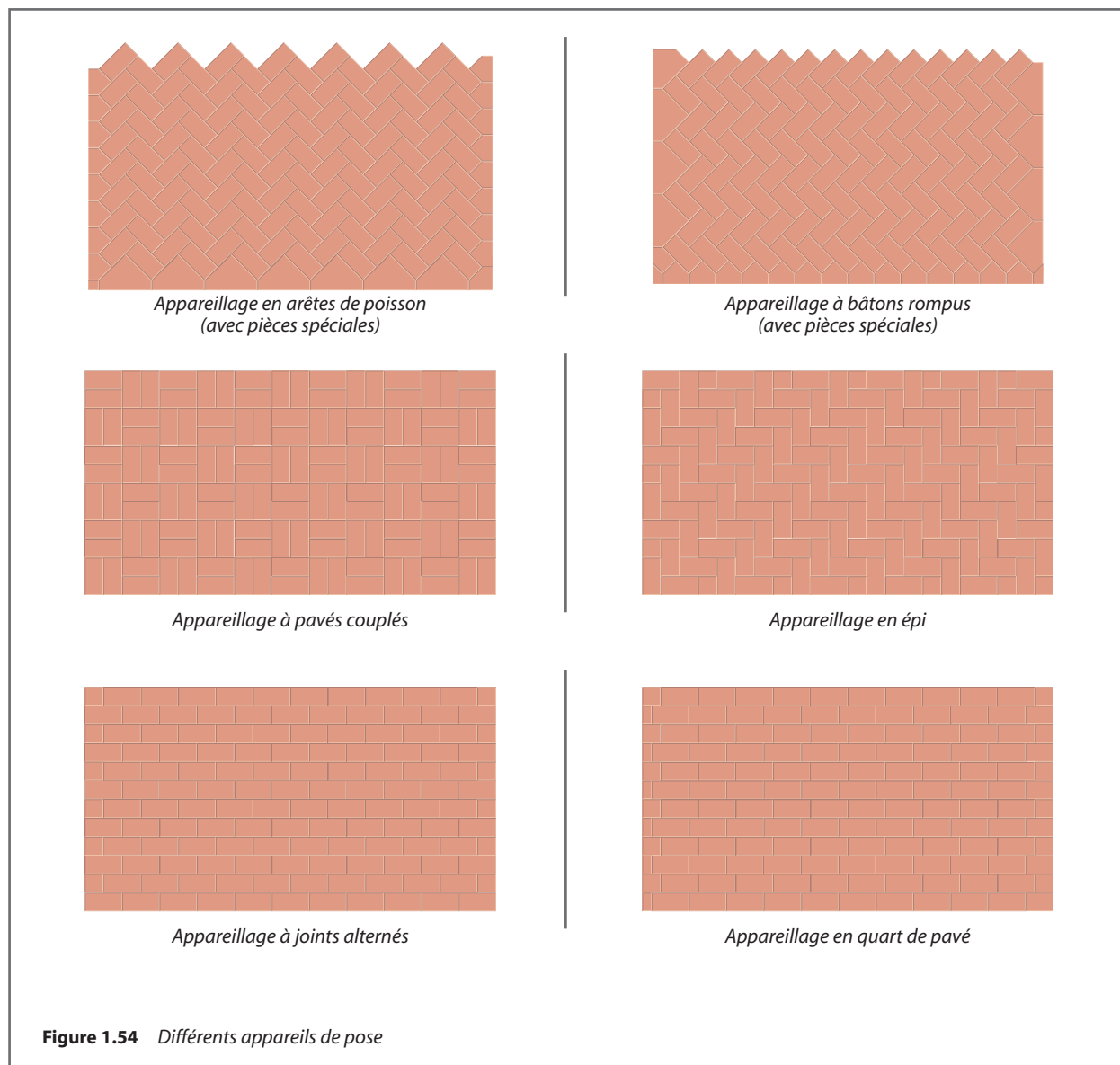
De manière générale, on peut déclarer que le bruit du moteur à des vitesses inférieures à 50 km/h couvrira toujours le bruit de roulement.

Le bruit de roulement, causé par les pneus des véhicules, peut être considérablement diminué en:

- optant pour des pavés en béton dont la texture superficielle est ouverte ou finement structurée;
- optant pour une largeur de joints réduite (3 à 5 mm);
- appliquant des petits chanfreins (2 x 2 mm);
- adaptant l'appareillage: arêtes de poisson ou à bâtons rompus.

L'influence de la taille des chanfreins, de la rugosité de surface et de l'appareillage sur le bruit de roulement est représentée à la figure 1.53.

### 1.2.8.11 Choix de l'appareillage



Pour les pavages des catégories de trafic I à III, la préférence doit être donnée aux appareillages à bâtons rompus, en arêtes de poisson ou en épi.

### 1.2.9 Scellement des joints

Le matériau de scellement des joints doit satisfaire au cahier des charges type en vigueur. La taille de grain maximale est de 1 mm pour les petits joints ou de 0,8 fois la largeur des joints, avec un maximum de 8 mm.

Dans les matériaux de scellement de joints non liés, on utilisera de préférence des composants anguleux, pour obtenir une meilleure cohésion.

Parmi les bons produits de scellement des joints, citons:

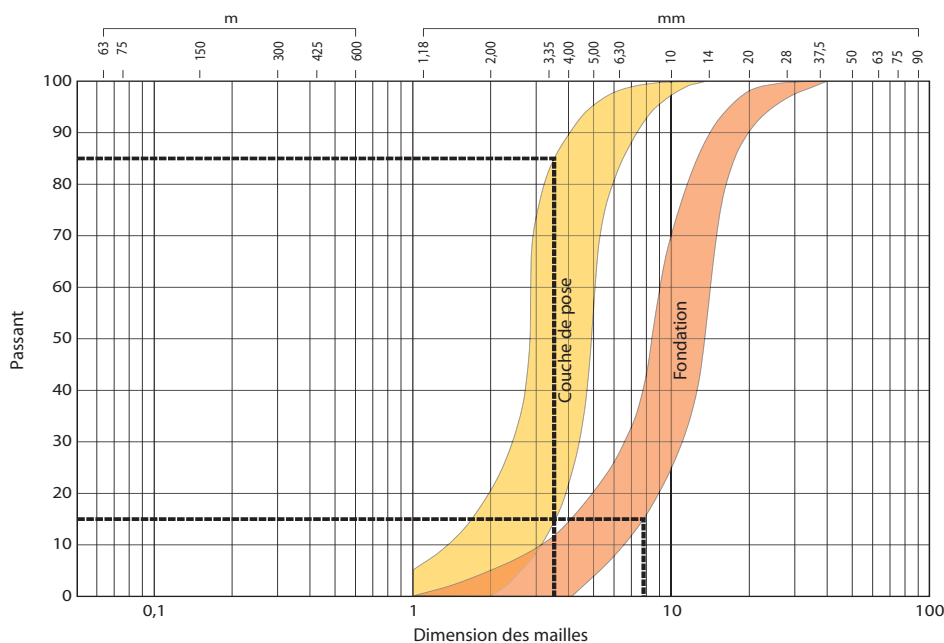
- le sable naturel ou artificiel (sable 0/1 à 0/2, sec et non collant, avec moins de 10 % de particules fines < 0,063 mm);

- un empierrement fin 0/4 ou 2/4 (pour des joints plus larges);
- le mortier de jointoiment;
- le mortier modifié (ajout de polymères).

La stabilité du filtre avec la couche de pose doit être garantie, afin d'éviter que le joint ne disparaisse dans la couche de pose. La recherche a démontré que celle-ci pouvait être garantie en respectant la règle suivante:

$$D_{15} \text{ couche inférieure} / D_{85} \text{ couche supérieure} \leq 5$$

où  $D_{15}$  et  $D_{85}$  sont les dimensions des mailles qui correspondent respectivement à 15% et 85% de passant. Les joints doivent toujours être remplis totalement, afin d'éviter que le pavage ne soit instable ou ne se dégrade.



**Figure 1.55** Exemple de stabilité du filtre entre la fondation et la couche de pose

## 1.2.10 Profil transversal

Il faut veiller à assurer une bonne évacuation des eaux de ruissellement, et empêcher l'infiltration des eaux de pluie. Un revêtement en pavés de béton doit avoir une inclinaison transversale minimale de 2 %. La taille des pavés a également un impact sur le profil transversal à prescrire (et inversement). Si les pavés sont de grand format ou sont très épais, les changements de pente seront plus difficiles à réaliser.

Les profils transversaux les plus utilisés sont décrits dans les lignes qui suivent.

### 1.2.10.1 Profil à pente transversale unique

Avec ce profil, les eaux de pluie sont évacuées d'un seul côté.

Il est souvent utilisé pour les routes ayant un caniveau d'un seul côté, dans les virages, pour les pistes cyclables et les trottoirs, etc.



**Figure 1.56**



### 1.2.10.2 Profil en toit

En règle générale, ce profil est peu utilisé pour les voiries urbaines.

Il s'agit d'un double profil transversal, où l'eau peut s'écouler des deux côtés.

Au milieu se trouve un changement brusque de pente, ce qui diminue le confort.

Un profil en toit ne peut pas être réalisé avec des pavés de grand format ou d'épaisseur importante, car il n'est alors pas possible de réaliser le changement brusque de pente transversale.



Figure 1.57

### 1.2.10.3 Profil bombé modifié

Dans le cas d'un profil bombé modifié, le changement de pente est plus doux au centre de la chaussée. C'est ce profil qui satisfait le mieux aux exigences actuelles en matière de revêtements.

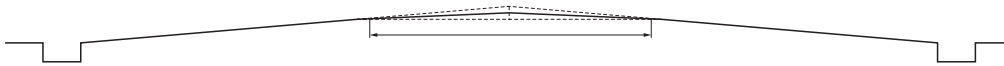


Figure 1.58

### 1.2.10.4 Profil en toit inversé

Ce profil est appliqué dans les rues à faible trafic. Il s'agit d'un profil en toit inversé où l'eau est évacuée vers le milieu de la route, où se trouve une rigole.



Figure 1.59



# Chapitre 2

## Exigences supplémentaires lors de la conception de pavages en béton pour des applications particulières

### 2.1 Prescriptions spécifiques aux pavages drainants



Figure 2.1

#### 2.1.1 Introduction

Les pavages drainants sont utilisés comme système de stockage provisoire et de drainage. En captant l'eau sur place, en la stockant et en l'infiltrant ou en l'évacuant de manière différée, il est possible d'éviter la surcharge des systèmes d'égouttage, d'éviter l'entrée en action des déversoirs et de réduire le risque d'inondation.

Les pavages drainants présentent non seulement l'avantage d'empêcher que les eaux qui s'écoulent aillent immédiatement dans les égouts ou dans les cours d'eau, mais ils contribuent également à augmenter le niveau des nappes phréatiques. Si aucune infiltration n'est possible, l'eau est conservée provisoirement dans la construction pour ensuite être évacuée de manière différée vers un bassin ou une fosse d'infiltration.

#### 2.1.2 Types de pavages drainants

De manière générale, les pavés drainants en béton se divisent en quatre catégories.

##### 2.1.2.1 Pavés en béton à joints élargis



Figure 2.2

Les faces latérales de ces pavés en béton sont pourvues d'arêtes ou d'écarteurs, ce qui, une fois les pavés posés, crée un joint plus large. L'eau s'écoule ensuite au travers de ces joints vers la fondation et le sol. Pour obtenir ce type de pavés, il suffit en fait d'élargir les butées d'un pavé classique jusqu'à l'obtention du joint requis.

Suivant les prescriptions techniques reprises au PTV 122, la surface des joints obtenue avec ce type de pavés doit représenter au moins 10 % de la surface du revêtement. Afin de garantir une perméabilité de surface suffisante, le coefficient de perméabilité du matériau de jointoiment doit s'élever à au moins  $5,4 \times 10^{-4}$  m/s.

### 2.1.2.2 Pavés en béton avec ouvertures de drainage



Figure 2.3

La forme spécifique de ces pavés crée lors de la pose des ouvertures qui permettent l'infiltration de l'eau. Pour obtenir ce type de pavés, il suffit en fait de réaliser une ouverture dans la forme classique carrée ou rectangulaire sur un ou plusieurs côtés, voire au centre du pavé.

Suivant les prescriptions techniques reprises au PTV 122, la surface des ouvertures de drainage doit représenter au moins 10 % de la surface du revêtement. Ici aussi, le coefficient de perméabilité du matériau de jointoiment doit atteindre au moins  $5,4 \times 10^{-4}$  m/s.

Les modèles à joints élargis et à ouvertures de drainage répondent, pour les autres caractéristiques comme la résistance à la rupture en traction par fendage, la tolérance dimensionnelle, etc. aux mêmes normes NBN EN 1338 et NBN B 21-311 que les pavés en béton classiques.

### 2.1.2.3 Pavés en béton poreux



Figure 2.4

Ces pavés sont perméables grâce à la composition poreuse du béton. Pour obtenir ce type de pavés, il suffit en fait de recourir à l'utilisation de béton poreux pour obtenir la capacité d'infiltration requise.

La capacité d'infiltration de ce type de pavés doit s'élever en moyenne à au moins  $5,4 \times 10^{-5}$  m/s, conformément aux prescriptions techniques reprises au PTV 122.

En raison de leur structure poreuse, les pavés en béton poreux possèdent une résistance à la rupture en traction par fendage plus faible ( $>2,5$  MPa) que les pavés en béton classiques ( $>3,6$  MPa), mais forment une surface continue, ce qui améliore la praticabilité.

	Pavés à joints élargis Pavés avec ouvertures de drainage	Pavés poreux
NORME	NBN EN1338 et NBN B 21-311	PTV 122
RESISTANCE A LA RUPTURE EN TRACTION PAR FENDAGE en N/mm <sup>2</sup>	3,6	2,5
TOLERANCES en mm		
Longueur	± 2	± 2
Largeur	± 2	± 2
Hauteur	± 3 (pour hauteur < 10 cm) ± 4 (pour hauteur ≥ 10 cm)	± 3 (pour hauteur < 10 cm) ± 4 (pour hauteur ≥ 10 cm)
ABSORPTION max. en %	6,0	Pas d'application
PERMEABILITE min. moyenne en l/s/ha	Pas d'application	540 l/s/ha ( $5,4 \times 10^{-5}$ m/s)
PERMEABILITE min. individuelle en l/s/ha	Pas d'application	270 l/s/ha ( $2,7 \times 10^{-5}$ m/s)
Surface des ouvertures ou des joints élargis en % (de la surface totale)	10 %	Pas d'application

Tableau 2.1 Prescriptions pour les pavages perméables

### 2.1.2.4 Dalles-gazon en béton



Figure 2.5

Les dalles-gazon en béton peuvent également être utilisées comme pavages drainants en béton à condition qu'elles soient posées sur une structure perméable et que les ouvertures soient remplies de pierres concassées. Des informations sur les dalles-gazon peuvent être trouvées dans la brochure «Dalles-gazon en béton» de la FEBE.

Les exigences relatives aux dalles-gazon en béton figurent au PTV 121.

### 2.1.3 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement des revêtements perméables en pavés de béton repose sur les éléments suivants:

- captage des eaux en surface: cette étape est assurée par les pavés. Ceux-ci doivent pour cela être suffisamment perméables, soit via le pavé lui-même, soit grâce à des joints élargis ou à des ouvertures de drainage. Les pavés transfèrent aussi vite que possible l'eau vers les couches sous-jacentes;
- portance: la portance est assurée par la fondation. Lors du stockage provisoire de l'eau dans la structure, il faut éviter autant que possible que la fondation ne soit saturée en eau afin de ne pas nuire à la portance.
- stockage provisoire des eaux de pluie: cette étape a lieu de préférence au bas de la structure. La sous-fondation doit servir de tampon, a fortiori lorsque le sol est peu perméable;
- évacuation des eaux de pluie, de préférence par infiltration dans le sol, ou par évacuation différée vers un bassin d'infiltration ou un fossé proche. Il est important que l'évacuation des eaux via un tuyau soit suffisamment différée, afin d'éviter les surcharges en aval et de permettre le stockage provisoire dans la structure.

### 2.1.4 Domaine d'application



Figure 2.6

Au niveau de la conception et du dimensionnement, tous les aspects qui sont pris en compte pour les revêtements classiques, comme un bon compactage des matériaux et une bonne qualité des granulats (surtout pour la couche de pose), doivent ici aussi être pris en considération. Il va de soi que la structure drainante à l'état sec doit avoir une portance égale à la structure d'un pavage classique: ce sont les mêmes exigences qui sont posées pour le fond de coffre et pour la fondation.

La diminution de la portance lors des périodes de stockage provisoire des eaux dans la construction limite cependant les possibilités d'application aux catégories de trafic II, III et IV (voir le tableau 1). Dans la pratique, cela signifie qu'une centaine de poids lourds tout au plus peut passer par jour. Par conséquent, les domaines d'application possibles sont les suivants:

- terrains industriels, zones pme, centres commerciaux;
- rues résidentielles;
- emplacements de parking;
- places et rues piétonnes;
- pistes cyclables;
- trottoirs;
- entrées de garage, terrasses.

En matière de confort, les pavés en béton à joints élargis ou à ouvertures de drainage sont moins adaptés aux pistes cyclables; les pavés poreux, de par leurs joints étroits et leur léger biseautage le sont par contre d'autant plus.

Dans les zones protégées 1 et 2 de captage d'eau, il n'est pas permis d'infiltrer de l'eau dans le sol, en raison de la réglementation spéciale en vigueur. La classification flamande des zones de captage d'eau se trouve sur le site web suivant: <http://dov.vlaanderen.be/doweb/html/3waterwingebieden.html>

### 2.1.5 Dimensionnement

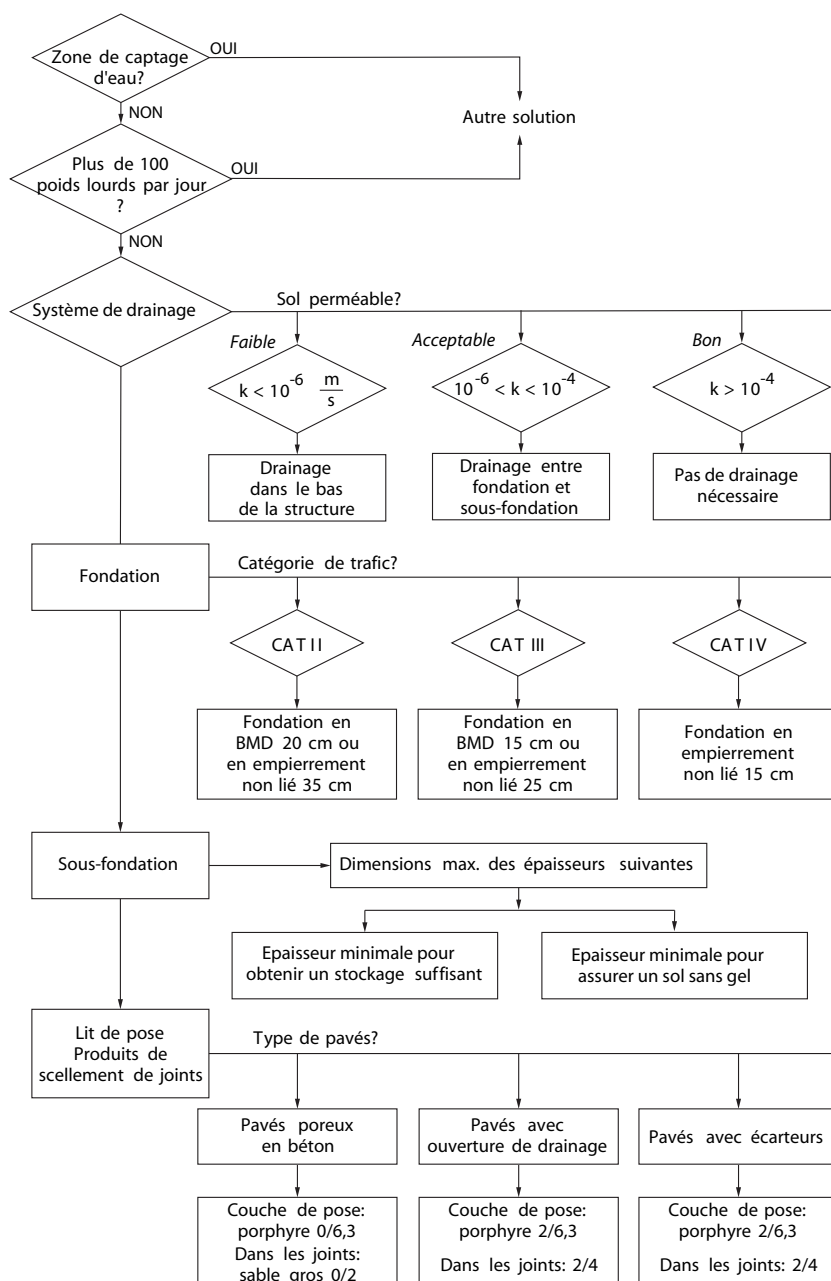
La structure est déterminée par les facteurs suivants: portance, capacité de stockage et type de sol. Elle doit résister aux charges de trafic et, en fonction de la perméabilité du sol en présence, transporter l'eau, la stocker et l'infiltrer. En outre, le sol doit être mis hors gel.

Les structures drainantes peuvent aussi bien servir à l'infiltration qu'au stockage provisoire. La perméabilité de l'ensemble (pavage, couche de pose, fondation et éventuellement sous-fondation) doit au minimum être égale à  $5,4 \times 10^{-5}$  m/s, ce qui correspond à une averse de 16 mm ou de 270 l/s/ha, en tenant compte d'un facteur de sécurité égal à 2. Une averse de cette intensité et d'une durée de 10 min a une période de retour statistique de trente ans.

Pour le dimensionnement, on peut utiliser l'arbre décisionnel suivant:

Les différents points sont développés ci-après. Lors du dimensionnement, il importe de garder à l'esprit le rôle des éléments intervenant dans la structure:

- système de drainage: évacuer l'eau si le sol n'est pas suffisamment perméable;





- sous-fondation: stocker provisoirement l'eau afin de rendre possible l'infiltration ou l'évacuation vers un exutoire. La sous-fondation sert également à mettre le sol hors gel;
- fondation: assurer la portance de la structure;
- couche de pose: fixer les pavés et compenser les petites différences de hauteur;
- pavés: constituer la surface du revêtement et laisser passer l'eau vers la construction sous-jacente.

Un aperçu des différentes structures standard obtenues est donné à la figure 2.12

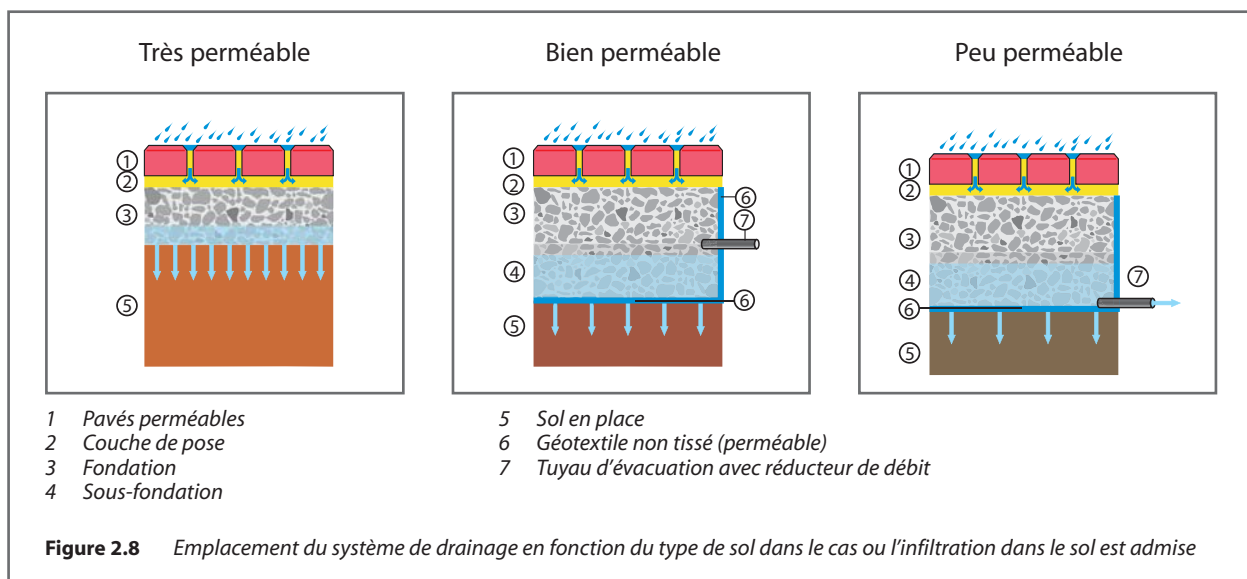
### 2.1.5.1 Dimensionnement de l'évacuation de l'eau et du système de drainage

Il n'est en principe plus nécessaire de prévoir des avaloirs en surface, ni d'égouts: les pavages drainants absorbent l'eau et la transfèrent vers les couches inférieures. Il est possible d'inclure des sécurités supplémentaires, par exemple en laissant des ouvertures dans les trottoirs en vue d'une évacuation vers des «zones vertes», ou bien en plaçant à côté de la structure une zone engazonnée située en contrebas. Le suivi des projets réalisés a démontré que la perméabilité des pavés se maintenait dans le temps. L'éventuel colmatage dû à la saleté se cantonne principalement à la surface, et peut donc être éliminé par nettoyage.

Selon le type de sol, il faudra prévoir un système de drainage au bas de la structure. On distingue ici les sols fortement perméables ( $k > 10^{-4}$  m/s), les sols suffisamment perméables ( $10^{-6}$  m/s  $< k < 10^{-4}$  m/s) et les sols non perméables ( $k < 10^{-6}$  m/s):

- dans le premier cas, aucun drainage n'est nécessaire;
- dans le deuxième cas, un système de drainage peut être mis en place à hauteur du niveau inférieur de la fondation. Ce système de drainage sert de déversoir. Ceci a comme avantage que la plus grande partie de l'eau pourra encore pénétrer dans le sol. En cas de très forte averse ou de pluie persistante, le déversoir de secours empêchera que l'eau n'arrive trop haut dans la structure;
- dans le cas d'un sol imperméable, ou si l'eau est retenue par une membrane étanche, il faut s'assurer que l'eau puisse s'évacuer de la structure. Pour ce faire, il faut prévoir un dispositif de drainage au bas de la construction. Ce dispositif ne doit pas nécessairement être enfoui dans le sol, étant donné que les couches granulaires assureront le drainage, permettant ainsi à l'eau d'atteindre automatiquement le point le plus bas. Il est important que l'eau puisse ensuite être évacuée via un réducteur de débit.

La figure 2.8 indique les raccordements du système de drainage en fonction du type de sol.



Lorsqu'aucune infiltration n'est possible, il faut placer une membrane imperméable au niveau du fond de coffre. Cette membrane est protégée par un géotextile pour éviter qu'elle ne soit perforée par l'empierrement. Au niveau du fond de coffre, on prévoit une inclinaison vers le réducteur de débit, pour s'assurer que l'eau est évacuée en dessous de la structure, comme le montre la figure 2.9.

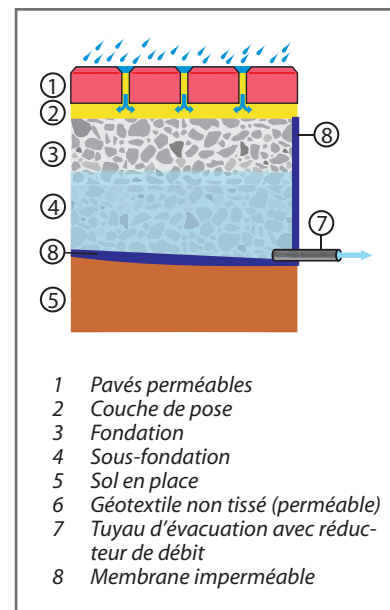
Le diamètre du tuyau de drainage dépend de la quantité d'eau qui doit et qui peut être évacuée, et donc de la taille de la surface et de la capacité du bassin de réception. Le débit d'évacuation est déterminé par l'évacuation autorisée des eaux de pluie. Le système de drainage même ne doit pas tenir compte du stockage provisoire des eaux de pluie et peut donc avoir des dimensions limitées. On placera de préférence un réducteur de débit, qui permettra de satisfaire aux exigences.

La perméabilité du sol peut être mesurée in situ à l'aide d'un essai «open-end». Cet essai permet de déterminer la perméabilité effective au niveau du fond de coffre. Il est toutefois également possible de déterminer la perméabilité en laboratoire en réalisant des analyses du sol sur des échantillons. Les ordres de grandeur suivants peuvent être pris en considération pour le coefficient de perméabilité des différents types de sol:

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

Un paramètre important lors de l'application de pavages drainants est toutefois l'homogénéité du sol sur toute la surface. C'est pourquoi il est conseillé de déterminer la perméabilité du sol in situ avec l'essai open-end, ou avec la méthode du puits plus simple, en au moins quatre points différents par 1 000 m<sup>2</sup>.

Un géotextile peut être posé dans le fond de coffre, pour empêcher que les particules fines du sol ne pénètrent dans la sous-fondation ou dans la fondation. Ceci est certainement recommandé en cas de sol argileux.



**Figure 2.9** Emplacement du système de drainage en fonction du type de sol dans le cas où l'infiltration dans le sol n'est pas permise



**Figure 2.10** Méthode open-end

### Méthodes d'essai pour déterminer la perméabilité du sous-sol

Il existe différentes méthodes pour déterminer la perméabilité in situ, comme l'essai «open-end».

Dans cette méthode, une colonne d'eau est disposée sur le sol à une hauteur constante de 1 m. Une mesure continue de la quantité d'eau ajoutée pendant au moins 20 min. permet de déterminer la perméabilité du sol.



**Figure 2.11** 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:

$$\text{Perméabilité (m/s)} = \frac{\text{Quantité d'eau (l)}}{\text{durée (s)} \times \text{surface du puits (m}^2\text{)} / 1000}$$

### 2.1.5.2 Dimensionnement de la fondation

La fondation est dimensionnée en fonction de l'intensité de la circulation. Une distinction est faite entre différentes catégories, comme l'indique le tableau 1.1. En cas de trafic lourd, la préférence ira au béton maigre drainant. Pour les structures moins chargées, on peut opter pour une fondation non liée, toujours en limitant la quantité de particules fines ou en utilisant une granularité discontinue.

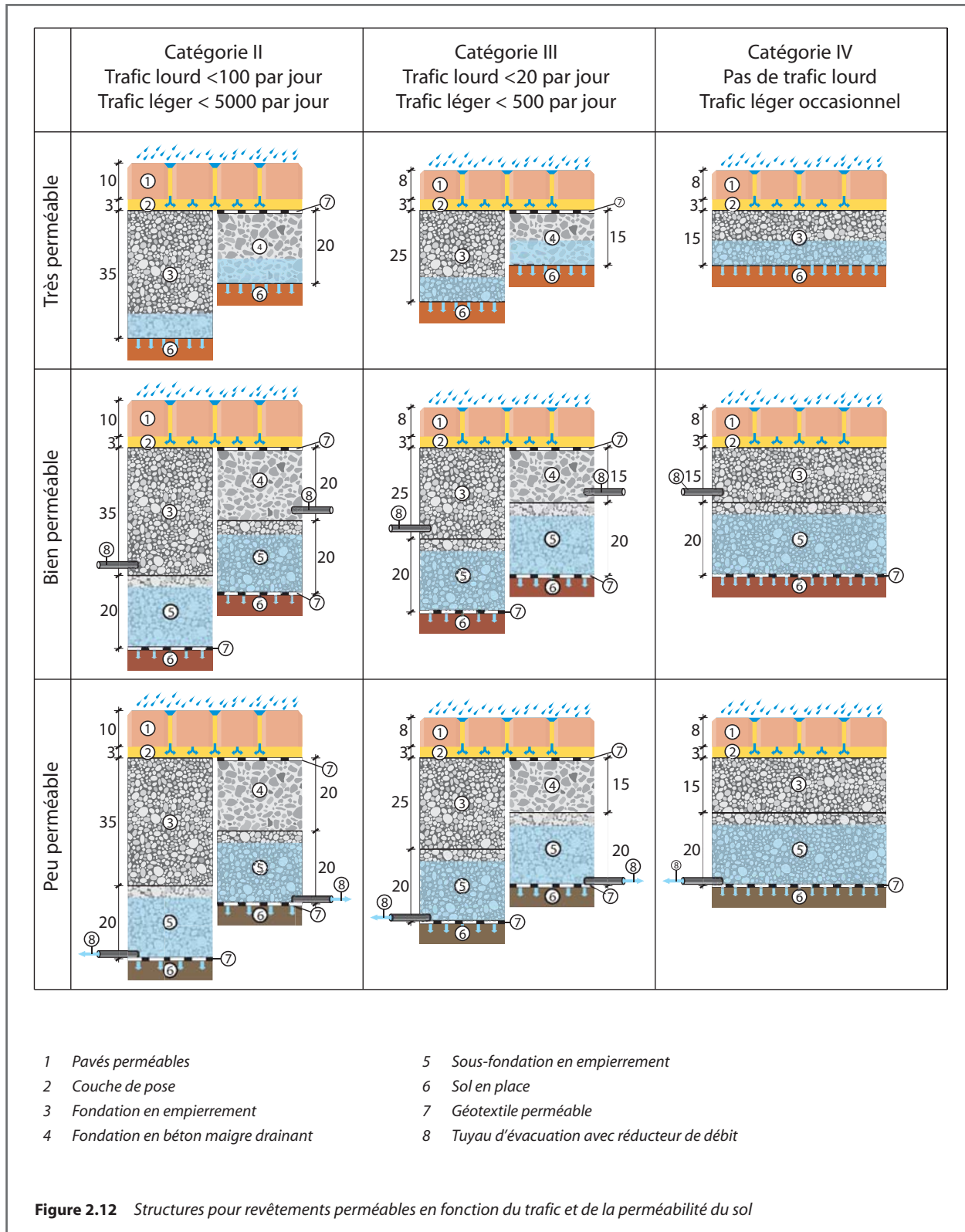


Figure 2.12 Structures pour revêtements perméables en fonction du trafic et de la perméabilité du sol

La fondation a naturellement aussi pour tâche de permettre l'écoulement de l'eau vers la sous-fondation. C'est la raison pour laquelle la perméabilité à l'eau du matériau utilisé pour la fondation a également son importance. Cette perméabilité doit au minimum être égale à  $5,4 \times 10^{-5}$  m/s. Dans des cas extrêmes, la fondation offre une capacité de stockage supplémentaire.

La perméabilité du matériau est principalement déterminée par la présence de particules fines. Dans la littérature, il est mentionné que la perméabilité augmente d'un facteur 40 lorsqu'on élimine la fraction fine ( $< 0,6$  mm), et d'un facteur 100 lorsqu'on élimine la fraction jusqu'à 1,18 mm. C'est la raison pour laquelle le présent code de bonne pratique limite ces deux fractions: fraction fine ( $< 63 \mu\text{m}$ )  $< 3 \%$ , fraction jusqu'à 2 mm  $< 25 \%$ .

La capacité de stockage provisoire augmentera fortement si l'on opte pour une granularité discontinue. Cela requiert toutefois plus d'énergie pour arriver à un bon compactage. Les empierrements de granularité discontinue sont de préférence compactés à l'aide d'une plaque vibrante, et non au compacteur à pneus.

Des granulats de débris de béton peuvent être utilisés dans la fondation et la sous-fondation. Il faut bien prendre en compte la formation éventuelle de particules fines lors de la mise en œuvre du matériau. Il est donc recommandé d'opter pour une granulométrie discontinue et éventuellement de déterminer au préalable la perméabilité en laboratoire. L'utilisation de gravillons recyclés de débris de maçonnerie et de gravillons de débris mixtes dans la fondation ou la sous-fondation est totalement déconseillée, car le risque de formation de particules fines est réel et le comportement en cas de saturation est moins bien connu.

Les exigences suivantes sont posées aux matériaux de fondation:

- béton maigre drainant selon les cahiers des charges types, par exemple le SB250:
  - résistance moyenne minimale à la compression:  $13 \text{ N/mm}^2$ ;
  - coefficient de perméabilité en cas de saturation, déterminé en laboratoire sur des carottes provenant de la fondation: au moins  $4 \times 10^{-4}$  m/s;
- empierrement non lié de granularité continue, par exemple 0/32:
  - fraction de particules fines ( $< 63 \mu\text{m}$ ): limitée à  $3 \%$ ;
  - fraction 0/2 mm: limitée à  $25 \%$ .
- Empierrement non lié de granularité discontinue:
  - diamètre minimal de préférence égal à 2 mm, pour obtenir un bon compactage.

Pour la détermination de la capacité de stockage provisoire, nous renvoyons au paragraphe suivant.

### **2.1.5.3 Dimensionnement de la sous-fondation**

La sous-fondation a plusieurs fonctions. D'une part, elle confère à la structure une capacité de stockage complémentaire, en fonction des possibilités d'infiltration; d'autre part, elle doit protéger le sol contre l'effet du gel. En outre, elle doit assurer une portance suffisante. Ces fonctions vont généralement de pair: un sol peu, voire pas perméable, comme un sol argileux, est également très sensible au gel. Lorsque l'eau présente dans les pores très fins du sol gèle, elle se dilate, ce qui peut soulever la structure située au-dessus. Il est donc important que l'épaisseur de cette structure soit au minimum égale à la profondeur de pénétration du gel dans la région considérée. Nous renvoyons pour cela au § 1.2.1.1.

Pour la détermination de la capacité de stockage provisoire, c'est surtout la porosité des matériaux qui entre en jeu. La recherche a démontré que la capacité de stockage pouvait être déterminée à partir de la quantité de vides accessibles à l'eau dans le matériau compacté. Cette quantité peut être mesurée en laboratoire. On applique un facteur de sécurité de 1,5, pour prendre en compte les éventuelles inclusions d'air dans la structure.

La capacité de stockage requise dépend du type de sol en place et de sa capacité d'infiltration. Dans le «Stedenbouwkundige verordening hemelwater»<sup>1</sup>, il est stipulé que le volume minimal de stockage provisoire doit être de  $1\ 500 \text{ l}/100 \text{ m}^2$  si tout est infiltré et de  $2\ 000 \text{ l}/100 \text{ m}^2$  de surface de référence si l'on travaille avec un limiteur de débit qui restreint l'évacuation à  $1\ 500 \text{ l/h}/100 \text{ m}^2$  au maximum.

<sup>1</sup> «Besluit van de Vlaamse regering van 1 oktober 2004 houdende vaststelling van een gewestelijke stedenbouwkundige verordening inzake hemelwaterputten, infiltratievoorzieningen, buffervoorzieningen en gescheiden lozing van afvalwater en hemelwater (22/8/2006).»

La capacité de stockage statique peut être déterminée comme suit à partir de l'épaisseur du matériau et de sa porosité accessible à l'eau.

### **Calcul de la capacité de stockage provisoire**

Structure:

- pavés à joints élargis;
- couche de pose 0/6,3: 4 cm;
- fondation 0/32: 18 cm;
- sous-fondation 0/32: 30 cm.

Volume de stockage pour 100 m<sup>2</sup>:

- sous-fondation:  $0,30 \times 23 \% \text{ (porosité accessible à l'eau)} \times 100 \times 1\,000 = 6\,900 \text{ l}$ ;
- fondation:  $0,18 \times 23 \% \times 100 \times 1\,000 = 4\,140 \text{ l}$ ;
- couche de pose:  $0,04 \times 28 \% \times 100 \times 1\,000 = 1\,120 \text{ l}$ .

Le volume de stockage requis, compte tenu du coefficient de sécurité ( $1,5 \times 2\,000 \text{ l}/100 \text{ m}^2 = 3\,000 \text{ l}/100 \text{ m}^2$ ) est donc largement atteint dans la sous-fondation. La capacité de stockage de la fondation peut être considérée comme une sécurité complémentaire.

La sous-fondation peut éventuellement aussi être utilisée comme tampon pour les eaux de précipitation provenant de revêtements imperméables proches ou même d'habitations voisines. C'est souvent le cas aux Pays-Bas.

Dans la pratique, la capacité de stockage provisoire dépendra fortement de la vitesse de vidange de la structure, donc soit de la vitesse d'infiltration dans le sol, soit de la vitesse d'évacuation différée via le système de drainage.

#### **2.1.5.4 Choix du type de pavage drainant**

La fonction des pavés drainants est, via leur structure poreuse, via leurs joints élargis ou leurs ouvertures de drainage, ou via une combinaison de ces derniers, de laisser passer les eaux de la surface vers la fondation et la sous-fondation. L'eau n'est pas stockée dans les pavés mêmes.

Le choix du type de pavage drainant est déterminé par l'utilisation de la surface. Les pavés en béton poreux sont plus adaptés pour les pistes cyclables et les trottoirs que les pavés à joints élargis ou à ouvertures de drainage. Ces derniers sont quant à eux plus résistants au trafic lourd et sont disponibles dans des épaisseurs plus importantes.

La perméabilité à l'eau requise pour les pavés poreux est déterminée par le PTV 122. Il y est exigé une perméabilité individuelle minimale de  $2,7 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ , avec une perméabilité moyenne minimale de  $5,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ . La perméabilité des pavés à joints élargis ou à ouvertures de drainage dépend fortement du produit de scellement des joints utilisé. Selon le PTV 122, les joints ou les ouvertures de drainage doivent représenter 10 % de la surface du revêtement. Cela implique que la perméabilité du produit de scellement des joints doit être au moins de  $5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  pour obtenir une porosité égale à celle des pavés poreux.

La pratique a mis en évidence le fait que la perméabilité de la surface des structures dont le revêtement est constitué de pavés à joints élargis ou à ouvertures de drainage était considérablement plus grande que la moyenne minimale requise de  $5,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ . Au fil du temps, elle diminue cependant progressivement, pour atteindre une valeur assez similaire à celle des pavés poreux.

Il est également important de noter que les problèmes éventuels de saleté à la surface peuvent être résolus par un nettoyage à haute pression ou à l'aide d'une machine à brosses ou d'une balayeuse.



### 2.1.5.5 Choix de la couche de pose et du produit de scellement des joints

Les exigences suivantes doivent être prises en compte lors du choix du type de couche de pose:

- perméabilité à l'eau: celle-ci doit être au minimum de  $5,4 \times 10^{-5}$  m/s;
- stabilité du filtre: la couche de pose ne peut pas disparaître dans la couche de fondation sous-jacente;
- résistance à la fragmentation: il faut éviter la formation de matériaux fins sous l'effet des charges du trafic.



Figure 2.13

L'épaisseur de la couche de pose doit être de 3 cm après compactage. Une bonne stabilité du filtre entre la couche de pose et la fondation empêchera les matériaux fins de la couche de pose de s'infiltrer dans la fondation plus grossière et permettra d'éviter les affaissements. Si l'on met en œuvre une couche de pose 0/6,3 sur une fondation 2/20, il sera nécessaire de placer un géotextile non tissé pour assurer la séparation entre couche de pose et fondation ou, mieux encore, d'opter pour une couche de pose adaptée de granulométrie 2/6,3. La stabilité du filtre peut être contrôlée à l'aide de la formule donnée au § 1.2.9.

Enfin, il faut noter qu'un géotextile non tissé doit toujours être appliqué entre une fondation en béton maigre drainant et le lit de pose.

Les pavages drainants sont placés selon la même méthode que celle utilisée pour les pavages classiques. Pour le scellement des joints, on choisira de préférence le même matériau que pour la couche de pose, en tenant bien sûr compte de la largeur des joints. La stabilité du filtre entre le matériau de remplissage des joints et la couche de pose doit toujours être garantie.

La qualité des granulats destinés à la couche de pose a également son importance. Les granulats doivent au minimum appartenir à la catégorie Ab, ou à la catégorie 3 (pour la Flandre) selon le PTV 411 (2008). Cela signifie que le LA (coefficient Los Angeles) ne peut pas être supérieur à 20 et le MDW (coefficient Micro-Deval) supérieur à 15. Les granulats 2/4 ou 2/6,3 doivent appartenir à la catégorie Ab II f4.

### 2.1.5.6 Contrôle



Figure 2.14 Méthode du double anneau

Le contrôle peut avoir lieu à différents moments. La première étape consiste à déterminer la perméabilité du sol. Cette détermination peut être réalisée sur des échantillons de sol ou en réalisant des mesures in situ, par exemple avec l'essai «open-end» ou en appliquant la méthode du double anneau.

Lors de l'exécution, la perméabilité des différents matériaux peut être déterminée à partir d'essais réalisés en laboratoire (essai colonne sur sable, ou sur granulats gros).

Enfin, la perméabilité de la surface pavée peut être déterminée selon la méthode du double anneau. Celle-ci permet de tester la perméabilité de la partie supérieure de la structure, à savoir la perméabilité des pavés et des joints, de la couche de pose et d'une partie de la fondation.



## 2.2 Ronds-points en pavés de béton



Figure 2.15

Le revêtement d'un rond-point subit des charges importantes. Outre les nombreuses contraintes horizontales dues aux freinages et aux accélérations, d'importantes contraintes verticales dues aux inclinaisons des véhicules apparaissent également, surtout au bord du revêtement.

Si les charges du trafic sont limitées (catégories de trafic II et III), il est possible de réaliser des ronds-points en pavés de béton. C'est souvent le cas dans les centres de villages, dans les zones 30 et aux abords des écoles, où ne passent que peu, voire pas de poids lourds.

### 2.2.1 Structure d'un rond-point en pavés de béton

Etant donné les nombreux effets des contraintes horizontales dans le sens radial et tangentiel, propres au trafic sur un rond-point, il est recommandé d'utiliser des pavés d'une épaisseur minimale de 10 cm.

Ce sont les exigences du § 1.2.6.2 (catégorie de trafic I ou II) qui s'appliquent pour la couche de pose. Dans le cas des ronds-points, on utilise souvent du sable-ciment. Le sable doit être d'excellente qualité (sable gros 0/4 avec < 3 % de particules fines). Les pavés doivent être stabilisés par vibration avant que le processus de liaison ne débute.

La couche de fondation doit être réalisée avec une sur largeur par rapport au pavage. Le côté extérieur du rond-point est en effet lourdement soumis à des contraintes radiales horizontales. Il est donc nécessaire que les pavés soient solidement fixés.

Dans le cas d'un rond-point, il est particulièrement important que l'eau soit évacuée aussi vite que possible. Par conséquent, outre un dévers suffisant (au moins 2,5 %), il faut également réaliser une surface très fermée, ce qui implique un entretien régulier des joints.

### 2.2.2 Contrebutage



Figure 2.16

Un contrebutage solide avec des bordures de trottoir ou bien des bandes de contrebutage (au moins 20 cm de large) sur tout le pourtour est toujours nécessaire. Ces éléments doivent être fixés dans un lit de mortier ou de béton, pour éviter tout risque de basculement ou de glissement. Généralement, on applique complémentaires une assise de pannes ou un assise de pavés posés de chant.

### 2.2.3 Joints, appareillage et format

Dans un revêtement en pavés de béton, les efforts sont repris par les surfaces de frottement entre les pavés, en d'autres mots par les joints. Ceux-ci doivent être aussi étroits que possible.

Etant donné les charges importantes et surtout les efforts de torsion qui s'exercent sur le revêtement, un appareillage à bâtons rompus, en épi ou en arêtes de poisson est recommandé; ce sont en effet ces appareillages qui répartissent le mieux les efforts horizontaux et verticaux au travers des joints. On opte parfois pour un rond-point en appareillage à joints alternés dans le sens longitudinal. Ceci est uniquement autorisé pour la catégorie de trafic III.

Pour les pistes cyclables faisant partie intégrante d'un rond-point et subissant donc les mêmes charges de trafic, les règles sont les mêmes que celles qui s'appliquent au rond-point. Les pistes cyclables sont souvent réalisées avec un appareillage à joints alternés, ces derniers étant continus dans le sens de roulement des cyclistes.

### 2.3 Pistes cyclables en pavés de béton



Figure 2.17

Une étude réalisée à l'aide de mesures de vibrations a démontré qu'il était possible de réaliser des pistes cyclables sûres, bien intégrées et très confortables avec des pavés en béton. Pour ce faire, certains paramètres doivent bien sûr être respectés.

Le premier aspect important est l'appareillage de pose. Son impact est clairement plus important lorsqu'il s'agit d'une piste cyclable adjacente. Ceci est représenté à la figure 2.19. Dans le cas d'une piste cyclable adjacente, ce sont les appareillages en épi et à joints alternés dans le sens de la longueur qui offrent les meilleurs résultats (valeurs les plus faibles). Le trafic qui roule sur la piste cyclable influence bien entendu le choix de l'appareillage.



Figure 2.18

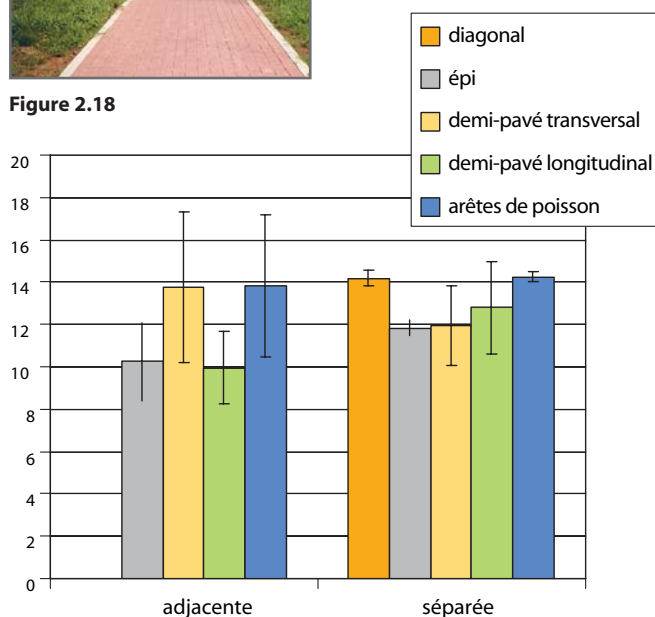


Figure 2.19 Influence de l'appareillage sur le confort des pistes cyclables adjacentes et séparées

Pour obtenir un bon niveau de confort, il faut éviter au maximum les traversées d'accès riverains. C'est en principe toujours le cas lorsque la piste cyclable est adjacente. En cas de piste cyclable séparée, cet aspect peut être pris en compte en maintenant la piste cyclable à un niveau constant et en adaptant les croisements à ce dernier.

Le chanfrein est un deuxième paramètre important. Les meilleurs résultats sont obtenus avec les chanfreins les plus petits, limités à 3 mm maximum. La largeur des joints doit également être restreinte. Ce sont des joints de 2 à 3 mm qui donnent les meilleurs résultats.

Concernant le format des pavés, nous pouvons avancer que des pavés plus longs (22 à 20 cm) donnent un résultat plus confortable.

# Chapitre 3

## Certification de qualité

### 3.1 Introduction

Les pavés en béton ne peuvent être mis sur le marché en Europe, et donc également en Belgique, que s'ils disposent d'un marquage CE. Ce marquage réglementaire est apposé sur base de la partie harmonisée de la norme européenne NBN EN 1338, suivant les modalités de l'Annexe ZA de cette même norme.

Pour les pavés en béton, il existe aussi en Belgique une certification de production à part entière, la marque BENOR. Celle-ci est basée sur le contenu complet des prescriptions d'application de la NBN B 21-311.

#### 3.1.1 Marquage CE avec exigences minimales de qualité

L'objectif du marquage CE pour les produits de construction n'est pas d'attester de la qualité des produits, mais bien de faire office de passeport pour la libre circulation de ceux-ci. En application de la directive européenne Produits de construction, le marquage CE déclare que les produits concernés satisfont à certaines exigences minimales en matière de résistance et de stabilité mécaniques, de sécurité incendie, d'hygiène, de santé et d'environnement, etc., qui sont établies dans la législation et la réglementation nationales de l'état-membre où le produit est mis sur le marché. La libre circulation de produits de construction qui disposent d'un marquage CE et qui sont conformes à la réglementation et à la législation nationales y afférentes ne peut pas être entravée. Pour la plupart des produits tels les pavés en béton, les caractéristiques pertinentes sont établies dans des normes européennes harmonisées.

De manière générale, la Directive européenne Produits de construction (DPC) stipule qu'il est de la responsabilité du fabricant d'attester de la conformité de ses produits qui sont soumis à des normes européennes. Cette conformité est établie sur base d'essais de type initiaux et d'un contrôle de la production à l'usine et attestée selon différents systèmes d'attestation de la conformité, numérotés de 1 à 4.

Pour les pavés en béton, la Commission européenne a décidé en 2003 de baser le marquage réglementaire CE sur un système d'attestation de niveau 4. Dans ce cas, le marquage CE implique que le fabricant déclare de manière autonome, sans intervention d'une tierce partie indépendante, les caractéristiques harmonisées de son produit. Les produits qui ne sont dotés que d'un marquage CE basé sur un système d'attestation de niveau 4 ne sont pas soumis à un contrôle externe.

Le nombre de caractéristiques harmonisées est limité dans le cas des pavés en béton. Pour les pavés en béton non polis à usage extérieur (produit le plus courant), il ne s'agit que de la résistance mécanique, la résistance au glissement et de la durabilité. Il est supposé que ces deux dernières propriétés satisfont aux exigences sans nécessiter d'essais.

Certaines caractéristiques, et non des moindres, telles que les caractéristiques géométriques et les écarts autorisés, la résistance aux intempéries (absorption d'eau et résistance aux sels de déverglaçage), la résistance à l'abrasion et les caractéristiques visuelles, ne sont pas harmonisées.

Autres normes européennes harmonisées pour les produits en béton:

- pour les dalles en béton: NBN EN 1339;
- pour les bordures en béton: NBN EN 1340.

### 3.1.2 Certification BENOR avec hautes exigences de qualité

Pour garantir la conformité à la totalité de la norme européenne NBN EN 1338 et donc pas seulement à sa partie harmonisée) et à la norme d'application belge NBN B 21-311, les pavés en béton peuvent être produits et livrés en Belgique sous la marque de qualité volontaire BENOR.

La NBN B 21-311 établit les classes autorisées pour les caractéristiques classifiées dans la NBN EN 1338 et définit des catégories d'application pour les pavés en béton destinés aux pavages soumis à la circulation, en tenant compte de la situation belge.

Dans le cadre de la marque BENOR, le fabricant réalise un auto-contrôle interne afin de garantir la conformité de ses produits. De manière périodique, un contrôle externe est réalisé par un organisme impartial et externe (COPRO, SECO), mandaté par l'institut de certification PROBETON (organisme de gestion pour le contrôle des produits en béton).

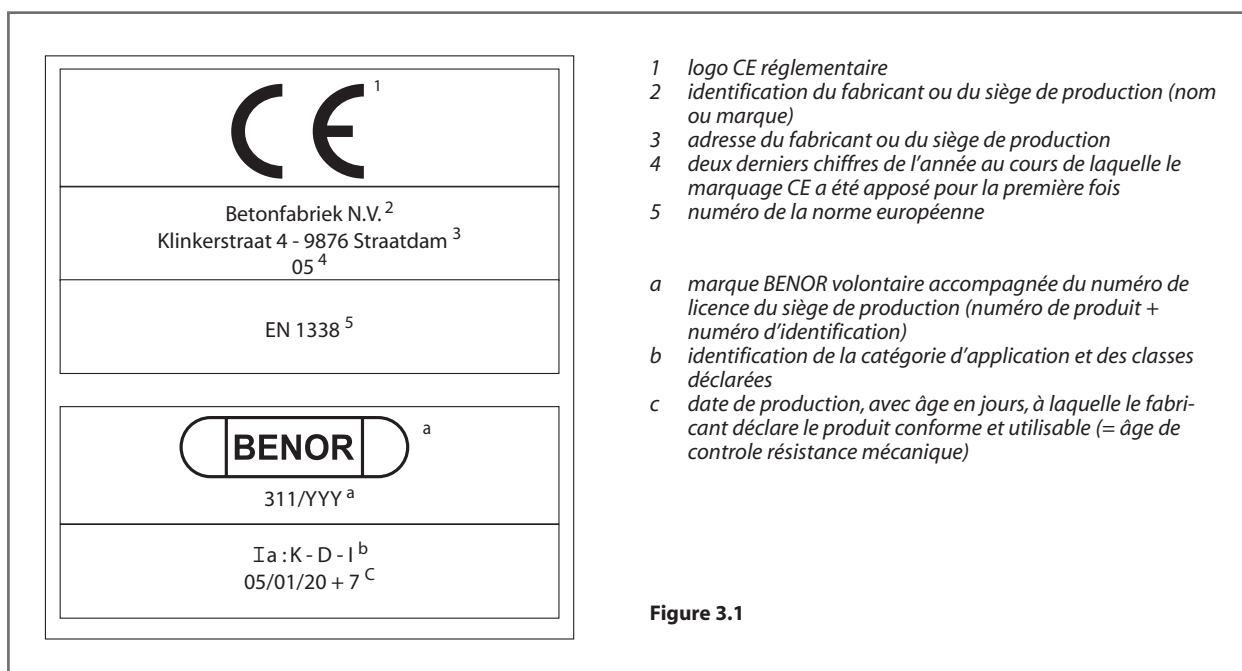
Autres normes d'application belges pour les produits de pavage:

- pour les dalles en béton: NBN B21-211;
- pour les bordures en béton: NBN B21-411.

Pour résumer, nous pouvons déclarer que seules quelques caractéristiques (les caractéristiques «harmonisées») des produits marqués CE doivent satisfaire aux exigences minimales et ne doivent donc pas nécessairement offrir le niveau de qualité plus élevé que le client peut souhaiter. Le label de qualité belge BENOR, géré et contrôlé par un organisme de certification, atteste de la conformité aux normes complètes et répond ainsi bien mieux aux attentes de qualité des maîtres d'ouvrage belges.

### 3.2 Labels de produit

Un label doit être apposé sur chaque produit distinct, avec une identification claire du produit, comme le montre l'exemple suivant:



### 3.3 Norme européenne NBN EN-1338 et marquage CE

#### 3.3.1 Domaine d'application

La norme européenne NBN EN-1338 spécifie les matériaux, les propriétés, les prescriptions et les méthodes d'essai relatifs aux pavés en béton de ciment non armé et à leurs accessoires. Elle s'applique aux pavés préfabriqués en

béton et à leurs accessoires employés pour les pavages à l'usage des piétons et des véhicules, tels que les zones piétonnes, les pistes cyclables, les parkings, les routes, les aires industrielles (y compris les docks et les ports), les pavages d'aéroports, les arrêts de bus, les stations services, etc.

Cette norme régleme également, via l'annexe ZA, le marquage CE et le système d'attestation qui y est lié.

### 3.3.2 Caractéristiques de forme - écarts admissibles

Epaisseur du pavé mm	Longueur mm	Largeur mm	Epaisseur mm
< 100	± 2	± 2	± 3
≥ 100	± 3	± 3	± 4

La différence entre deux mesurages de l'épaisseur sur un même pavé doit être ≤ 3 mm.

Les tolérances admissibles pour les dimensions de fabrication déclarées par le fabricant sont reprises dans le tableau 3.1.

Dans le cas des pavés non rectangulaires, les tolérances applicables aux autres dimensions doivent être déclarées par le fabricant.

**Tableau 3.1** *Écarts admissibles pour les pavés en béton selon la NBN EN 1338*

Classe	Marquage	Différence maximale mm
1	J	5
2	K	3

Lorsque la longueur des diagonales dépasse 300 mm, les différences maximales admissibles entre le mesurage des deux diagonales d'un pavé rectangulaire sont données dans le tableau 3.2.

Lorsque la dimension maximale d'un pavé est supérieure à 300 mm, les tolérances de planéité et de courbure doivent correspondre au tableau 3.3 (remarque: lorsque la face supérieure n'est pas destinée à être plane, le fabricant doit fournir les informations relatives aux écarts admissibles)

**Tableau 3.2** *Écarts maximaux autorisés entre les diagonales (> 300 mm) des pavés en béton selon la NBN EN 1338*

Longueur du calibre mm	Ecart maximal de convexité mm	Ecart maximal de concavité mm
300	1,5	1,0
400	2,0	1,5

**Tableau 3.3** *Écarts de planéité et courbure des pavés en béton selon la NBN EN 1338*

### 3.3.3 Caractéristiques mécaniques

Les pavés doivent satisfaire aux prescriptions suivantes au moment où leur fabricant les déclare aptes à l'emploi (par exemple sept ou vingt-huit jours après leur production).

#### 3.3.3.1 Résistance aux agressions climatiques (durabilité)

L'absorption d'eau et la résistance au gel/dégel permettent de déterminer la durabilité. Ces deux caractéristiques ont un lien avec le compactage et la porosité des pavés en béton.

##### 3.3.3.1.1 Détermination de l'absorption d'eau totale

Classe	Marquage	Absorption d'eau % en masse
1	A	Aucune performance mesurée
2	B	≤ 6 en moyenne

Principe: une fois l'éprouvette amenée à  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , celle-ci est immergée jusqu'à obtention d'une masse constante puis séchée dans une étuve (réglée à  $105 ^\circ\text{C}$ ) jusqu'à ce qu'elle atteigne une masse constante. La perte de masse est exprimée en pourcentage de la masse de l'éprouvette sèche. Plus l'absorption d'eau est importante, plus le pavé est poreux.

**Tableau 3.4** *Absorption d'eau des pavés en béton selon la NBN EN 1338*

L'absorption d'eau  $W_a$  de chaque éprouvette est calculée en pourcentage de sa masse à l'aide de l'équation suivante:

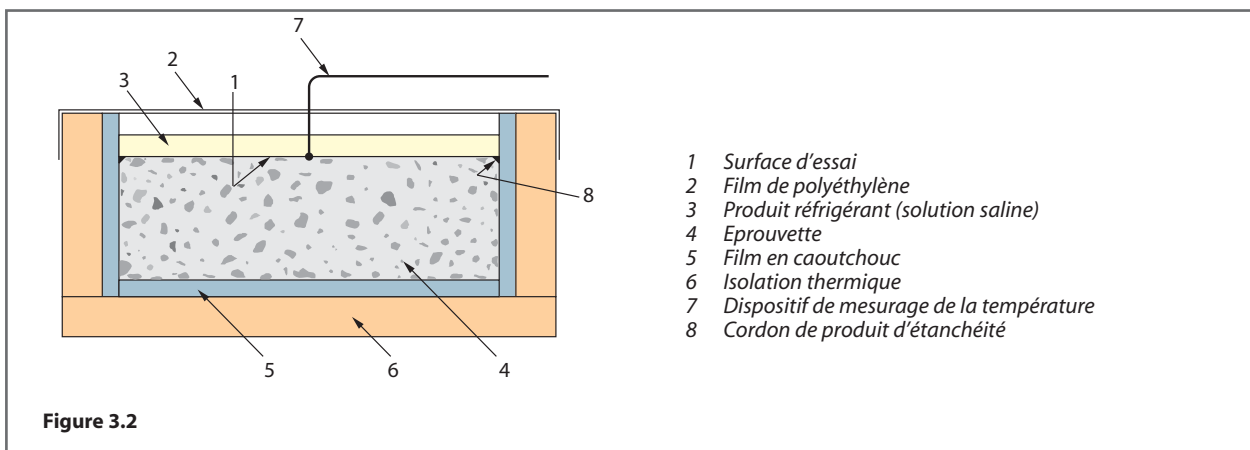
$$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100\%$$

où:

- $M_1$  = masse initiale de l'éprouvette (g);
- $M_2$  = masse finale de l'éprouvette (g).

### 3.3.3.1.2 Détermination de la résistance au gel/dégel en présence de sels de déverglaçage

Principe: l'éprouvette est conditionnée puis soumise à vingt-huit cycles de gel/dégel pendant lesquels sa surface est recouverte d'une solution à 3 % de NaCl. Le matériau écaillé est récupéré puis pesé et le résultat est exprimé en kilogrammes par mètre carré (= perte de masse/unité de surface).



La perte de masse par unité de surface de l'éprouvette ( $L$ ) est calculée en kilogrammes par mètre carré à l'aide de l'équation:

$$L = \frac{M}{A}$$

où:

- $M$  = masse de la quantité totale de matériau écaillé après vingt-huit cycles (kg);
- $A$  = superficie de la surface d'essai ( $m^2$ ).

Classe	Marquage	Perte de masse après l'essai de gel/dégel kg/m <sup>2</sup>
3	D	moyenne $\leq 1,0$ Aucun résultat individuel $> 1,5$

**Tableau 3.5** Résistance au gel/dégel des pavés en béton en présence de sels de déverglaçage selon la NBN EN 1338



### 3.3.3.2 Résistance à la rupture en traction par fendage



Figure 3.3

Principe: le pavé est placé entre les deux appuis d'essai avec les bandes de chargement dans le sens de la longueur. Les appuis se rapprochent l'un de l'autre à vitesse constante, jusqu'à la rupture du pavé à une certaine charge de rupture (= fendage).

La résistance à la rupture en traction par fendage  $T$  du pavé testé, exprimée en mégapascals ( $\text{MPa} = \text{N}/\text{mm}^2$ ), est calculée à l'aide de la formule suivante:

$$T = 0.637 \times k \times \frac{P}{S}$$

où:

- $T$  = résistance à la rupture en traction par fendage (MPa);
- $P$  = charge de rupture en (N);
- $k$  = coefficient de correction en fonction de l'épaisseur du pavé  $t$ ;
- $S$  = surface de fendage ( $\text{mm}^2$ ).

Le coefficient de correction  $k$  en fonction de l'épaisseur est repris ci-après:

t (mm)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
k	0,71	0,79	0,87	0,94	1,00	1,06	1,11	1,15	1,19	1,23	1,25

Tableau 3.6 Coefficient de correction  $k$  pour calculer la résistance à la rupture en traction par fendage

La résistance caractéristique à la rupture en traction par fendage  $T$  ne doit pas être inférieure à 3,6 MPa. Aucun des résultats individuels ne doit être inférieur à 2,9 MPa.

### 3.3.3.3 Résistance à l'abrasion



Figure 3.4 Appareil Capon et éprouvette testée

La résistance à l'abrasion est déterminée à l'aide de l'essai Capon (essai au disque large) ou, alternativement, à l'aide de l'essai Böhme.

Principe de l'essai Capon: l'essai est réalisé par abrasion de la face supérieure d'un pavé en béton pendant 60 s à l'aide d'un disque et d'un abrasif (alumine fondue = corindon) dans des conditions normalisées. Après l'essai, la largeur de l'empreinte est mesurée. Plus celle-ci est large, plus l'abrasion est importante.

Classe	Marquage	Prescription	
		Essai Capon	Essai Böhme
1	F	NPD	NPD
3	H	23 mm	≤ 20 000 mm <sup>3</sup> /5 000 mm <sup>2</sup>
4	I	20 mm	≤ 18 000 mm <sup>3</sup> /5 000 mm <sup>2</sup>

**Tableau 3.7** Classes de résistance à l'abrasion des pavés en béton selon la NBN EN 1338

### 3.3.3.4 Résistance à la glissance

Les pavés en béton présentent une résistance suffisante à la glissance ou au dérapage (rugosité), sous réserve que l'intégralité de leur surface supérieure n'ait pas été meulée et/ou polie pour obtenir une surface très lisse.

### 3.3.3.5 Performance au feu

Les pavés en béton appartiennent à la classe de réaction au feu A1 (sans essai).

### 3.3.3.6 Conductivité thermique

Si les pavés sont destinés à contribuer à la performance thermique d'un élément, le fabricant doit déclarer la conductivité thermique à l'aide des données de calcul de l'EN 13369.

## 3.3.4 Caractéristiques visuelles

Ces caractéristiques sont toujours contrôlées à la lumière du jour, à une distance de 2 m.

### 3.3.4.1 Aspect

La face supérieure du pavé en béton ne doit pas présenter de défauts tels que fissure ou écaillage.

Dans le cas de pavés bicouches, il ne doit pas y avoir de délaminage (séparation) entre les couches.

### 3.3.4.2 Texture

Dans le cas de pavés fabriqués avec une texture de surface particulière, la texture doit être décrite par le fabricant.

La conformité doit être établie par comparaison avec des échantillons fournis par le fabricant et approuvés par l'acheteur. Des variations dans l'uniformité des pavés peuvent être causées par des variations inévitables des propriétés des matières premières, ainsi que par des variations de durcissement et ne sont pas considérées comme significatives.

### 3.3.4.3 Couleur

La coloration peut être prévue, au choix du fabricant, dans la couche de parement ou dans l'épaisseur du pavé.

La conformité quant à la présence ou non de différences de couleurs significatives doit être établie par comparaison avec des échantillons fournis par le fabricant et approuvés par l'acheteur. Des variations dans l'uniformité de la teinte des pavés peuvent être causées par des variations inévitables de nuance et de propriétés des matières premières ainsi que par des variations de durcissement. Elles ne sont pas considérées comme significatives.

### 3.4 Norme belge NBN B21-311 et marque BENOR



La conformité des pavés en béton aux prescriptions des normes NBN EN-1338 et de la norme NBN B21-311 pour les pavés en béton peut être certifiée par le biais de la marque BENOR. Il s'agit d'un label collectif volontaire de conformité aux normes, qui est la propriété du Bureau belge de normalisation (NBN). Le contrôle des produits en béton est géré par PROBETON.



Le label BENOR confirme, par l'entremise de PROBETON, que le fabricant réalise correctement son auto-contrôle industriel et que les performances qu'il déclare sont fiables. Pour le contrôle périodique externe, PROBETON fait appel à ses organismes de contrôle mandatés (COPRO, SECO), qui vérifient que l'auto-contrôle industriel est réalisé correctement par le fabricant et qui prélèvent les échantillons nécessaires à la réalisation d'essais de contrôle.



La norme belge NBN B21-311 détermine à quelle classe CE de la norme NBN EN-1338 une caractéristique doit satisfaire pour une application donnée. Si une caractéristique n'est pas mentionnée dans cette norme belge, c'est la classe la plus basse de la NBN EN-1338 qui s'applique, ou bien une classe plus élevée si elle est donnée par le fabricant.



Autres labels nationaux en Europe:

- aux Pays-Bas: label KOMO;
- en Allemagne: label Deutsche Überwachung.

#### 3.4.1 Classes autorisées

##### 3.4.1.1 Ecart dimensionnel sur les diagonales

Classe	Marquage	Différence maximale mm
2	K	3

Les différences maximales admissibles entre les diagonales d'un pavé en béton rectangulaire sont conformes à la classe 2 selon la NBN EN 1338, comme l'indique le tableau 3.8.

**Tableau 3.8** Différence maximale (BENOR) entre les diagonales (> 300 mm) des pavés en béton selon la NBN B 21-311

##### 3.4.1.2 Résistance aux agressions climatiques (durabilité)

La résistance aux agressions climatiques (durabilité) des pavés en béton est conforme aux classes 2 ou 3 selon la NBN EN 1338, comme l'indique le tableau 3.9.

Classe	Marquage	Absorption d'eau % en masse	Perte de masse après l'essai de gel/dégel kg/m <sup>2</sup>
2	B	≤ 6	-
3	D	-	≤ 1,0 en moyenne aucune valeur individuelle > 1,5

**Tableau 3.9** Résistance au gel (BENOR) des pavés en béton selon la NBN B 21-311

### 3.4.1.3 Résistance à l'abrasion (résistance à l'usure)

Classe	Marquage	Prescription
		Abrasion lors de l'essai Capon selon la NBN EN 13383
3	H	≤ 23 mm
4	I	≤ 20 mm

La résistance à l'abrasion des pavés en béton est conforme aux classes 3 ou 4 selon la NBN EN 1338, comme l'indique le tableau 3.10.

**Tableau 3.10** Classes de résistance à l'abrasion (BENOR) des pavés en béton

### 3.4.2 Catégories d'application

Catégorie	Épaisseur (mm)	Classe minimale (marquage)		
		Ecart dimensionnel diagonales	Résistance aux agressions climatiques	Résistance à l'abrasion
I a	≥ 80	2 (K)	3 (D)	4 (I)
I b(1)		2 (K)	2 (B)	3 (H)
II a	< 80	2 (K)	3 (D)	3 (H)
II b		2 (K)	2 (B)	3 (H)

(1) Cette catégorie est temporaire. Sur base des expériences avec les exigences de la méthode d'essai en matière de résistance au gel/dégel en cas d'utilisation d'agents de déverglacage requises pour la catégorie Ia, il sera décidé ultérieurement si la catégorie Ib peut être supprimée ou non.

Les pavés en béton destinés aux pavages soumis au trafic sont divisés en quatre catégories d'application comme indiqué dans le tableau 3.11.

**Tableau 3.11** Catégories d'application des pavés en béton selon la NBN B 21-311

Notons que:

- les pavés en béton de catégorie I a sont indiqués pour les pavages fortement soumis aux sels de déverglacage et au moins à un trafic de véhicules d'intensité normale;
- les pavés en béton de catégorie I b sont indiqués pour les pavages faiblement soumis aux sels de déverglacage et à un trafic de véhicules de faible intensité;
- les pavés en béton de catégorie II a sont indiqués pour les pavages fortement soumis aux sels de déverglacage et tout au plus à un trafic de véhicules occasionnel;
- les pavés en béton de catégorie II b sont indiqués pour les pavages faiblement soumis aux sels de déverglacage et tout au plus à un trafic de véhicules occasionnel.

Important: selon la NBN B 21-311, les catégories d'application concernent uniquement les classes pour les écarts dimensionnels diagonaux, la résistance aux agressions climatiques et la résistance à l'abrasion. Pour les autres caractéristiques, comme la résistance à la rupture en traction par fendage et les différences d'épaisseur autorisées, on renvoie à la norme européenne NBN EN-1338.

## 3.5 Autres prescriptions relatives aux pavés en béton

### 3.5.1 PTV 122 pour les pavés en béton perméables à l'eau

#### 3.5.1.1 Pavés en béton à ouvertures de drainage ou joints élargis

Ces pavés doivent leur perméabilité à l'eau à la présence d'ouvertures de drainage ou de joints élargis. La projection horizontale de la superficie des ouvertures de drainage ou des joints élargis est au minimum 10 % de la superficie du pavé. Pour les autres caractéristiques (résistance, épaisseur, tolérances, etc.), les prescriptions en vigueur sont les mêmes que celles relatives aux pavés en béton classiques.

### 3.5.1.2 Pavés en béton poreux

Pour les pavés en béton poreux, une prescription spéciale est en vigueur concernant la résistance à la rupture en traction par fendage, ainsi qu'une prescription complémentaire concernant la perméabilité à l'eau:

- résistance caractéristique à la rupture en traction par fendage  $\geq 2,5$  MPa;
- perméabilité à l'eau (valeur individuelle)  $\geq 2,7 \times 10^{-5}$  m/s
- perméabilité à l'eau (valeur moyenne)  $\geq 5,4 \times 10^{-5}$  m/s.





# Chapitre 4


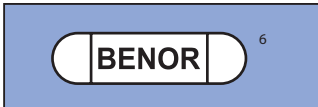
## Exécution d'un revêtement en pavés de béton

### 4.1 Inspection et contrôle de conformité des matériaux livrés

Afin d'éviter des discussions inutiles avec le fournisseur des matériaux, il faut contrôler dès la livraison que ceux-ci correspondent à ce qui a été commandé. La correspondance des matériaux avec ce qui figure sur le bon de commande et l'identification sur les paquets sont particulièrement importantes:

- dimensions correctes;
- couleur;
- finition;
- présence des pièces spéciales correctes;
- les produits sont-ils certifiés?;
- aspect;
- quantité livrée.

La présentation du bon de livraison diffère selon le fabricant. L'identification sur les paquets est toutefois plus uniforme, car la NBN EN 1338 formule des obligations en la matière. Ci-après figure un exemple de ce type d'identification. La forme peut différer, mais le contenu doit au minimum reprendre les données ci-après.

 <sup>1</sup>	 <sup>6</sup>	<i>1</i> logo réglementaire CE
N.V. Fabrikant <sup>2</sup> 04 <sup>3</sup>	ia: K-D-i <sup>7</sup>	<i>2</i> nom (ou marque d'identification) et adresse du siège de production du fabricant
EN 1338 <sup>4</sup> Betonstraatstenen <sup>5</sup>	4/8/2004 + 7 <sup>8</sup>	<i>3</i> année au cours de laquelle le marquage a été apposé la première fois
		<i>4</i> numéro de la norme européenne
		<i>5</i> nom du produit
		<i>6</i> logo BENOR volontaire complété du numéro du produit et du numéro d'identification
		<i>7</i> identification de la catégorie d'application et des classes déclarées
		<i>8</i> date de production complétée de l'âge en jours auquel le fabricant déclare le pavé conforme et apte à l'emploi

Remarques:

- les performances des caractéristiques harmonisées déclarées par le fabricant doivent figurer sur le produit même, sur l'emballage OU sur les documents d'accompagnement; en cas d'utilisation dans un bâtiment, le fabricant est contraint de réaliser une déclaration complémentaire concernant les caractéristiques spécifiques du produit, notamment l'émission d'amiante et la réaction au feu;
- le fabricant peut faire figurer des informations complémentaires sur son produit.

Avant d'utiliser les produits, il faut en vérifier l'état:

- pas d'épaufrures;
- pas d'effritement;
- pas de bosses;
- tolérances dimensionnelles si les produits ne sont pas «bénorisés»;
- uniformité de couleur;
- finition de surface;
- compatibilité avec les pièces spéciales livrées.

Si des défauts apparaissent lors de la mise en œuvre, il faut immédiatement en informer le fabricant, afin de pouvoir intervenir à temps et de manière appropriée.

## 4.2 Fond de coffre

Avant de placer un géotextile ou la sous-fondation, il faut aplanir les inégalités du fond de coffre et procéder à un nouveau compactage. Il est préférable d'utiliser un rouleau statique plutôt qu'un rouleau vibrant, pour éviter que les vibrations ne fassent remonter l'eau.

La portance du fond de coffre est déterminée à l'aide d'un essai de chargement à la plaque, lors duquel le module de compressibilité doit au moins être égal à 17 MPa. Si ce n'est pas le cas, le sol doit être recomposé, amélioré ou remplacé.

## 4.3 Sous-fondation



Figure 4.1

Selon l'épaisseur de la sous-fondation, les matériaux peuvent être mis en œuvre en une ou en plusieurs couches. L'épaisseur maximale de chaque couche est de 30 cm.

Après compactage, la portance doit au minimum être de 35 MPa, mesurée via l'essai de chargement à la plaque. Si la sous-fondation est en sable, il faut utiliser une plaque de 750 cm<sup>2</sup> pour cet essai. Dans les autres cas, c'est une plaque de 200 cm<sup>2</sup> qui est utilisée.

## 4.4 Contrebutage et finition des bords

### 4.4.1 Détermination de la largeur de la route en fonction des pavés en béton livrés

Il va de soi qu'il faut déterminer la surface de la route à paver avant de poser les éléments de contrebutage.

Celle-ci dépend des dimensions réelles des pavés à poser, pour lesquelles il faut tenir compte des tolérances dimensionnelles.

Il convient de noter que la NBN B 21-311 autorise un écart de largeur de  $\pm 2$  mm pour les pavés d'une épaisseur  $< 100$  mm et de  $\pm 3$  mm pour les pavés d'une épaisseur  $\geq 100$  mm.



Figure 4.2

La meilleure marche à suivre est d'ouvrir quelques paquets des pavés à poser et de réaliser quelques rangées au préalable, afin de déterminer la largeur minimale de la route, ce qui permet de diminuer fortement le sciage et les ajustements lors du pavage. Il convient de ne pas se focaliser trop sur la largeur, car il vaut mieux avoir des joints un peu plus larges (3 mm au maximum) que de devoir scier ou réaliser des adaptations.

La fondation de la bande de contrebutage commence au niveau de la sous-fondation de la route, ou plus bas encore. Les éléments de contrebutage sont quant à eux mis en place avant la fondation et la couche de pose.

Le pavage et la fondation situés le long d'éléments de contrebutage ne peuvent être compactés que lorsque ces derniers ont atteint un niveau de résistance suffisant. Cette résistance dépend:

- du temps de durcissement du contrebutage coulé sur place;
- du temps de durcissement du support et de la fondation (béton maigre, sable-ciment) des éléments de contrebutage préfabriqués.

Sous des conditions climatiques normales, le durcissement prend généralement deux à trois jours. Ce délai a surtout son importance lorsque le contrebutage est coulé sur place.



**Figure 4.3** Face supérieure anti-éclats d'un contrebutage

Pour éviter que la partie supérieure des éléments de contrebutage se dégrade, il faut toujours prévoir un joint de 3 à 6 mm entre ceux-ci. La plupart des bordures préfabriquées actuellement sont dotées d'une face supérieure anti-éclat, pour éviter la dégradation des bords.

#### 4.4.2 Pose d'un épaulement derrière les éléments de contrebutage



**Figure 4.4**

Il est également important que les éléments de contrebutage ne reposent pas seulement sur une fondation, mais qu'ils soient également dotés d'un épaulement bien compacté en béton maigre.

### 4.5 Fondation

La teneur en eau du matériau doit être optimale lors de la mise en œuvre. Celle-ci est établie à l'aide d'un essai proctor modifié.



**Figure 4.5** Mesure des inégalités à l'aide d'une règle de 3 m

C'est le finisseur qui donne les meilleurs résultats pour l'épandage du matériau. Il permet d'obtenir une épaisseur constante, un mélange homogène sans ségrégation, un bon compactage et une bonne planéité.

Tout d'abord, la fondation est compactée à l'aide d'un matériel vibrant. Ce compactage dynamique offre un premier compactage efficace sur toute l'épaisseur. Le nombre de passes dépend du type de machine vibrante et du type de fondation. Il peut éventuellement être déterminé au préalable sur une section d'essai. Dans le cas d'un empierrement, la finition sera surtout statique, avec un compacteur à pneus par exemple.

Pour les revêtements en pavés de béton, il est très important que la surface de la fondation soit totalement parallèle au profil de la future route, ce qui assure à la couche de pose une épaisseur constante. Pour ce faire, il est conseillé de réaliser la fondation avec une légère surépaisseur qui, après nivellement définitif et un dernier compactage, permet d'obtenir le résultat souhaité. En appliquant cette technique, on évite que la fondation doive encore être rehaussée après le dernier compactage pour obtenir le profil prescrit.

Les inégalités de la fondation, mesurées avec une règle de 3 m, ne peuvent jamais dépasser 10 mm. Avant la mise en œuvre de la couche de pose, les éventuelles inégalités doivent être éliminées à l'aide de microbéton pour les fondations liées et d'un matériau fin adapté pour les fondations non liées.

Toutes les manipulations des matériaux liés au ciment doivent être réalisées dans les deux heures suivant la confection du mélange, avant qu'il ne commence à durcir.

Lors de l'exécution de la fondation en béton maigre ou en béton sec compacté, il faut réaliser des joints de retrait (par sciage) tous les 5 m au maximum, sur un tiers de l'épaisseur.

Les contrôles de la fondation portent surtout sur sa planéité, le respect des niveaux, son épaisseur et sa portance (essai de chargement à la plaque,  $M1 > 110$  MPa) et/ou la résistance à la compression.

Lorsqu'on réalise un pavage de façade à façade, sans pose d'éléments de contrebutage, un joint d'isolation doit être réalisé entre la fondation et la façade.

#### 4.6 Epandage, profilage et compactage de la couche de pose

Les flaques et les impuretés sur la fondation, ainsi que les inégalités trop importantes, doivent être éliminées préalablement.



**Figure 4.6** Profilage de la couche de pose à l'aide de guides de montage

Si les conditions climatiques l'exigent, des mesures doivent être prises pour protéger la couche de pose (par exemple la recouvrir ou bien ajouter un retardateur de prise).

La couche de pose doit être épandue partout de manière uniforme. Il est déconseillé de déverser directement d'un camion, pour éviter un compactage inégal.

La couche est profilée de manière à présenter une épaisseur uniforme d'environ 3 à 4 cm après compactage. Une couche de pose trop épaisse est souvent cause d'orniérage dans les revêtements les plus lourdement chargés. Le profil est identique à celui du revêtement final.

Pour profiler la couche de pose, on peut employer des guides de montage solidement fixés, ou bien une latte en acier qui est posée sur les éléments de contrebutage.

La couche de pose ne peut PAS être compactée avant la mise en place des pavés et le remplissage des joints. Le compactage a lieu juste après la vibration du revêtement (§ 4.11).

Il faut prendre en compte le fait que le revêtement vibré doit se situer 5 mm au-dessus des éléments de contrebutage. Ainsi, aucune flaque ne peut se former entre les éléments linéaires et les pavés.

Une fois la couche de pose profilée, il n'est plus permis de passer dessus ou de la retoucher. Lorsque les guides de montage sont retirés, les évidements doivent être correctement comblés.

Lorsque la couche de pose est en sable-ciment (catégorie de trafic IV), il faut également tenir compte des points suivants:

- le sable-ciment doit avoir une consistance «terre humide» lors de sa mise en oeuvre;
- les pavés doivent être posés et compactés avant que le sable-ciment ne commence à durcir;
- en cas de risque de gel dans les premières vingt-quatre heures, il est interdit de poser du sable-ciment.



Si la fondation et la couche de pose sont toutes deux en sable-ciment, la fondation est compactée avant la mise en œuvre de la couche de pose.

## 4.7 Mise en place des pavés

### 4.7.1 Ordre de mise en place en fonction de l'appareillage

Normalement, on commence par les bords et l'on poursuit perpendiculairement à l'axe de la route. Pour certains appareillages, par exemple en épi, en arêtes de poisson ou à bâtons rompus, il est toutefois conseillé de progresser en oblique, pour mieux maintenir l'appareillage.

### 4.7.2 Mélange de pavés provenant de différents paquets

Pour éviter d'éventuelles différences de couleur entre des pavés adjacents, il est conseillé de mélanger les pavés provenant de différents paquets.

Etant donné que chaque couche de pavés d'un paquet provient normalement de la même production, il est préférable de prendre les pavés du haut vers le bas, pour donner un meilleur mélange.

### 4.7.3 Mise en place des pavés en béton (méthode «click-and-drop»)

Les pavés à mettre en œuvre sont posés sur des pavés déjà mis en place, afin de ne pas remuer la couche de pose. Le sens dans lequel la mise en place est entamée doit être soigneusement choisi en fonction:

- de la livraison des paquets de pavés;
- de l'ouverture au trafic attendue;
- des raccords transversaux avec d'autres routes.



Figure 4.7

La méthode «click-and-drop» consiste à mettre en place un pavé avec un glissement vertical. Pour ce faire, on place chaque pavé légèrement contre les pavés déjà posés et on laisse ensuite le pavé glisser vers le bas pour qu'il prenne sa position finale. Le but n'est pas que les pavés s'entrechoquent violemment, ce qui pourrait les endommager.

Cette méthode présente les avantages suivants:

- un joint de 1 à 3 mm apparaît automatiquement;
- l'appareillage est plus facilement respecté;
- aucun matériau de la couche de pose ne vient se mettre entre les pavés;
- la rangée précédente n'est pas touchée, ce qui aide à conserver les joints bien droits;
- les petits écarts de longueur et de largeur des pavés sont mieux compensés.

### 4.7.4 Rectitude des joints lors de la mise en œuvre

Régulièrement (tous les 3 m), on contrôle à l'aide d'une ficelle que les joints sont bien droits, aussi bien dans le sens longitudinal que transversal.

Pour les appareillages en arêtes de poisson ou à bâtons rompus, il faut régulièrement contrôler l'angle de 45° avec par exemple une ficelle ou une fausse équerre.



Figure 4.8

#### 4.7.5 Pièces spéciales préfabriquées

Il est possible de réaliser les bords d'un appareillage à joints alternés ou en épi avec des pièces spéciales préfabriquées. Pour réaliser les bords d'appareillages en arêtes de poisson ou à bâtons rompus, diverses pièces sont disponibles, comme les mitres ou les chapelles.

#### 4.7.6 Sciage des pavés d'ajustement



Figure 4.9

Bien qu'à éviter autant que possible, il est parfois nécessaire de réaliser des pavés d'ajustement lors de la pose d'un pavage. Les pavés sont pour cela sciés sur mesure à l'aide d'une lame refroidie avec de l'eau. Le sciage ne se fait que d'un côté de la route.

Il est très important de ne pas utiliser de pavés sciés dont la taille est inférieure à un demi-pavé.

#### 4.7.7 Mise en place mécanique des pavés en béton

L'objectif du pavage mécanique est d'une part d'alléger le travail manuel et d'autre part d'augmenter le rendement en cas de surfaces importantes.

##### 4.7.7.1 Avantages et inconvénients du pavage mécanique

###### 4.7.7.1.1 Avantages

- L'effort physique est moindre pour les ouvriers.
- Le travail réalisé est fort constant et stable.
- Le rythme d'exécution est plus élevé, ce qui permet une mise en service plus rapide et limite les désagréments causés aux riverains et au trafic.
- La technique peut être adaptée aux projets de grande ampleur (aires industrielles, places, terminaux de containers, etc.).
- Une moindre expertise est requise de la part des poseurs.

###### 4.7.7.1.2 Inconvénients

- Les machines sont coûteuses et les frais de transport supplémentaires sont élevés, ce qui fait que le matériel ne devient rentable qu'après un nombre d'heures suffisant d'utilisation annuelle.
- La méthode ne s'applique pas partout. Elle ne convient pas aux petits chantiers ou aux chantiers complexes. Il est très difficile de combiner une mise en œuvre manuelle et mécanique comme par exemple la réalisation d'un bord, de tournants, etc.
- Les ouvriers doivent constituer une équipe performante. Ceci est déterminant pour la vitesse de travail, l'efficacité et la sécurité.
- L'organisation, la logistique et la préparation des travaux sont très complexes.
- On roule toujours avec des machines sur des pavés qui viennent d'être posés, avant le jointoyage et la vibration. Cela peut engendrer des tassements de la couche de pose non compactée. Des machines légères à pneus larges peuvent pallier ce défaut.
- Les pavés ne peuvent être mélangés que par couche, ce qui peut donner des variations de couleur visibles de la surface.



#### 4.7.7.2 Différences par rapport à une mise en œuvre manuelle

Quelques étapes du processus de pavage (après la mise en œuvre de la fondation et de la couche de pose) sont réalisées différemment selon qu'on a opté pour une mise en œuvre manuelle ou mécanique. Il s'agit de la livraison des paquets de pavés, du déplacement sur chantier et de la mise en place des pavés.



##### 4.7.7.2.1 Livraison des pavés

L'approvisionnement des pavés doit être mis au point lors d'un pavage mécanique. Les paquets de pavés doivent être livrés par le fournisseur dans l'appareillage requis. Le fabricant doit donc connaître au préalable l'appareillage prescrit. Il est également important qu'il puisse placer les pavés juste à côté de la zone à paver, pour assurer le rendement voulu.



##### 4.7.7.2.2 Déplacement sur chantier et mise en place des pavés

Pour le déplacement et la mise en place des pavés, on utilise une machine de pavage. Il s'agit d'un mini-chargeur adapté ou d'une grue sur laquelle est fixée une pince, qui permet de prélever d'un paquet une couche de pavés positionnés suivant l'appareillage choisi et de la poser.

Il est important que cette machine soit aussi légère que possible, ait des pneus larges et soit très maniable. Une grue a une portée plus importante, mais est moins précise et moins mobile.



Les pinces utilisées sont hydrauliques ou à vide (aspiration).

Le système à vide est souvent utilisé pour les formats plus grands, pour prendre, déplacer et poser les pavés (en un seul mouvement). Les ventouses se mettent sur chaque élément, et la pompe à vide les aspire pour ensuite les placer à l'endroit souhaité.

Dans le système hydraulique, les éléments sont enserrés latéralement, par couche livrée.



Dans les deux cas, les appareillages sont complétés manuellement (voir photo).

Figure 4.10 Pavage mécanique

## 4.8 Remise en place des pavés et des dalles portant une indication

Les éventuels pavés ou dalles portant une indication (repères altimétriques, impétrants, etc.) doivent être remis à leur place originelle avec beaucoup d'attention et de soin.

## 4.9 Joints de dilatation dans le pavage



Figure 4.11

Les joints seuls ne suffisent pas pour compenser les dilatations qui se produisent en été, puisque le matériau de scellement n'est pas compactable. C'est pourquoi un joint de dilatation doit être réalisé tous les 30 m au moins, a fortiori lorsque le pavage est réalisé en période hivernale.

Des joints de ce type doivent également être réalisés avant et après les virages.

Si un joint est réalisé dans une fondation liée au ciment, il doit correspondre à un joint dans le pavage. A hauteur du marquage du joint de dilatation dans la fondation, une fourrure est placée entre les pavés, jusqu'à 3 cm de la surface. Cette ouverture est jointoyée de manière élastique après vibration des pavés et nettoyage du joint.

## 4.10 Finition autour des points singuliers et aux extrémités du revêtement

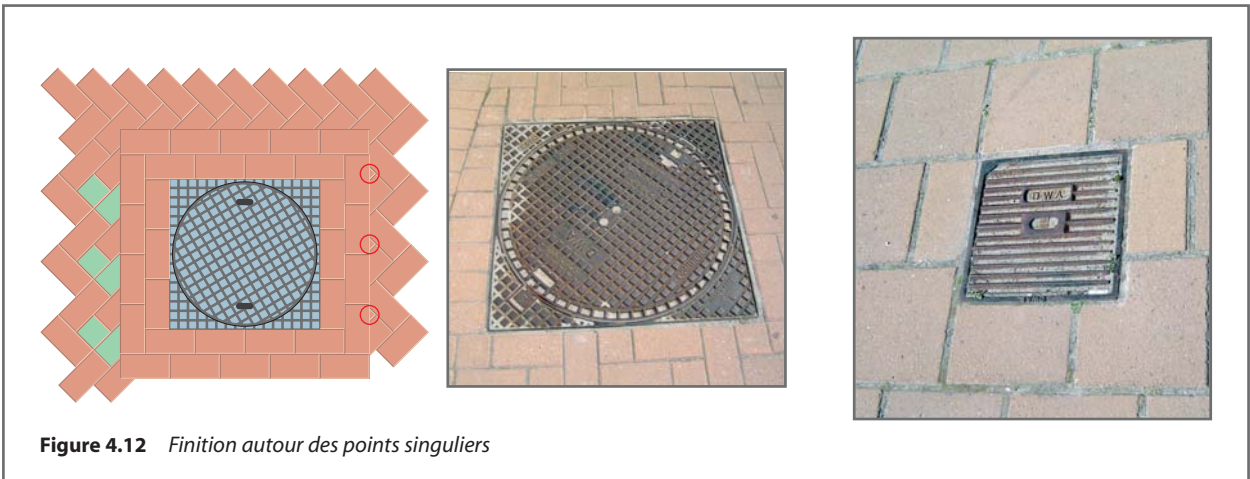


Figure 4.12 Finition autour des points singuliers



Figure 4.13a Mauvaise exécution en courbe avec utilisation de pavés trop petits

Figure 4.13b Exécution correcte en courbe, avec utilisation de pavés de taille supérieure à un demi-pavé

La finition autour des points singuliers et dans les courbes requiert une attention particulière. La plupart du temps, ce sont justement ces détails qui déterminent la réussite ou l'échec du revêtement. En évitant l'utilisation de pavés de taille inférieure à un demi-pavé, de nombreux problèmes peuvent déjà être évités.

Les ouvertures inférieures à 3 cm sont remplies sur toute l'épaisseur du pavage avec un microbéton de la même couleur que les pavés.

#### 4.11 Jointoyage et vibration du pavage en pavés de béton



Une fois que l'ensemble du pavage (y compris les bords) a été posé, on remplit une première fois les joints par broissage. Après cette étape, il ne peut plus y avoir de quantité importante de sable ou des gravillons en surface du revêtement. Les pavés sont ensuite stabilisés à l'aide d'une plaque vibrante, qui assure aussi le compactage de la couche de pose.



On chevauche les passes avec une demi-largeur de plaque vibrante. Cette dernière doit être recouverte de caoutchouc ou de plastique (nylon) pour ne pas endommager les pavés. On passe la plaque vibrante aussi près que possible des bords du revêtement, comme le contrebutage.

Le poids de la plaque vibrante doit correspondre au type de pavés:

- pour une épaisseur de 6 cm: un poids de 130 kg et une force centrifuge de 18 à 20 kN;
- pour une épaisseur de 8 cm: un poids de 130 kg et une force centrifuge de 30 à 60 kN;
- pour une épaisseur de 10 cm et plus: un poids de 200 à 600 kg et une force centrifuge de 30 kN.



La plaque vibrante s'approche autant que possible des bords du revêtement, ainsi que du contrebutage, tout en gardant une distance d'au moins 1 m par rapport aux endroits où des pavés doivent encore être mis en oeuvre.

Lors de la vibration, les pavés endommagés sont remplacés et les défauts du profil, les inégalités et les différences de hauteur entre pavés adjacents sont corrigés s'ils semblent inacceptables:

- la planéité est mesurée avec une règle de 3 m. Les inégalités > 5 mm doivent être éliminées;
- les différences de hauteur entre pavés adjacents ne peuvent pas dépasser 2 mm. C'est d'autant plus vrai pour les pavés ayant un petit voire pas de chanfrein. En effet, même les inégalités les plus minimes ressortiront sous un éclairage rasant.



Le jointoyage et la vibration sont répétés jusqu'à ce que les pavés soient totalement fixes et puissent donc encaisser les mouvements horizontaux.

Après ces étapes, on répand une fine couche de sable sur le pavage.

Si les joints ont été remplis avec un matériau lié au ciment, il est recommandé de garder la surface des pavés humide pendant quelques jours si le temps est chaud et sec.

Quelques semaines après l'exécution, les éventuels joints mal remplis doivent l'être de nouveau.

Figure 4.15



# Chapitre 5

## Entretien

Les revêtements en pavés de béton doivent être contrôlés et entretenus, de manière simple et efficace, et en occasionnant un minimum de désagréments.

Il faut veiller aux points suivants:

- accessibilité pour les riverains;
- respect de l'environnement;
- possibilité de réalisation mécanique;
- limitation des nuisances sonores;
- exécution en différentes phases;
- exécution sans formation de poussières;
- les pavés et les joints ne peuvent pas être endommagés.

### 5.1 Contrôle et remplissage régulier des joints

Il est nécessaire de contrôler les joints peu de temps après la mise en service.

Les joints peuvent se vider pour diverses raisons, comme:

- des précipitations extrêmes;
- du vent extrême;
- un nettoyage inapproprié et une aspiration du matériau de scellement;
- l'effet de pompage dans les frayées des pneus des véhicules.

Dans tous ces cas, les joints doivent être remplis à nouveau, par balayage ou si possible par brossage avec arrosage simultané d'eau.

Si des affaissements se sont déjà produits, les pavés doivent être retirés, la couche doit être remplacée et les pavés doivent de nouveau être posés et stabilisés par vibration. Cette réparation ne pourra être durable que si l'affaissement s'est produit dans la couche de pose et pas dans la fondation. Dans ce cas-là, il faudra procéder à une réparation plus conséquente.

Il n'est pas facile de raccorder parfaitement un pavé qui a été reposé à une partie non endommagée du pavage.

### 5.2 Nettoyage

#### 5.2.1 Brossage

On peut réaliser un brossage manuel ou mécanique.

Les machines qui brossent et qui aspirent en même temps les saletés sont fortement déconseillées, particulièrement les premiers mois qui suivent la pose du pavage, car elles arrachent et aspirent les joints.

#### 5.2.2 Nettoyage avec de l'eau sous haute pression ou avec de l'eau chaude

Ici aussi, il existe un risque réel d'endommager les joints.

Si la pression est trop forte lors du nettoyage, la couche supérieure des pavés risque d'être endommagée. La couleur peut être altérée et la surface devenir plus poreuse, ce qui a pour conséquence une accélération des salissures et de l'apparition de mousse.



Aspect des pavés	Salissures pour une utilisation normale	Taches aléatoires
Pavés simples, non traités	3-4-5-7	1-2-3-6-(5)
Pavés polis	3-4-7	1-2-3-7
Sablés, bouchardés, tambourinés, etc.	3-4-5	1-2-3-7-(5)
Pavés dénudés	2-3-4	1-2-3-6-(5)

**Tableau 5.1** Quelques recommandations pour le nettoyage des pavés en béton

- 1 Avec eau sous pression normale
- 2 Avec eau sous haute pression
- 3 Avec eau sous haute pression, combinée à des produits nettoyants
- 4 Par vapeur
- 5 Sablage humide
- 6 Nettoyage chimique (voir le tableau suivant)
- 7 Abrasion

### 5.2.3 Nettoyage par vapeur



**Figure 5.1**

Le nettoyage par vapeur est un bon système, à condition que la pression ne soit pas trop élevée.

Ici aussi, il existe un risque que les pavés soient endommagés, que leur couleur soit altérée et qu'ils deviennent plus poreux.

### 5.2.4 Elimination des taches

Tout d'abord, les taches doivent être soigneusement examinées.

Une fois que l'origine des taches a été déterminée, on peut tester les produits ou méthodes à appliquer.

De nombreux produits chimiques attaquent le béton (acides) ou sont néfastes pour l'environnement (solvants).

Il est nécessaire d'humidifier les pavés au préalable et de les rincer soigneusement à la fin.

Il est évident que les taches doivent être traitées le plus rapidement possible, pour éviter qu'elles ne s'incrustent.

Le tableau suivant donne un aperçu.



Type de taches	Prétraitement	Produits à utiliser	Traitement
Micro-organismes	Humidifier	Eau chlorée (javel) 5 %	Traiter la surface et laisser agir quelques minutes. Eventuellement frotter. Rincer abondamment.
Efflorescences	Humidifier	Acide chlorhydrique 5 % à 10 % (* - **)	Traiter la surface et frotter avec une brosse en nylon. Rincer immédiatement et abondamment.
Rouille	Humidifier	Acide oxalique 5 % (* - ** - ***) Acide phosphorique 10 % (* - **)	Traiter la surface et frotter avec une brosse en nylon. Rincer immédiatement et abondamment. Pour les taches plus vieilles ou plus tenaces, on peut ajouter du talc au produit, laisser sécher et brosser.
Huiles minérales ou synthétique	Enlever un maximum avec un chiffon	Benzène (****) ou trichloréthylène (***) ou soude caustique chaude (**)	Traiter et rincer la surface. Pour les taches plus vieilles ou plus tenaces, on peut ajouter du talc au produit, laisser sécher et brosser.
Peinture	Enlever un maximum avec un chiffon	Selon le type de peinture un solvant ou, si la peinture est vieille, un décapant (** - ***)	Traiter et retirer la surface. Rincer abondamment.
Huiles végétales	Enlever un maximum avec un chiffon	Solution de mer ou Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Traiter et retirer la surface. Rincer abondamment.
Asphalte ou bitume	Gratter	Benzène (****) ou soude caustique chaude (**)	Traiter et retirer la surface. Pour les taches plus vieilles et plus tenaces, on peut ajouter du talc au produit, laisser sécher et brosser.
Graisses	Gratter	Solution de mer ou soude caustique (**)	Traiter et retirer la surface. Pour les taches plus vieilles ou plus tenaces, on peut ajouter du talc au produit, laisser sécher et brosser.
Chewing-gum	Refroidir et gratter	Chloroforme ou tétrachlorure de carbone (***)	Traiter la surface. Pour les taches plus vieilles ou plus tenaces, on peut ajouter du talc au produit, laisser sécher et brosser.

**Tableau 5.2** Aperçu des produits et des traitements pour éliminer diverses taches sur les pavés en béton

- \* Produit qui attaque le béton
- \*\* Produit corrosif
- \*\*\* Produit toxique
- \*\*\*\* Produit facilement inflammable

### 5.3 Mousse, algues et champignons

Plus la surface est poreuse, plus elle sera rapidement envahie par des micro-organismes.

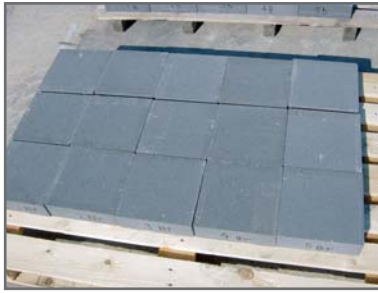
La localisation du revêtement a également son importance. S'il est toujours à l'ombre, ce type de pollution se développera plus facilement.

### 5.4 Efflorescence de chaux sur le béton

#### 5.4.1 Qu'est-ce que l'efflorescence de chaux?

L'efflorescence de chaux est un processus naturel qui peut se produire dans tous les produits en béton et les matériaux liés au ciment. Elle est comparable à l'efflorescence dans les maçonneries.

Sous certaines conditions climatiques, une efflorescence de chaux (coloris gris-blanc) peut apparaître à la surface des produits en béton, tant lors de la production qu'après celle-ci. Il s'agit d'une propriété naturelle des matériaux liés au ciment.



**Figure 5.2a** Surface sans efflorescence de chaux  
**Figure 5.2b** Surface avec efflorescence de chaux

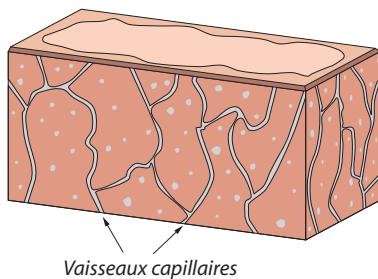
Le ciment réagit chimiquement avec l'eau, et libère de la chaux «libre». Celle-ci se présente sous la forme d'un voile blanc à la surface du béton. La qualité du produit en béton n'en est pas amoindrie, et sous l'impact de ces mêmes conditions climatiques et de l'utilisation quotidienne du pavage, cette efflorescence va s'estomper au fil du temps et disparaître.

Ce phénomène se remarque surtout sur les pavés et les dalles de couleur, surtout de couleur foncée.

Parfois, l'efflorescence de chaux se présente sous une forme plus estompée, et l'on ne voit qu'un reflet blanc, ou une petite différence de couleur entre les pavés qui présentent cette efflorescence et les autres.

Cette efflorescence blanche se remarque surtout sur un pavé sec. Sur une surface humide (par exemple après une averse), le pavé retrouve l'intensité de sa couleur initiale. Cela indique la présence d'une efflorescence de chaux, étant donné que celle-ci n'est que peu voire pas visible sur une surface humide.

#### 5.4.2 Comment apparaît l'efflorescence de chaux?



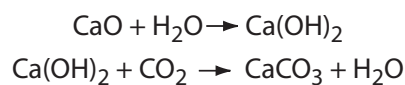
**Figure 5.3**

Un des principaux composants des pavés est le ciment, et un des principaux composants du ciment est la chaux. Dans le béton durci, cette chaux est présente sous la forme d'oxyde de calcium (CaO).

Lors du processus de production, le pavé en béton est très bien compacté, mais au niveau microscopique il contient un réseau dense de minuscules canaux, des vaisseaux capillaires, qui s'étendent de l'intérieur du pavé vers la surface. L'eau de gâchage du béton, la pluie, l'eau des nappes phréatiques et l'humidité de l'air remplissent ces canaux. L'oxyde de calcium se dissout dans cette eau (H<sub>2</sub>O) et forme de l'hydroxyde de calcium (Ca(OH)<sub>2</sub>). Celui-ci se dissout également facilement dans l'eau. A la surface du pavé, il réagit avec le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) présent dans l'air, et forme du carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>).

Ce carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) n'est pas soluble dans l'eau et forme des cristaux blancs à la surface du pavé: l'efflorescence de chaux.

Par temps humide, l'eau qui s'écoule rend les cristaux de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) transparents: c'est de là que vient l'illusion que l'efflorescence de chaux a disparu.



Le carbonate de calcium qui s'est formé (CaCO<sub>3</sub>) réagit, mais il s'agit d'un procédé de longue durée, avec le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et l'eau (H<sub>2</sub>O) pour devenir du bicarbonate de calcium (Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>).

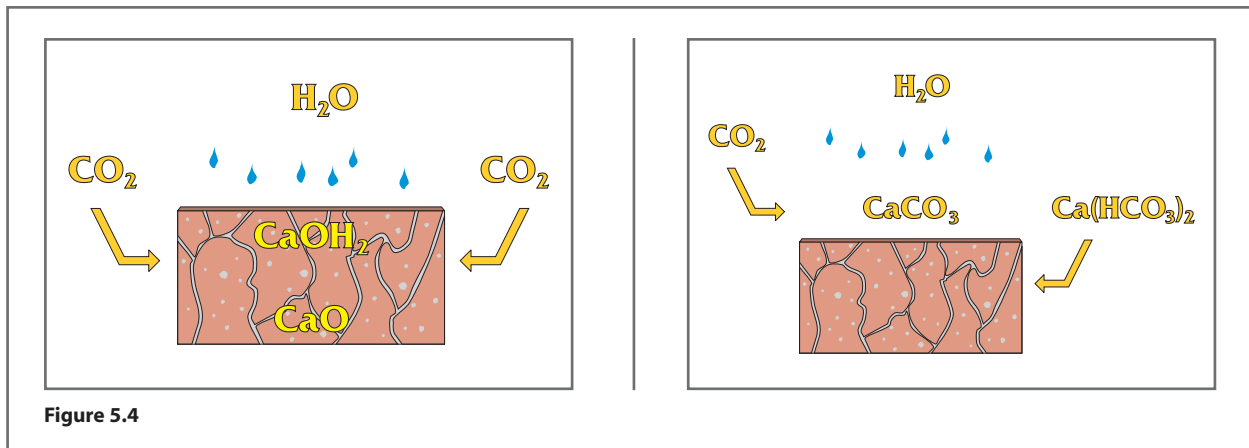


Figure 5.4

### 5.4.3 Comment l'efflorescence de chaux disparaît-elle?

Le bicarbonate de calcium ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) est soluble dans l'eau et est donc rincé lors de la première averse. Mais, comme nous l'avons dit, la formation de bicarbonate de calcium ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) est un processus de longue durée, qui dépend de nombreux facteurs externes. Il faut parfois beaucoup de temps avant que tout le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) se transforme en bicarbonate de calcium ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ).

Heureusement, d'autres facteurs peuvent aussi contribuer à faire disparaître l'efflorescence de chaux.

Les cristaux de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) ne sont certes pas solubles, mais peuvent être rincés par la pluie, tout comme le sable et les saletés. D'autres influences climatiques, comme le vent, la grêle et la neige, peuvent précipiter ce processus. Les pluies acides contribuent à dissoudre les cristaux.

### 5.4.4 Différences entre les types de ciment

La réaction du ciment de haut fourneau (CEM III) ou du ciment Portland composé (CEM II) avec l'eau produit beaucoup moins de chaux libre que la réaction entre le ciment Portland et l'eau. Ceci est dû à une différence dans la composition.

C'est la chaux libre qui est responsable de l'efflorescence. La recherche a cependant révélé que l'ampleur de l'efflorescence de chaux vive ne différerait pas beaucoup d'un type de ciment à l'autre. La raison en est qu'il ne faut que très peu de chaux libre dans l'eau présente dans les pores pour obtenir une solution de chaux. La quantité de chaux libre formée dans tous les types de ciment est bien suffisante pour générer une efflorescence.

Etant donné que l'efflorescence de chaux est blanche, elle se remarque d'autant plus que le contraste avec le sol est marqué. Ainsi, il y a une différence entre le béton avec du ciment Portland et du ciment de haut-fourneau. Ce dernier est généralement (bien) plus clair que le béton au ciment Portland. Une efflorescence de chaux se remarquera donc beaucoup moins sur du béton au ciment de haut-fourneau que sur du béton coloré ou sur du béton au ciment Portland, où elle sera considérée comme gênante.

### 5.4.5 Est-il possible d'accélérer le processus?

Normalement, l'efflorescence de chaux disparaît progressivement dans une période de six mois à un an. Si les pavés sont protégés de la pluie, cela prendra plus de temps.

Il est possible d'accélérer le processus naturel de disparition de l'efflorescence de chaux.

Il n'est pas recommandé d'utiliser un nettoyeur à haute pression ou d'utiliser une machine, car les joints ou les pavés peuvent être endommagés, ce qui peut avoir des conséquences sur la stabilité et l'aspect du pavage.

Si l'on souhaite un résultat immédiat, on peut utiliser des produits spéciaux disponibles sur le marché pour éliminer les efflorescences de chaux. Ces produits sont généralement à base d'un acide léger et dénudent légèrement le béton. On peut éventuellement réaliser soi-même une solution d'acide chlorhydrique dilué (HCl)

(une part d'acide chlorhydrique pour cinq parts d'eau) pour obtenir un résultat similaire. Il faut toujours suivre les consignes de sécurité du fabricant (protection de la peau et des yeux!). Etant donné que l'acide chlorhydrique attaque légèrement le béton, la surface à traiter doit préalablement être saturée d'eau, pour que l'acide ne pénètre pas trop profondément dans les pores.

Après un traitement de ce type, la surface doit être soigneusement rincée avec de l'eau et il faut veiller à ce que les résidus de produit n'entrent pas en contact avec la végétation et le gazon.

Ce rinçage est nécessaire car la réaction entre l'acide et la chaux produit du chlorure de calcium. Cet acide attire une grande quantité d'eau et fait que, dans des conditions normales, la surface reste humide. Par temps sec cependant, il se présente sous la forme d'un précipité blanc. De plus, l'acide chlorhydrique est nocif pour l'environnement.

Etant donné qu'il s'agit d'un traitement très agressif, il convient de procéder préalablement à un test sur une petite surface et d'évaluer le résultat avant d'étendre le traitement à l'ensemble du pavage.

Vu qu'il n'est pas simple d'éliminer les efflorescences, il est préférable de laisser faire le processus naturel et de ne prendre aucune mesure particulière. Le plus souvent, la surface du béton aura un aspect de plus en plus uniforme à mesure que le temps passe.

Quelle que soit la manière dont on s'attaque au problème d'efflorescence, la solution est rarement efficace à 100 % et le traitement peut engendrer des différences d'aspect.

## Chapitre 6

### Démontage et remise en place des pavés en béton (après intervention sur impétrans)

Un problème souvent rencontré avec les revêtements en pavés de béton est le démontage local du revêtement, par exemple pour la pose d'impétrans. Bien souvent, trop peu d'attention est portée à la remise en place des pavés, ayant comme conséquence des affaissements rapides. C'est pourquoi ce chapitre traite des points d'attention particuliers relatifs à la repose des pavés en béton après remblayage des tranchées. Cette technique peut d'ailleurs également être utilisée pour la réalisation de réparations locales à d'autres endroits du revêtement.

Afin d'éviter autant que possible la dégradation des pavés, il y a lieu d'utiliser une pince spécifique qui permet, après enlèvement du matériau de jointoiment, d'extraire les pavés du revêtement.



Figure 6.1

S'il n'est pas possible d'extraire les pavés intacts, il faudra démolir un certain nombre de pavés. Il y a bien sûr lieu de prévoir un certain nombre de pavés similaires, de mêmes format et coloris, afin de pouvoir remplacer les pavés détruits. Eventuellement, un trou peut être foré dans un pavé ce qui permet, à l'aide d'une cheville et d'une vis, d'extraire le pavé du revêtement.

La dépose d'autres pavés peut ensuite être facilitée en passant brièvement la plaque vibrante sur les pavés à démonter, afin de les dégager.

Dans le cas où une tranchée est creusée, il y a lieu de démonter deux rangées de pavés supplémentaires de part et d'autre de la tranchée. Les pavés démontés sont ensuite nettoyés et stockés dans un endroit sûr.



Figure 6.2 *Egalisation de la couche de pose à l'aide d'une poutre spécialement sciée*

En cas d'averse, il est conseillé, certainement dans le cas des fondations liées au ciment, de prévoir une protection de la zone démontée afin d'éviter l'accumulation d'eau entre la fondation et la couche de pose.

Après le creusement de la tranchée et la pose de la conduite, ou après dégagement de la zone à réparer, la fondation est mise en oeuvre avec des matériaux neufs, de préférence de même nature que le matériau en place ou, éventuellement, en sable stabilisé ou en empierrement lié au ciment. Le remblai est compacté machinalement, par couches de maximum 10 cm d'épaisseur.

La couche de pose est enlevée sur toute l'étendue de la zone démontée et est ensuite reposée, en utilisant un matériau de qualité. Ce dernier est étendu à l'aide d'une latte de répartition. Une surépaisseur de quelques millimètres peut être prévue pour rattraper le tassement induit par le compactage de la couche de pose.

Les pavés stockés sont ensuite remis en place, et les joints sont remplis. L'ensemble est ensuite compacté à la plaque vibrante, tout en veillant au remplissage complet de tous les joints.



## Bibliographie

### **Beeldens, A.**

*Pistes cyclables: sûres et confortables.*

Beton 200, mars 2009, pp.42-46. Bruxelles : Fédération de l'Industrie du Béton (FEBE), 2009.

### **Centre de Recherches Routières**

*Revêtements drainants en pavés de béton.*

Dossier n° 5, 3e trimestre 2008. Bruxelles : Centre de Recherches Routières (CRR), 2008.

### **Cimbeton**

*Aménagements urbains et produits de voirie en béton : conception et réalisation.*

Collection technique Cimbeton. [s.l.] : Cimbeton, 1997.

### **Febelcem**

*La route en béton de ciment.*

Bruxelles : Febelcem, 1988.

### **Febelcem**

*Pavés en béton.*

Dossier n° 6, octobre 1995. Bruxelles : Febelcem, 1995.

### **Febelcem**

*Revêtements en pavés de béton : conception et mise en œuvre.*

Dossier n° 8, avril 1996. Bruxelles : Febelcem, 1996.

### **Fonds de formation professionnelle de la construction**

*Pavage : cours de perfectionnement pour chefs d'équipe construction. Bruxelles*

Fonds de formation professionnelle de la construction (FFC), 1984.

### **Huurman, M. (TU Delft)**

*Dimensioneringsmethode voor verhardingen van betonstraatstenen.*

Studiedag bestratingen, Brussel, november 19, 1996.

### **Interpave**

*Structural design of concrete block pavements.*

Leicester : Interpave, 2005.

### **Schackel, B.**

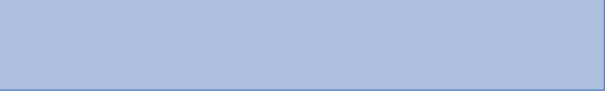
*Design and construction of interlocking concrete block pavements.*

London : Elsevier, 1990.

### **Werner, Bartolomaeus, von Becker & [et al.].**

*Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen : RStO 01.*

Köln : Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV), 2001.



## Liste des figures

Figure 1.1	Exemple de structure d'un pavage	1
Figure 1.2	structures types en fonction de la charge du trafic	3
Figure 1.3	Essai à la plaque	4
Figure 1.4	Fondation avec couche de pose, pavés et matériau de jointoiement	6
Figure 1.5	Effet de pompage	7
Figure 1.6	Dégradation du pavage due à une infiltration et stagnation d'eau	7
Figure 1.7	Présence de matériaux fins à la surface suite à l'effet de pompage	8
Figure 1.8	Bon remplissage des joints avant ouverture au trafic	8
Figure 1.9a	Evacuation de l'eau via l'avaloir	9
Figure 1.9b	Evacuation de l'eau qui a pénétré dans la fondation via un tuyau de drainage	9
Figure 1.10	Contrebutage entre le trottoir et la chaussée	9
Figure 1.11a	Coupes longitudinales d'une transition entre différents types de revêtements	9
Figure 1.11b	Coupes longitudinales d'une transition entre différents types de revêtements	9
Figure 1.12	Bordure à la transition entre revêtement bitumineux et pavage en béton	10
Figure 1.13a	Mauvaise exécution: pavé scié contre le contrebutage	10
Figure 1.13b	Exécution correcte avec chanfrein meulé	10
Figure 1.14a	Mauvaise exécution: pavé scié contre le contrebutage & Exécution correcte avec chanfrein meulé	10
Figure 1.14b	Mauvaise exécution: pavé scié contre le contrebutage & Exécution correcte avec chanfrein meulé	10
Figure 1.15a	Contrebutage pour la catégorie de trafic IV	11
Figure 1.15b	Contrebutage pour les catégories de trafic III, II et I	11
Figure 1.16a	Rangée simple de pavés complet le long d'un contrebutage	11
Figure 1.16b	Eviter le contact direct entre des demi-pavés et la rangée de pavés	11
Figure 1.17	Finition d'un appareillage en épi dans une courbe	11
Figure 1.18	Utilisation de chapelles avec un appareillage en épi avec ou sans demi-pavés en béton	12
Figure 1.19	Couche de pose	12
Figure 1.20a	Evacuation des eaux de surface via un caniveau le long d'un contrebutage (solution classique)	14
Figure 1.20b	Evacuation des eaux de surface via un caniveau	14
Figure 1.21a	Caniveau constitué de pavés	14
Figure 1.21b	Caniveau préfabriqué en béton	14
Figure 1.22a	Assise de panneresses comme caniveau	15
Figure 1.22b	Assise de chant comme caniveau	15
Figure 1.22c	Assise de panneresses et bande de contrebutage sur lit de pose en mortier et fondation	15
Figure 1.23	Formats standard	16
Figure 1.24	Répartition des charges en fonction de la taille des pavés	16
Figure 1.25	Disposition dans une courbe en fonction de la taille des pavés	16
Figure 1.26	Différentes formes de pavés profilés	17
Figure 1.27	Principe de fonctionnement des pavés profilés avec support	17
Figure 1.28	Epaisseur des pavés en béton	17
Figure 1.29	Transfert de charge entre les pavés	18
Figure 1.30	Influence de l'épaisseur des pavés sur le transfert des efforts verticaux	18
Figure 1.31	Transfert de force horizontale dans les joints en fonction de l'épaisseur du pavé	18
Figure 1.32	Contraintes dans les joints en fonction de la déformation du pavage et de l'épaisseur des pavés	18
Figure 1.33	Ecarteurs: nervures (à gauche) et encoches (à droite)	19
Figure 1.34	Chanfrein	19
Figure 1.35	Présence d'un chanfrein pour éviter les dégâts lors de la stabilisation par vibration (à gauche) ou les dégradations dues au trafic (à droite)	19
Figure 1.36	Mitres cardinal et mitres évêque	20
Figure 1.37	Pavé produit en deux couches	20
Figure 1.38	Pavé produit en une couche	20
Figure 1.39	Pavages colorés	21
Figure 1.40	Granulats colorés	21
Figure 1.41	Dénudage	22
Figure 1.42	Grenailage	23
Figure 1.43	Bouchardage	23
Figure 1.44	Polissage	23
Figure 1.45	Fendage	24
Figure 1.46	Tambourinage	24
Figure 1.47	Vieillessement «in-line»	24

Figure 1.48	Imprégnation	25
Figure 1.49	Surface supérieure du pavé non traitée, dénudée, grenillée et bouchardée	25
Figure 1.50	Couche supérieure en tôle larmée en aluminium, couche supérieure en pierre naturelle, couche supérieure en caoutchouc	25
Figure 1.51	Protubérances, imitation de pierre naturelle, imitation de bois	26
Figure 1.52	Différence de hauteur entre deux pavés moins perceptible dans le cas de pavés munis de chanfreins	26
Figure 1.53	Influence du chanfrein, de l'appareillage et de la finition de surface sur le bruit de roulement	26
Figure 1.54	Différents appareils de pose	27
Figure 1.55	Exemple de stabilité du filtre entre la fondation et la couche de pose	28
Figure 1.56	Profil à pente transversale unique	28
Figure 1.57	Profil en toit	29
Figure 1.58	Profil bombé modifié	29
Figure 1.59	Profil en toit inversé	29
Figure 2.1	Parking en pavés de béton	31
Figure 2.2	Pavés en béton à joints élargis	31
Figure 2.3	Pavés en béton avec ouvertures de drainage	32
Figure 2.4	Pavés en béton poreux	32
Figure 2.5	Dalles-gazon en béton	33
Figure 2.6	Applications diverses	33
Figure 2.7	Arbre décisionnel pour le dimensionnement de pavages drainants	34
Figure 2.8	Emplacement du système de drainage en fonction du type de sol dans le cas où l'infiltration dans le sol est admise	35
Figure 2.9	Emplacement du système de drainage en fonction du type de sol dans le cas où l'infiltration dans le sol n'est pas permise	36
Figure 2.10	Méthode open-end	36
Figure 2.11	Méthode du puits	36
Figure 2.12	Structures pour revêtements perméables en fonction du trafic et de la perméabilité du sol	37
Figure 2.13	Couche de pose et produit de scellement des joints	40
Figure 2.14	Méthode du double anneau	40
Figure 2.15	Rond-point en pavés de béton	41
Figure 2.16	Contrebutages	41
Figure 2.17	Piste cyclable en pavés de béton	42
Figure 2.18	Piste cyclable en pavés de béton	42
Figure 2.19	Influence de l'appareillage sur le confort des pistes cyclables adjacentes et séparées	42
Figure 3.1	Exemple de label	44
Figure 3.2	Détermination de la résistance au gel/dégel en présence de sels de déverglaçage	46
Figure 3.3	Résistance à la rupture en traction par fendage	47
Figure 3.4	Appareil Capon et éprouvette testée	47
Figure 4.1	Sous-fondation	54
Figure 4.2	Contrebutage et finition des bords	54
Figure 4.3	Face supérieur anti-éclats d'un contrebutage	55
Figure 4.4	Pose d'un épaulement derrière les éléments de contrebutage	55
Figure 4.5	Mesure des inégalités à l'aide d'une règle de 3 m	55
Figure 4.6	Profilage de la couche de pose à l'aide de guides de montage.	56
Figure 4.7	Mise en place des pavés en béton	57
Figure 4.8	Rectitude des joints lors de la mise en œuvre	57
Figure 4.9	Sciage des pavés d'ajustement	58
Figure 4.10	Pavage mécanique	59
Figure 4.11	Joint de dilatation dans le pavage	60
Figure 4.12	Finition autour des points singuliers	60
Figure 4.13a	Mauvaise exécution en courbe avec utilisation de pavés trop petits	60
Figure 4.13b	Exécution correcte en courbe, avec utilisation de pavés de taille supérieure à un demi-pavé	60
Figure 4.14	Jointoyage et vibration du pavage en pavés de béton	61
Figure 4.15	Mesure de la planéité	61
Figure 5.1	Nettoyage par vapeur	64
Figure 5.2a	Surface sans efflorescence de chaux	66
Figure 5.2b	Surface avec efflorescence de chaux	66
Figure 5.3	Efflorescence de chaux	66
Figure 5.4	Apparition de l'efflorescence de chaux	67
Figure 6.1	Démontage et remise en place des pavés en béton	69
Figure 6.2	Egalisation de la couche de pose à l'aide d'une poutre spécialement sciée	69

## Liste des tableaux

Tableau 1.1	Catégories de trafic	2
Tableau 1.2	structures types en fonction des catégories de trafic	2
Tableau 1.3	Indice de gel et profondeur Z de pénétration du gel en différents lieux	4
Tableau 1.4	Limitation de la quantité de fines en fonction de la catégorie de trafic	13
Tableau 1.5	Formats	15
Tableau 1.6	Ecart admissible suivant les normes NBN B 21-311 et NBN EN 1338	17
Tableau 2.1	Prescriptions pour les pavages perméables	32
Tableau 3.1	Ecart admissible pour les pavés en béton selon la NBN EN 1338	45
Tableau 3.2	Ecart maximal autorisé entre les diagonales (> 300 mm) des pavés en béton selon la NBN EN 1338	45
Tableau 3.3	Ecart de planéité et courbure des pavés en béton selon la NBN EN 1338	45
Tableau 3.4	Absorption d'eau des pavés en béton selon la NBN EN 1338	45
Tableau 3.5	Résistance au gel/dégel des pavés en béton en présence de sels de déverglaçage selon la NBN EN 1338	46
Tableau 3.6	Coefficient de correction k pour calculer la résistance à la rupture en traction par fendage	47
Tableau 3.7	Classes de résistance à l'abrasion des pavés en béton selon la NBN EN 1338	48
Tableau 3.8	Différence maximale (BENOR) entre les diagonales (> 300 mm) des pavés en béton selon la NBN B 21-311	49
Tableau 3.9	Résistance au gel (BENOR) des pavés en béton selon la NBN B 21-311	49
Tableau 3.10	Classes de résistance à l'abrasion (BENOR) des pavés en béton	50
Tableau 3.11	Catégories d'application des pavés en béton selon la NBN B 21-311	50
Tableau 5.1	Quelques recommandations pour le nettoyage des pavés en béton	64
Tableau 5.2	Aperçu des produits et des traitements pour éliminer diverses taches sur les pavés en béton	65

Code de bonne pratique pour la conception et l'exécution de revêtements en pavés de béton / Centre de Recherches Routières

- Bruxelles : CRR, 2009
- 70 p.
- (Recommandations, ISSN 1376 - 9340 ; 80)

Ce code de bonne pratique traite la thématique des revêtements en pavés de béton tels que définis dans la norme européenne EN 1338 «Pavés en béton : prescriptions et méthodes d'essai» selon laquelle un pavé est caractérisé par un rapport entre la longueur et l'épaisseur inférieur ou égal à 4.

Le premier chapitre concerne les aspects liés à la conception. Il reprend les principes de dimensionnement, ainsi que les choix et spécifications des différentes couches qui constituent une route.

Le deuxième chapitre se penche sur les applications spéciales, telles que les pistes cyclables et les ronds-points, qui requièrent un soin tout particulier tant dans la conception que dans l'exécution. Il met également en avant les exigences spécifiques pour les pavages perméables.

Le troisième chapitre se concentre sur les spécifications et les contrôles belges qui garantissent la qualité des matériaux produits en Belgique (marque éventuellement BENOR)

Le chapitre quatre reprend toutes les étapes de l'exécution du revêtement en pavés de béton, à savoir, - l'inspection et le contrôle des matériaux ; - la réalisation du fond de coffre, de la sous-fondation, du contrebutage et des bords et de la fondation ; - l'épandage, le profilage et le compactage de la couche de pose ; - la mise en place des pavés, - la réalisation des joints de dilatation ; - la finition autour des points singuliers et aux extrémités du revêtement ; et enfin – le jointoyage.

Le chapitre cinq examine les contrôles et l'entretien nécessaire à ce type de revêtement.

Quant au dernier chapitre, il fait le point sur le démontage et la remise en place des pavés en béton après une éventuelle intervention sur les impétrants.

#### Classification ITRD

32 Béton

#### Mots-clés ITRD

2972 – REVETEMENT (CHAUSSEE) ; 4508 – PAVE ; 4755 - BETON HYDRAULIQUE ; 3055 - CALCUL DES CHAUSSEES ; 9011 – DIMENSIONNEMENT ; 3655 - CONSTRUCTION (EXECUTION) ; 3623 - MISE EN OEUVRE (APPL) ; 3847 – ENTRETIEN ; 5950 - CYCLE DE VIE ; 0139 – NORME ; 0147 – RECOMMANDATION ; 9101 – CONTROLE ; 9107 – ESTHETIQUE ; 6784 – COULEUR ; 8008 - BELGIQUE

#### Commande

Réf.: R80/09

Prix: 14.00 € (excl. 6 % TVA)

Fax: +32 2 766 17 87  
e-mail: [publication@brrc.be](mailto:publication@brrc.be)







## **C e n t r e   d e   r e c h e r c h e s   r o u t i è r e s**

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

boulevard de la Woluwe 42

1200 Bruxelles

Tél. : 02 775 82 20 - fax : 02 772 33 74

*[www.crr.be](http://www.crr.be)*