



Revêtements des aménagements cyclables



Recommandations pour la conception,
la mise en œuvre et l'entretien



Le vademecum vélo en Région de Bruxelles-Capitale offre un soutien technique à tous les acteurs engagés dans le développement de l'usage du vélo à Bruxelles, en particulier pour l'amélioration de l'infrastructure cyclable.

La sécurité et le confort des cyclistes sont déterminés en grande partie par la qualité du revêtement, des marquages et de l'éclairage.

Le présent volet vise à donner des recommandations pour la conception, la mise en œuvre et l'entretien des revêtements en vue de la réalisation d'aménagements cyclables de qualité.

Les marquages et l'éclairage font l'objet d'un volet distinct du vademecum, rédigé selon le même modèle que celui-ci et par le même auteur.

Texte, traduction et dessins ▮

Centre de recherches routières (CRR)

Avec la collaboration de ▮

Pierre-Jean Bertrand, Isabelle Corten, Florence Dekoster, Frederik Depoortere, Eric Falier et Catherine Fierens de Bruxelles Mobilité. Rachelle Rubert de Bruxelles Environnement (IBGE)

Photos ▮

Bruxelles Mobilité, CRR et Yves De Bruyckere

Mise en page ▮

Dominique Boon

Cette brochure est téléchargeable sur
www.crr.be et sur www.velo.irisnet.be

Beschikbaar in het Nederlands
D/2009/0690/5

Éditeur responsable : Jean-Claude Moureau (Bruxelles Mobilité)

Mai 2009

Table des matières

1- Introduction	3
2- Exigences pour réussir des aménagements cyclables	6
2.1 Exigences de l'utilisateur	6
2.2 Critères du gestionnaire	10
2.3 Conclusion	13
3- Revêtements	14
3.1 Recommandations générales pour tous les matériaux de revêtement	14
3.2 Revêtements en béton	30
3.3 Revêtements bitumineux	36
3.4 Revêtements modulaires	47
3.5 Matériaux utilisés en zone verte	60
3.6 Tableau de synthèse	66
Lexique	70
Références bibliographiques	74

Abréviations utilisées

BB	Béton bitumineux
CBR	<i>California Bearing Ratio</i> (indice portant californien)
CPA	Coefficient de polissage accéléré
CRR	Centre de recherches routières
E/C	Facteur eau-ciment
ED	Enrobé drainant
L/e	Rapport longueur/épaisseur
LCA	<i>Life Cycle Cost Analysis</i> (coût sur le cycle de vie)
MBCF	Matériaux bitumineux coulés à froid
MTD	<i>Mean Texture Depth</i> (profondeur de texture moyenne)
PMR	Personne à mobilité réduite
RMD	Revêtement mince discontinu
RMTO	Revêtement mince à texture ouverte
RRU	Règlement régional d'urbanisme
RUMG	Revêtement ultra mince grenu
SMA	<i>Splittmastixasphalt</i>
VTT	Vélo tout terrain

I - Introduction

La Région de Bruxelles-Capitale souhaite promouvoir l'utilisation du vélo dans le cadre de sa politique de mobilité durable.

Le présent volet du vademecum vélo vise à donner des recommandations pour la conception, la mise en œuvre et l'entretien des revêtements en vue de la réalisation d'aménagements cyclables de bonne qualité.

Il importe donc de prendre en compte les desiderata des cyclistes dans les exigences de qualité auxquelles une infrastructure cyclable doit satisfaire, c.-à-d. une infrastructure permettant des déplacements rapides et confortables à vélo dans des conditions de circulation sûres et attrayantes. Les cinq critères qui résument les exigences des cyclistes sont :

- la sécurité;
- le confort;
- la rapidité;
- l'attrait;
- la cohérence.

Les exigences relatives à la sécurité et au confort sont en grande partie déterminées par le revêtement (y compris les raccordements, l'absence d'obstacles, etc.), les marquages et l'éclairage. Les marquages et l'éclairage font l'objet d'un volet distinct du vademecum, rédigé selon le même modèle que celui-ci.

À côté des exigences des usagers, il ne faut pas perdre de vue d'autres paramètres.

Dans les zones urbaines surtout, où l'espace est limité, les conditions de circulation et spatiales influencent la nature des aménagements cyclables.

En outre, il faut tenir compte des exigences écologiques actuelles et les aménagements

cyclables doivent s'intégrer de manière harmonieuse dans l'environnement.

Dans le même temps, ils doivent offrir une solution durable et financièrement acceptable.

La mise en place des aménagements cyclables constitue donc l'aboutissement d'un vaste processus de conception et de concertation dans lequel un grand nombre de facteurs et d'intérêts souvent contradictoires doivent être soupesés.

Le défi pour les concepteurs et les gestionnaires est de concevoir et de réaliser des aménagements cyclables qui soient effectivement utilisés. La qualité et le souci du détail sont donc des éléments très importants.



Piste cyclable marquée



Bande cyclable suggérée



Piste cyclable séparée

Il revient au concepteur de transposer le plus possible dans l'infrastructure les exigences de qualité. Il doit comprendre à cet égard que ces exigences valent non seulement pour les pistes cyclables séparées, mais aussi pour les pistes cyclables marquées et les bandes cyclables suggérées.

Pour procéder au choix et au dimensionnement judicieux du revêtement, le concepteur doit posséder une bonne connaissance des matériaux.

Nous nous pencherons donc d'abord sur les exigences des usagers et les paramètres ayant une importance déterminante dans les choix du concepteur et du gestionnaire. Si l'on traduit ces exigences en termes de revêtement, il s'agit en particulier de :

- l'adhérence ;
- la planéité de surface ;
- l'évacuation des eaux ;
- l'absence d'obstacles ;
- la lisibilité et la visibilité ;
- la propreté.

D'autres paramètres qui influencent aussi le choix du concepteur et du gestionnaire sont :

- la durabilité ;
- la qualité de l'espace et les restrictions ;
- les aspects environnementaux et de santé publique ;
- les exigences et restrictions liées à l'exécution ;
- les exigences et restrictions liées à l'entretien ;
- les coûts.

Après une description générale, nous analyserons les matériaux usuels en regard de ces exigences et paramètres : revêtements en béton, revêtements bitumineux, revêtements modulaires et matériaux utilisés en zone verte.

La conception des aménagements cyclables exige de sortir du cadre de la table à dessin ou de l'ordinateur. Les concepteurs, les techniciens et les gestionnaires doivent se rendre sur place afin d'apprécier le comportement effectif en rue et les points constructifs essentiels à prendre en compte dans le projet.

C'est la raison pour laquelle nous formulons des recommandations générales et spécifiques pour le dimensionnement et pour les aménagements de détail tels que pente transversale, appareillage, joints, bordures, filets d'eau, caniveaux, contrebutage, avaloirs, regards d'inspection, grilles d'aération, dispositifs de ralentissement de la vitesse, etc.

Les concepteurs et les gestionnaires doivent surveiller attentivement la qualité de l'exécution et effectuer des contrôles appropriés rigoureux avant, pendant et après celle-ci.

La gestion des aménagements cyclables est indissociable de celle du réseau routier dans

son ensemble. Une gestion rationnelle du réseau cyclable est indispensable pour garantir une qualité durable. C'est la raison pour laquelle une attention particulière sera accordée à l'inspection et à l'entretien.

Il va de soi qu'il y a toujours lieu de vérifier si tous les matériaux, aménagements, etc. satisfont à la réglementation, aux normes et autres recommandations actuelles.

Par ces recommandations, nous espérons contribuer à la mise en place d'infrastructures cyclables sûres, confortables, attrayantes et durables.



2- Exigences pour réussir des aménagements cyclables

Dans ce chapitre, nous approfondirons les exigences des utilisateurs et les critères primordiaux pour les choix du concepteur et du gestionnaire.

Cinq aspects résument les exigences des cyclistes en matière de qualité: la sécurité, le confort, la rapidité, l'attrait et la cohérence. Si l'on traduit ces exigences en termes de revêtement, il s'agit en particulier de l'adhérence, la planéité de surface, l'évacuation des eaux, l'absence d'obstacles, la lisibilité, la visibilité et la propreté.

D'autres critères qui influencent le choix du concepteur et du gestionnaire sont la durabilité, la qualité de l'espace et les restrictions, les aspects environnementaux et de santé publique, les exigences et les restrictions liées à l'exécution et à l'entretien ainsi que les coûts.

2.1 Exigences de l'utilisateur

2.1.1 Adhérence

La rugosité est une caractéristique découlant de la texture (microtexture et macrotexture) de la surface du revêtement et contribuant à l'adhérence des pneus sur cette surface. Pour exprimer cette dernière idée, on parle aussi de la résistance à la glissance (résistance au dérapage) ou tout simplement de l'adhérence du revêtement.

C'est l'adhérence du revêtement qui constitue le point de repère sur la base duquel chaque cycliste règle sa conduite: des revêtements glissants insécurisent les cyclistes (forcés de ralentir leur allure) ou les mettent en danger (effet de surprise pour qui ne connaît pas les lieux).

Dans tous les cas, et surtout par temps humide ou formation de verglas (donc revêtement

glissant), une adhérence optimale empêche les cyclistes de glisser. C'est aussi par la rugosité qu'on s'efforcera de limiter pour les cyclistes la perte d'énergie due à la résistance au roulement. De plus, il faut savoir que l'adhérence est ressentie différemment en fonction du type de vélo (du vélo tout-terrain au vélo de course) ou du type d'utilisateur (personne à mobilité réduite, piéton, patineur, etc.).

La rugosité déterminera aussi l'adhérence des marquages au revêtement. Les marquages illisibles ou qui se détachent sont une source d'insécurité ou d'inconfort pour le cycliste.

2.1.2 Planéité de surface

Pour garantir un bon confort de roulement, la surface du revêtement ne doit pas comporter de défauts d'uni.

La planéité ou l'uni de la surface du revêtement détermine les vibrations horizontales et verticales subies par le cycliste. Ces vibrations sont provoquées par les irrégularités transversales ou longitudinales. La suspension d'un vélo est trop faible pour amortir ces vibrations. Il arrive dès lors que le cycliste et son passager se retrouvent dans une situation inconfortable, ressentent les chocs (qui endommagent les marchandises et, à la longue, le vélo), jusqu'à leur éventuelle mise en danger en cas de perte d'équilibre ou de chute.

De plus, la planéité influence en grande partie la résistance que le cycliste rencontre, et donc la dépense d'énergie. Le défaut d'uni peut susciter une crainte des obstacles, et donc engendrer une diminution de la vitesse.

Les défauts de planéité peuvent être provoqués par:

- des transitions dans le revêtement (raccords, réparations, etc.);



Bonne transition sans filet d'eau ni bordure

- des obstacles (grilles, couvercles de regards d'inspection, etc.);
- des joints longitudinaux et transversaux, en particulier quand ils n'ont pas été conçus et réalisés avec soin, ou qu'ils sont mal entretenus;
- la détérioration du revêtement. Celui-ci peut éventuellement se détériorer s'il présente une résistance/rigidité insuffisante pour supporter la circulation occasionnelle des engins d'entretien hivernal ou des espaces verts et de véhicules parasites. Si le revêtement est mal conçu, mal mis en œuvre ou mal entretenu, il se détériorera aussi plus vite. Les dégradations principales sont :
 - les fissures (longitudinales, transversales ou faïençage);
 - les déformations (ornières, ondulations, affaissements, cassures en bord de dalle, etc.);
 - les trous en raison de la perte de pierres ou d'éléments;
 - les éléments cassés ou détachés;
- une épaisseur inégale (vagues) des couches supérieures et/ou inférieures de la chaussée;
- une macrotexture inégale;
- des marquages trop épais.

La planéité exige donc une structure adéquate du revêtement et de bonnes performances des matériaux. Elle dépend par conséquent principalement du choix des matériaux ainsi que de la conception, de la mise en œuvre et de l'entretien.



Revêtement dégradé

2.1.3 Évacuation des eaux

Les cyclistes roulent en plein air et ne sont pas à l'abri des caprices de la météo. Il convient donc de prévoir une bonne évacuation des eaux. La surface du revêtement doit être libre de tout film ou stagnation d'eau. Il en va de la sécurité du cycliste et de son confort :

- qu'elle s'écoule ou stagne, l'eau rend le revêtement glissant. À cause du film d'eau entre le pneu et le revêtement, le pneu n'accroche pas à la route et le risque de glisser augmente;
- le cycliste ne peut ni déterminer la profondeur d'une flaque ni voir si elle cache des trous plus profonds. En cas de gel, des plaques de verglas peuvent apparaître. Dans les deux cas, il se peut que le cycliste doive faire un écart pour éviter l'obstacle ou qu'il chute;
- une mauvaise évacuation des eaux influence le comportement du revêtement et peut être la cause de dégradations (fissurations, nids de poule, affaissements ou dalles de béton en marche d'escalier) ou en accélérer le processus;
- dans l'obscurité, le reflet de la lumière peut se révéler gênant sur une chaussée humide;
- les marquages au sol sont moins visibles et peuvent aussi devenir glissants;
- les chaussures, les chaussettes, le bas du pantalon et le vélo deviennent sales et mouillés.

2.1.4 Absence d'obstacles

S'il est évident que les caractéristiques générales du revêtement et le soin apporté à sa mise en œuvre ont une incidence directe sur la sécurité et le confort du cycliste, il ne faut pas sous-estimer l'importance des aménagements de détail. Les chaussées comportent en effet une multitude de petits ou gros obstacles gênants pour le cycliste. Les obstacles réduisent effectivement la largeur de la piste cyclable. Le cycliste doit les éviter, parfois par des coups de frein brutaux ou de brusques manœuvres, ou les franchir perpendiculairement pour ne pas être déséquilibré. Les risques de chute sont réels. En outre, ces obstacles peuvent constituer une source de crevaison.

Les obstacles les plus courants sont les suivants :

- transitions dans le revêtement (entre différentes sections de l'aménagement cyclable, rues latérales, carrefours, accès à des propriétés privées, accès aux pistes cyclables séparées, bermes de séparation en dur);
- bordures de trottoir, filets d'eau et caniveaux;
- grilles des bouches d'égout;
- grilles d'aération;
- couvercles de regards d'inspection;
- bornes et potelets;



Couvercles formant des obstacles sur le tracé cyclable



Borne sur le trajet cyclable

- poteaux (d'éclairage, de panneaux et de feux de signalisation);
- boîtiers des sociétés de distribution;
- rails de tramways ou voies ferrées;
- glissières;
- dispositifs de ralentissement de la vitesse (ralentisseurs et plateaux, chicanes et rétrécissements);
- végétation encombrante (branches ou buissons dans le gabarit de l'aménagement cyclable);
- affaissement des bords des fossés;
- racines d'arbres.

Bien que ces obstacles ne résultent pas directement d'un manque de qualité du revêtement, certains peuvent affecter l'adhérence et la planéité et aussi entraver l'évacuation des eaux.

Ce sont là autant de sources d'inconfort et de danger auxquelles il convient d'être attentif dès la conception. En effet, l'entrée en contact d'une pédale de vélo avec une bordure ou un obstacle constitue l'une des causes principales d'accidents cyclistes sans implication de tiers.

2.1.5 Lisibilité – Visibilité

La composition de la surface doit permettre à l'utilisateur, quel qu'il soit, de comprendre d'un seul coup d'œil sa trajectoire et les règles de cohabitation qui s'appliquent entre les différents modes de déplacement.

La différenciation visuelle du partage de la chaussée n'est pas suffisante, mais c'est un facteur essentiel pour le respect par les automobilistes de la spécificité des espaces.

La coloration du revêtement, les revêtements différenciés et les marquages sont autant d'éléments qui peuvent contribuer à renforcer cette lisibilité des espaces. Ils ont une incidence favorable sur la sécurité et le confort (aisance) du cycliste. La teinte des matériaux utilisés permet aussi d'accentuer la continuité d'un itinéraire ou d'un réseau.



Matériaux de couleur pour une meilleure lisibilité de l'espace

Il peut en outre être intéressant d'utiliser un revêtement clair dans des zones plus obscures. Toutefois, il faut veiller à ce que le contraste soit suffisant avec les marquages (blancs).

La coloration de sections de route peut aussi présenter quelques inconvénients. L'utilisation d'un trop grand nombre de couleurs peut prêter à confusion, ce qui porte préjudice à la sécurité des usagers.

Aussi, la Région de Bruxelles-Capitale limite autant que possible l'utilisation de couleurs. Pour la différenciation des zones de circulation, elle utilise parfois différents degrés de teinte grise ou alors des séparations physiques. Le rouge est exclusivement utilisé pour attirer l'attention dans les zones de conflits (danger) ou pour rendre une situation peu claire plus lisible.

Dans le cas des pistes cyclables marquées, caractérisées par deux lignes discontinues parallèles de couleur blanche, les marqua-

ges améliorent la reconnaissance du domaine cyclable, ce qui fait que les automobilistes restent à une distance légèrement plus grande des cyclistes. Dans le même temps, le risque que la vitesse des automobilistes augmente sur ces sections de route est bien présent si la bande de circulation des voitures est trop large. Il convient donc d'être attentif à cette largeur de bande¹. Sur les voies où la vitesse est réduite et la circulation de faible intensité, des bandes cyclables suggérées peuvent être aménagées. Bien que l'utilisation de couleur soit susceptible d'améliorer la lisibilité, pour les raisons susmentionnées, la Région de Bruxelles-Capitale marque les bandes cyclables suggérées en utilisant alternativement, à une distance régulière, un chevron unique et un logo vélo de couleur blanche.



Couleur rouge utilisée en zone de conflit (danger)

Pour les usagers, la lisibilité des espaces doit être claire de jour comme de nuit, aussi bien par temps sec que sur surface humide. Cependant, la qualité photométrique (luminance) peut varier considérablement selon que le sol est mat ou brillant, sec ou mouillé, clair ou foncé, etc. La réflexion des phares de voiture

1. Voir le volet n° 2 Réalisation des pistes cyclables marquées et des bandes suggérées du Vademecum vélo de la Région de Bruxelles-Capitale

sur une chaussée mouillée peut avoir un effet aveuglant.

Pour le confort des cyclistes, il faut combattre ce phénomène d'éblouissement étant donné que les automobilistes n'ont pas souvent le réflexe de mettre leurs feux de croisement au lieu de leurs feux de route quand ils croisent un cycliste.

2.1.6 Propreté

Les aménagements cyclables doivent rester toujours praticables et sans danger.

Toutefois, une mauvaise adhérence, des défauts d'uni et autres obstacles ne sont pas les seuls facteurs responsables de situations dangereuses : le manque de propreté peut aussi mettre le cycliste dans une situation périlleuse.

Sur les pistes cyclables séparées, les mauvaises herbes ont tendance à envahir la surface de roulement. Cette végétation et les flaques d'eau réduisent la largeur de l'aménagement.

Par ailleurs, les gravillons, mauvaises herbes, branches et feuilles mortes, bris de verre, taches d'huile et déchets de toutes sortes



Le manque de propreté porte préjudice à la sécurité, au confort et à l'attrait de l'aménagement cyclable

dégradent l'espace circulaire du cycliste : non seulement le risque de glissance est accru, notamment dans les virages, mais le risque de crevaison aussi. En outre, ces facteurs ne contribuent pas à rendre attrayants les aménagements cyclables. Il en va de même pour les dépôts qui se forment aux endroits où il y a régulièrement stagnation d'eau.

Sur les pistes cyclables marquées ou bandes cyclables suggérées, l'espace cyclable est fréquemment souillé par les saletés projetées par les véhicules vers le bord de la chaussée.

Souvent, en cas de gel ou de neige, le service d'épandage ou de déblaiement s'occupe d'abord de la route, puis seulement, dans le meilleur des cas, de l'aménagement cyclable (séparé). Parfois même, la neige déblayée sur la route se retrouve (partiellement) sur l'espace cyclable (piste séparée, piste marquée ou bande suggérée).

Dans bon nombre de ces cas, la lisibilité des marquages au sol, des panneaux routiers et de la signalisation se voit aussi réduite.

2.2 Critères du gestionnaire

2.2.1 Durabilité

Pour les usagers, la route doit être sûre et confortable. Pour les gestionnaires, elle doit en outre rester en état le plus longtemps possible aux coûts d'entretien les plus bas. C'est pourquoi la chaussée doit être durable, c'est-à-dire que sa portance, les caractéristiques de surface du revêtement et l'écoulement des eaux doivent remplir des exigences minimum pendant toute la durée de vie. En outre, l'utilisation de matériaux durables a un effet bénéfique sur la santé publique et l'environnement.

Portance de la chaussée

Une chaussée doit être suffisamment résistante et rigide : si elle n'est pas assez résistante, elle se fissurera ; si elle n'est pas assez rigide, des déformations permanentes apparaîtront, engendrant des défauts d'uni.

La portance d'une chaussée est en premier lieu déterminée par sa structure. Un dimensionnement vertical correct (détermination des épaisseurs de couche) est dès lors primordial. Il convient dans ce cadre de tenir compte des éléments suivants :

- les facteurs environnementaux (caractéristiques du sous-sol, climat, etc.);
- les matériaux et leurs caractéristiques;
- les sollicitations (nombre et amplitude).

Lors de la conception, il y a lieu de distinguer clairement d'une part les pistes cyclables marquées et bandes cyclables suggérées en chaussée, franchissables par le trafic automobile, et d'autre part les pistes cyclables physiquement séparées de la chaussée. Dans le premier cas, les aménagements cyclables ont la même structure que la chaussée. Dans le second cas, on peut éventuellement poser des exigences moins strictes car ces structures ne seront appelées à supporter qu'un trafic occasionnel (par exemple, des véhicules d'entretien).

Caractéristiques de surface

Pour une adhérence, une planéité et une visibilité durables de la surface du revêtement, les matériaux doivent résister :

- aux influences mécaniques (trafic occasionnel des engins d'entretien hivernal ou des espaces verts et de véhicules parasites, opérations d'entretien);
- aux influences météorologiques (gel, rayons UV, etc.);
- aux influences chimiques (essence, huile, sel de déverglage, produits de nettoyage, etc.).

Évacuation des eaux

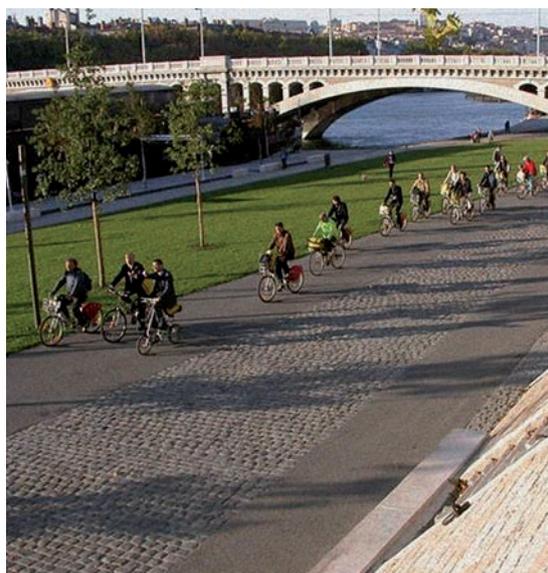
Une mauvaise évacuation des eaux influence aussi le comportement, et par conséquent la durabilité du revêtement. Les eaux de ruissellement qui stagnent sur la chaussée (flaques d'eau) ou qui s'infiltrent par les joints ou les fissures peuvent déstabiliser complètement la chaussée. Les revêtements qui présentent une mauvaise évacuation des eaux et qui sont perméables retiennent l'eau et risquent de ce fait d'être moins durables que les revêtements imperméables.

La mise en place d'une pente adéquate et d'un drainage approprié dans, sous et à côté de la structure permet de limiter fortement les conséquences des infiltrations d'eau et les dégâts y associés.

Une mauvaise évacuation des eaux nuit aussi à la durabilité des marquages. Ainsi, en présence d'eau stagnante, les produits préformés se détacheront plus vite. Des marquages qui se décollent suscitent chez le cycliste un sentiment d'insécurité et d'inconfort.

2.2.2 Qualité de l'espace et restrictions

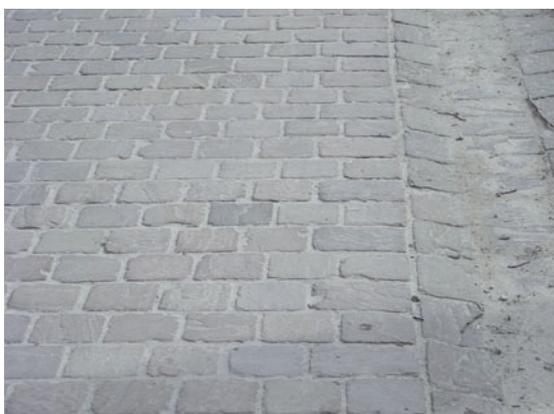
Le choix du revêtement sera aussi influencé par le souci de l'intégration harmonieuse dans l'environnement et de son adéquation par rapport à la réglementation environnementale, urbanistique ou patrimoniale. Dans ce contexte, il se peut que certains matériaux et/ou couleurs soient prescrits ou, à l'inverse, interdits pour le revêtement, ou du moins la surface de celui-ci. Il pourrait arriver que le choix doive se porter sur des matériaux de revêtement qui ne sont pas optimaux du point de vue de la sécurité et du confort des cyclistes. À ce moment, il est recommandé de choisir l'alternative qui soit malgré tout la moins défavorable aux cyclistes.



Chaussée en pavés naturels avec bande confort bitumineuse



*Bande confort en pavés sciés sur chaussée
en pavés classiques*



Pavés sciés

Dans un souci de lisibilité, on travaille parfois avec différents matériaux et/ou couleurs. Pour autant que le choix soit mûrement réfléchi et appliqué avec modération, cette démarche n'est pas nécessairement contradictoire avec la qualité de l'espace.

De plus, l'espace disponible est un élément déterminant pour le type d'aménagement cyclable. Ainsi, dans un environnement urbain, il n'y a que très rarement la place pour une séparation physique et l'on y rencontre principalement des pistes cyclables marquées et des bandes cyclables suggérées.

Il convient d'éviter autant que possible de mettre des câbles et des conduites sous les aménagements cyclables. L'idéal est d'avoir un tracé distinct pour les canalisations, mais ça n'est pas toujours faisable, surtout en milieu urbain.



Partage de l'espace entre piétons et cyclistes

2.2.3 Aspects environnementaux et de santé publique

Pour le choix des matériaux et des techniques dans le cadre d'aménagements cyclables, il faut tenir compte des exigences en matière d'environnement et de santé publique comme pour toute autre chaussée. Ces exigences se rapportent aux éléments suivants :

- le traitement et l'émission de substances susceptibles de nuire à la qualité de l'air, du sol et/ou de l'eau ;
- la santé et la sécurité des équipes d'asphaltage, de marquage, etc. ;
- la production de déchets (déchets d'emballage, terrassements et débris de construction) ;
- la consommation d'eau et d'énergie et de matières premières neuves, non renouvelables ;
- le recyclage et l'utilisation de matériaux recyclés.

2.2.4 Exigences et restrictions liées à l'exécution

En règle générale, les aménagements cyclables ont une largeur (et parfois aussi une longueur) limitée. Comme nous l'avons déjà dit, ils imposent des exigences particulières en matière d'adhérence (texture), de planéité (surface et transitions planes) et de lisibilité (au moyen de divers matériaux et/ou couleurs).

Dans un environnement urbain, l'espace disponible pour un chantier et la circulation du chantier est souvent restreint. Pour réduire au maximum les nuisances, la route ne peut pas être coupée à la circulation, ou alors, pour un laps de temps aussi court que possible.

Les spécificités relatives à la mise en œuvre de certains matériaux peuvent, dans certaines circonstances énoncées ci-dessus, influencer le choix du revêtement :

- température ambiante ;
- durée maximale de mise en œuvre ;
- temps d'attente minimum pour l'ouverture à la circulation ;
- contrebutage indispensable, joints transversaux et/ou longitudinaux ;
- qualité et nature du support ;
- disponibilité de matériel adapté ;
- possibilité d'application manuelle.

2.2.5 Exigences et restrictions liées à l'entretien

Comme cela a déjà été mentionné, la suspension d'un vélo est faible et les pneus sont souvent fins. Ce qui représente une faible dégradation du revêtement pour le trafic automobile deviendra vite une dégradation moyenne, voire importante, pour un vélo. Quand le confort des pistes cyclables laisse à désirer en raison de dégradations ou par manque de propreté, l'attrait et la sécurité s'en ressentent.

Une infrastructure cyclable de qualité, c'est donc bien plus qu'un beau design : une gestion et un entretien efficaces sont des aspects indispensables. Les exigences qui en découlent peuvent jouer un rôle dans le choix d'un revêtement. Les éléments déterminants dans les choix techniques en matière de structure, de matériaux et de traitement de surface sont :

- la facilité d'entretien : les revêtements choisis devront permettre un entretien aisé (propreté, déneigement, etc.) et relativement peu onéreux sous peine que celui-ci ne soit pas réalisé, réduisant l'attrait de l'aménagement. Les caractéristiques intrinsèques de certains matériaux les rendent faciles d'entretien ou particulièrement indiqués pour rétablir l'adhérence ou ils peuvent être réparés sans

qu'il faille pour cela rehausser le niveau de la route ;

- l'aptitude à recevoir (et conserver) les marquages ;
- l'accessibilité des câbles et conduites et la facilité de réparation : les câbles et conduites doivent être facilement et rapidement accessibles. Comme pour d'autres interventions telles que l'installation de mobilier urbain ou des réparations du revêtement, la chaussée doit pouvoir être remise dans son état d'origine, sans que le confort du cycliste soit mis à mal. Certains matériaux sont bien adaptés à ces problèmes alors que d'autres sont difficiles à remettre en place ou ne peuvent pas être fabriqués et mis en œuvre en petites quantités. En outre, il est parfois difficile de retrouver la même couleur ou de maintenir les caractéristiques initiales telles que la résistance, la planéité, etc.

La durabilité exigée détermine à la fois la fréquence et l'ampleur de l'entretien (ainsi que son coût). Un entretien efficace et régulier augmente la durée de vie de la chaussée et le confort des cyclistes.

2.2.6 Coûts

Dans le calcul du coût final de l'aménagement, il faudra prendre en compte l'intégralité du coût sur le cycle de vie :

- le coût d'investissement pour la construction : démolition de la route existante ou construction d'un tracé, construction de la chaussée (infrastructure, revêtement, marquage, drainage et éclairage) et signalisation ;
- coût d'entretien fonctionnel et structurel ;
- coût environnemental et coût de recyclage ;
- coût social engendré par les gênes à la circulation et avantages sociaux découlant d'une utilisation accrue du vélo.

2.3 Conclusion

Le choix du type de revêtement pour un certain projet doit en fin de compte faire l'objet d'une considération comparative : une analyse coûts-bénéfices des solutions envisageables, qui mène à une **solution optimale**.



3- Revêtements

Le revêtement est la couche supérieure de la chaussée appelée également couche de roulement. Il s'agit de la couche de surface, directement en contact avec les usagers (véhicules, cyclistes, piétons, etc.).

La couche de roulement d'un aménagement cyclable doit donc apporter les qualités de surface nécessaires à la sécurité et au confort des deux-roues et assurer l'intégrité de la structure (étanchéité, résistance) durant toute la durée de vie de l'aménagement.

Comment choisir? Il n'y a pas de réponse préétablie: chaque matériau a ses usages propres, ses qualités et ses défauts. Le travail du gestionnaire et du concepteur est de trouver le matériau le plus adéquat à un environnement et un usage donnés.

Pour tous les matériaux décrits ci-après, il convient de reprendre dans les cahiers spéciaux des charges les exigences prescrites dans le *Cahier des Charges Type relatif aux voiries en Région de Bruxelles-Capitale*.

3.1 Recommandations générales pour tous les matériaux de revêtement

3.1.1 Adhérence

L'adhérence est l'aptitude d'un matériau à éviter le glissement des usagers, notamment en cas de pluie.

La rugosité du revêtement doit permettre une adhérence correcte sans altérer le confort de roulement et sans être agressive en cas de chute.

Les matériaux de surface doivent donc présenter une bonne résistance à l'usure et au

polissage, même sous trafic, tout au long de la durée de vie du revêtement.

3.1.2 Planéité de surface

La planéité de surface du revêtement détermine les vibrations horizontales et verticales ressenties par le cycliste. Ces vibrations sont provoquées par des irrégularités transversales ou longitudinales (bosses ou creux) par rapport au plan de la surface de la couche. Ces défauts d'uni sont à imputer à une macrotexture irrégulière, à des dégradations (par exemple des nids de poule) ou à une mauvaise exécution (ondulations).

Pour la sécurité et le confort des cyclistes, il est donc important que le revêtement présente un bon uni de surface.

3.1.3 Évacuation des eaux

Le drainage, la collecte et l'évacuation des eaux sont aussi des éléments essentiels pour assurer la sécurité et le confort du cycliste ainsi que la bonne tenue dans le temps de l'aménagement (durabilité).

Pour permettre un bon écoulement de l'eau, le revêtement de surface doit avoir une pente latérale d'au moins 2 %. Les eaux seront de préférence récoltées dans un filet d'eau et évacuées vers un avaloir. La hauteur de pose des filets d'eau et avaloirs, leur nombre suffisant et leur bon positionnement constituent également des éléments importants pour une bonne évacuation des eaux, ainsi que pour la sécurité et le confort des usagers.

En l'absence d'un filet d'eau, les abords du revêtement sont aménagés de façon à ne pas retenir l'eau. Un drain peut également être mis en place pour aider à l'évacuation des eaux, surtout si le drainage naturel du terrain est lent ou mauvais.

Vibrations et confort de roulement

Des mesures de confort de roulement sur des aménagements cyclables ont été réalisées aussi bien en Flandre qu'en Région de Bruxelles-Capitale avec un vélo de mesure développé par la KU Leuven, permettant d'enregistrer les vibrations en roulant. Le système de mesure est placé au niveau de l'axe de la roue avant et fournit 100 résultats de mesure par seconde (soit 6 000/minute).



Ces études, auxquelles le CRR a également participé, ont porté sur plus de 1 400 km d'aménagements cyclables, aussi bien sur des revêtements anciens que sur des revêtements plus récents.

Pendant ces études, une attention particulière a été accordée au maintien identique des paramètres de mesure (vitesse, pression des pneus, poids du cycliste et manière de rouler).

Les études ont montré qu'à l'exception des pavés en pierre naturelle, tous les matériaux permettent d'atteindre de bons scores en matière de confort lié aux vibrations si l'exécution est bonne (et aussi l'entretien ultérieur). La construction de voies cyclables confortables est tout à fait possible, mais il est à regretter que de nombreux aménagements récents ne satisfont pas aux exigences de confort liées aux chocs et aux vibrations.

Pour les pistes cyclables séparées, dans 85 à 90 % des cas, le confort est meilleur sur la chaussée réservée à la circulation automobile que sur la piste cyclable. Si l'on considère isolément les jonctions pistes cyclables-chaussées, les résultats sont catastrophiques.

Quelles mesures et quels scores ?

Il a été convenu avec le CRR d'utiliser l'écart-type comme méthode de traitement statistique des données de mesure. Cette méthode est utilisée internationalement pour le traitement des vibrations et a donné des scores globaux présentant une bonne correspondance avec l'expérience subjective des cyclistes.

L'écart-type n'étant pas très explicite pour le commun des mortels, les résultats ont été ramenés à une base linéaire de 1 à 10. L'écart-type 4 étant la limite supérieure (= 10/10). Ensuite, par 3 points d'écart-type, le score baisse d'un point pour arriver à 0/10 comme indiqué dans le tableau ci-après.

Écart-type	Score/10
4	10/10
7	9/10
10	8/10
13	7/10
16	6/10
19	5/10
22	4/10
25	3/10
28	2/10
31	1/10
34	0/10

Le score de 5/10 est à la limite de ce qui est encore acceptable en matière d'(in)confort lié aux vibrations.

Les résultats montrent qu'un grand nombre de pistes cyclables ont un score inférieur à 5/10.

Les études ont révélé une nette corrélation entre le matériau de revêtement et le score de confort en matière de vibrations. En moyenne, sur pistes cyclables neuves, l'asphalte obtient les meilleurs scores (environ 8/10), suivi par le béton de ciment (6,5/10), les dalles (5,6) et les pavés en béton (5,3). Pourtant, l'analyse a montré que de très bons résultats sont possibles avec chacun de ces matériaux de revêtement. Par contre, les pavés de pierre naturelle donnent de mauvais résultats. Parmi eux, ce sont les pavés sciés qui présentent le meilleur score.

Il ressort de ces études qu'il serait recommandable d'instaurer :

- une norme d'uni pour les aménagements cyclables (qualité d'uni comparable au réseau routier) ;
- des normes pour améliorer le confort des jonctions pistes cyclables-chaussées ;
- un système global et homogène de mesure du confort des aménagements cyclables.



Filet d'eau dangereux pour le cycliste qui ferait un écart

Plus la macrotexture du revêtement est grande, mieux l'eau s'évacue en surface. Toutefois, une forte macrotexture va à l'encontre du confort de roulement et surtout renforce l'agressivité du revêtement en cas de chute. Il faut donc rechercher le meilleur compromis sécurité-confort. L'utilisation de revêtements drainants (poreux) n'est pas très indiquée pour les pistes cyclables en raison du risque de colmatage.

3.1.4 Absence d'obstacles

Pour la sécurité des cyclistes, il convient de limiter le plus possible les obstacles qu'ils pourraient rencontrer sur leur trajet cyclable.

Des systèmes de protection, de délimitation, de signalisation et d'utilité publique mal implantés peuvent constituer une multitude d'obsta-

cles gênants pour le cycliste. Il convient donc d'être attentif aux aménagements de détail dès la conception.



Obstacle inacceptable sur une piste cyclable

3.1.4.1 Transitions dans le revêtement

Les transitions entre différents revêtements doivent se faire sans différence de niveau observable (≤ 5 mm). Il en va de même pour les traversées de carrefours et de voies latérales.

Au croisement avec des voies importantes, les pistes cyclables séparées et surélevées s'abaissent progressivement au niveau de la chaussée à l'approche de l'intersection. Au croisement de voies secondaires, elles peuvent s'élever au niveau d'un plateau piétonnier traversant qui aura pour effet de réduire la vitesse des véhicules qui tournent ou qui viennent de la rue secondaire.

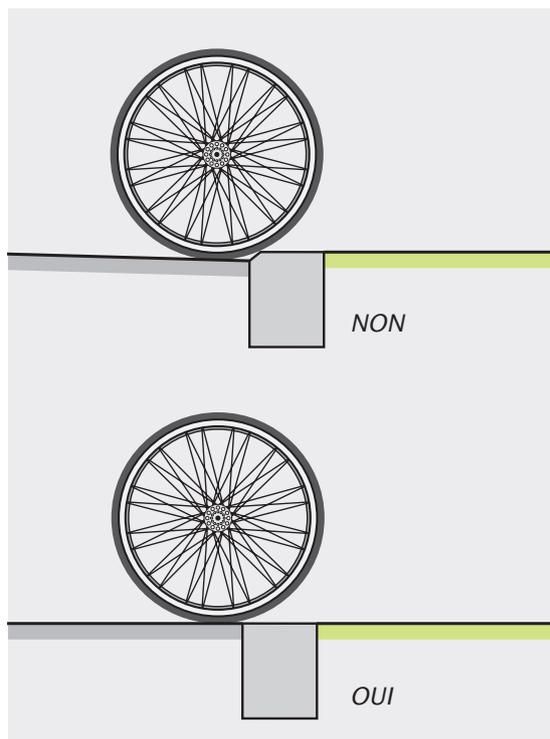
Comme prévu pour les trottoirs dans le *Règlement régional d'urbanisme (RRU)* bruxellois, il faut éviter d'abaisser la piste cyclable séparée (surélevée) au droit de chaque entrée cochère. Cet abaissement perturbe fortement le profil en long de la piste. Au besoin, une bordure charretière sera utilisée au droit de l'accès carrossable.

3.1.4.2 Accès aux aménagements cyclables et réinsertions en chaussée

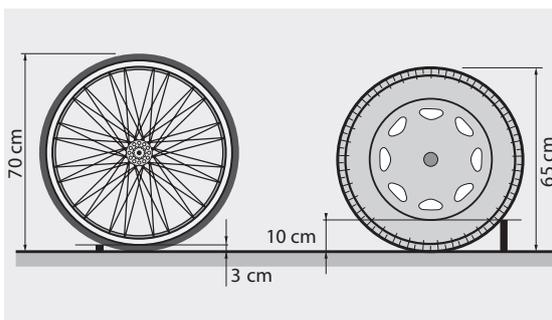
La meilleure jonction entre une piste cyclable séparée et une chaussée est celle où il n'y a pas de bordure ou une «bordure niveau zéro» (enterrée). Le RRU bruxellois demande que la transition entre la chaussée et la piste cyclable soit réalisée sans ressaut.



Transition au niveau zéro



Pour un vélo, dont les pneus ont une section d'environ 3 cm (pneu standard), une bordure de 2 à 3 cm est un obstacle équivalant à une bordure de 10 cm pour une voiture. Un tel obstacle ne peut jamais se trouver sur une surface où l'on est censé pouvoir circuler à vitesse normale (choc, chute, crevaison, dégâts aux jantes).



Inconfortable quand elle est prise à angle droit, une bordure de 2 cm de hauteur, même biseautée, devient un danger quand elle est prise sous un angle de 45° (risque de perte de contrôle du vélo parce que la roue ne franchit pas l'obstacle).

Il faut donc proscrire le franchissement de bordures par les cyclistes pour accéder aux aménagements cyclables.



Transition sans ressaut

Les seuls filets d'eau acceptables face aux accès de pistes cyclables sont les filets d'eau «à niveau» en alignements de pavés ou en béton plan préfabriqué ou encore coulé sur place, l'idéal étant de disposer les avaloirs de

manière à ce qu'aucune profondeur ne soit nécessaire au niveau des accès (départ d'une zone de captage). Au besoin, on utilisera un plus grand nombre d'avaloirs.

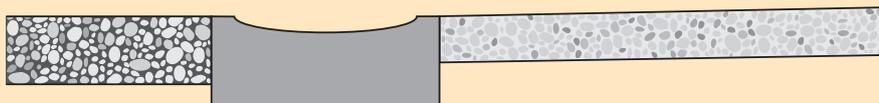


Le test de la pièce de 2 euros (diamètre de 2,5 cm) permet de mettre cet obstacle en évidence

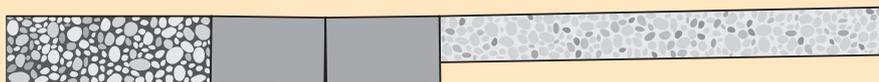
Jonctions sans bordure entre piste cyclable séparée et chaussée



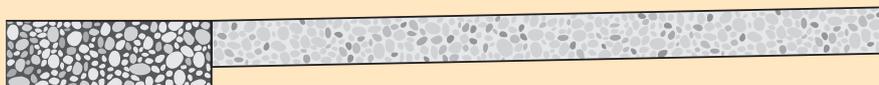
Filet d'eau plat au même niveau que la piste et légère différence de niveau entre le filet d'eau et le revêtement de la chaussée: confort moyen



Filet d'eau préfabriqué en béton à profil transversal concave au même niveau que la piste et que le revêtement de la chaussée: bon confort



Filet d'eau en V au même niveau que la piste et que le revêtement de la chaussée: très bon confort



Filet d'eau inexistant. Le revêtement de la piste et celui de la chaussée se joignent au même niveau: confort excellent



Accès sans filet d'eau et avec bordure enterrée

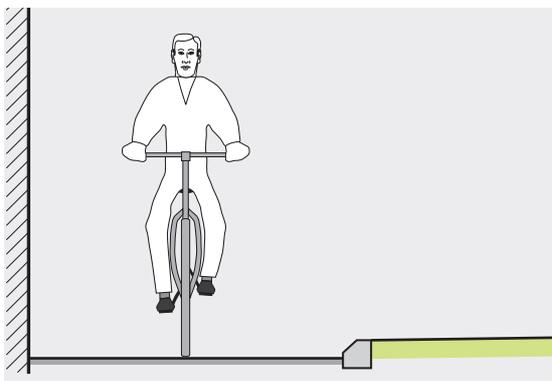


Le filet d'eau et la bordure rendent cette insertion dangereuse

3.1.4.3 Éléments linéaires

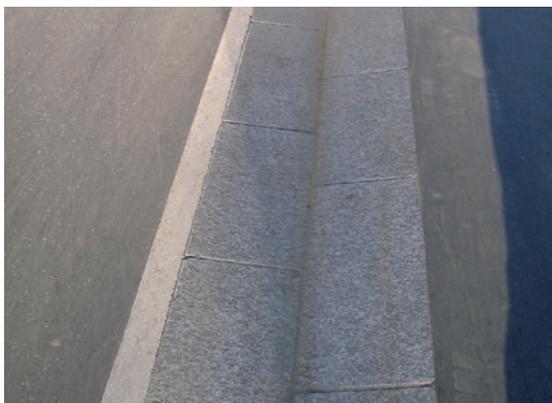
Par éléments linéaires, l'on entend les bordures de trottoirs, les bandes de contrebutage, les demi-lunes, les filets d'eau et les caniveaux.

Le long des aménagements cyclables, le concepteur donnera la préférence à une bordure moins agressive (avec chanfrein), car il y a moins de risque d'y cogner une pédale et aussi moins de danger en cas d'écart du cycliste qui cognerait la bordure avec la roue avant de son vélo. Cependant, dans le cas d'une piste cyclable marquée ou d'une bande cyclable suggérée, ce type de bordure n'empêche pas les voitures de se garer sur le trottoir.



Bordure chanfreinée: moins agressive

Le concepteur doit en outre éviter d'inclure les filets d'eau et caniveaux dans la largeur des aménagements cyclables. Les filets d'eau avec des angles constituent des obstacles. Les filets d'eau en V ou les filets d'eau préfabriqués en



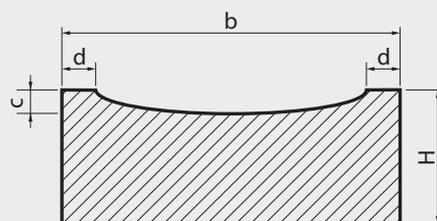
Filet d'eau en V

béton à profil transversal concave sont les types les plus acceptables pour les cyclistes qui les franchissent.

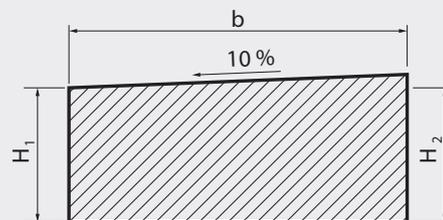


Filet d'eau préfabriqué en béton à profil transversal concave

Les bandes de contrebutage sont enterrées et ne constituent pas en tant que telles des obstacles pour les cyclistes.



Filet d'eau en béton préfabriqué à profil transversal concave



Bande de contrebutage

Les bandes de contrebutage et filets d'eau préfabriqués en béton ont une hauteur de 20 cm (la face supérieure des bandes de contrebutage est horizontale en format standard, mais en variante elle peut présenter une inclinaison maximale de 10 %). Ils existent en plusieurs largeurs entre 20 cm et 1 m.

Les demi-lunes sont à éviter dans les nouveaux aménagements. Si elles peuvent offrir une protection par la séparation des zones de circulation, elles constituent toutefois des obstacles si les cyclistes y cognent une pédale ou les heurtent avec la roue avant.



Demi-lunes

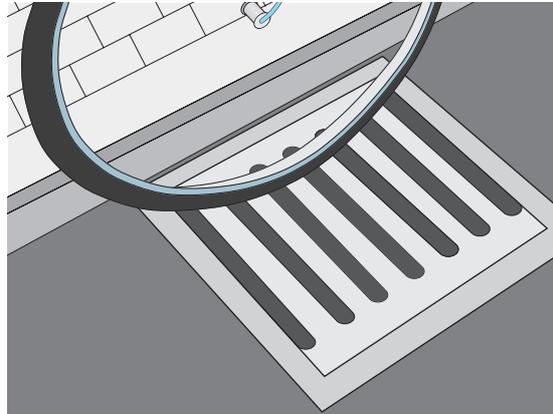
3.1.4.4 Grilles d'évacuation des eaux ou d'aération et couvercles de regard d'inspection

Les grilles d'évacuation des eaux ou d'aération, les couvercles de regard d'inspection, etc. n'ont pas leur place sur la chaussée, dans les tournants, sur les pistes et bandes cyclables. En tout état de cause, il faut s'efforcer, lors de travaux de réfection ou de construction, de les positionner en dehors de la trajectoire que suivront les cyclistes.

Si cela s'avère impossible, le concepteur veillera à respecter les principes suivants :

- choisir des grilles avec des ouvertures suffisamment étroites et des couvercles de regards d'inspection plats ;
- prescrire de poser ces éléments au même niveau que la couche de roulement et les grilles avec les rainures perpendiculaires à l'axe de la chaussée de façon à ce que les roues d'un vélo ne s'y coincent pas ;
- veiller à une finition soignée, notamment du joint entre le pourtour de l'élément et le revêtement pour assurer une transition plane et éviter les affaissements dus à des infiltrations d'eau.

Aucun avaloir ne peut être situé au droit des traversées cyclistes.



Parfaitement planes et bien orientée, les grilles d'égout ne posent aucun problème de confort ni de sécurité, même si l'on passe dessus par inadvertance



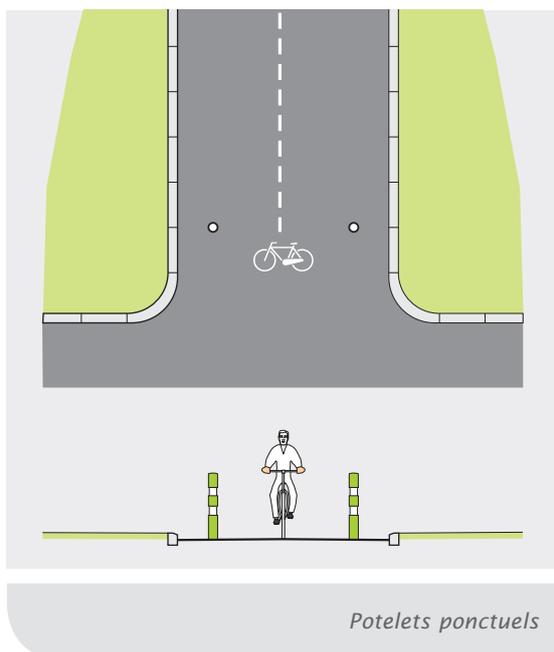
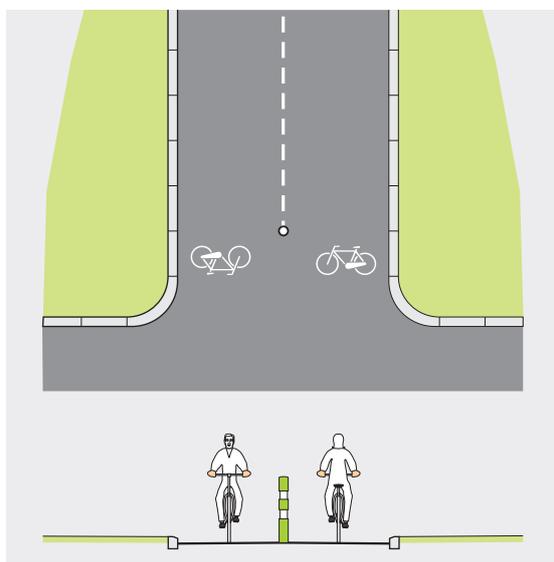
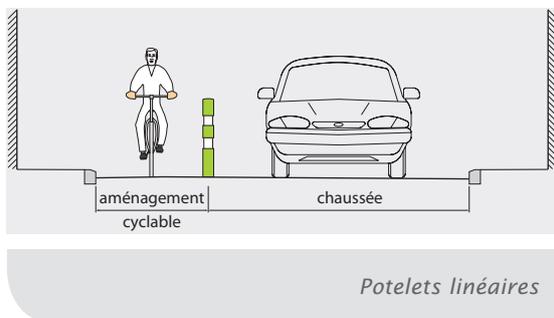
Le pourtour et le niveau peu soignés de cette grille d'aération constituent des obstacles pour les cyclistes

3.1.4.5 Bornes et potelets

Il convient de distinguer les bornes et potelets que l'on qualifiera de «linéaires», utilisés en alignement, de ceux, «ponctuels», mis en place en des endroits bien particuliers.

Les potelets et bornes linéaires séparent fortement les différents usagers d'une même voie à niveau affectée à plusieurs modes de déplacement sans échange possible. Pour être effica-

ces, il est important qu'ils soient suffisamment visibles et lisibles: l'emploi de couleurs vives et de matériaux réfléchissants est par conséquent fortement recommandé.



Les potelets et bornes ponctuels servent quant à eux plutôt à condamner l'accès des pistes en site propre pour des véhicules qui n'y sont réglementairement pas autorisés (à l'exception des cyclomoteurs dont le gabarit est comparable à celui d'un cycle). Ces bornes et potelets doivent être rétractables ou démontables pour permettre l'accès de la piste aux seuls véhicules autorisés (entretien, espaces verts, etc.). Pour des raisons de sécurité évidentes, ils ne peuvent pas présenter d'arêtes saillantes. Leur implantation centrale doit laisser un passage suffisant aux vélos tant à droite qu'à gauche (voir figure du milieu). À défaut, il vaut mieux installer deux potelets en laissant un passage suffisant au centre pour les cyclistes, tout en condamnant l'accès aux véhicules automobiles. Cette solution permet aussi un passage plus aisé aux vélos avec une remorque (voir figure du bas).

Les potelets et bornes doivent être parfaitement visibles, de jour (suffisamment hauts) comme de nuit (bon éclairage) et leur signalisation renforcée par un marquage au sol en amont (marquage profilé, dalles rainurées).

Bornes et potelets constituent toutefois des obstacles (diminution de largeur de l'espace cyclable) et des dangers (risque de collision) pour les cyclistes. Leur usage doit être limité au strict minimum.

3.1.4.6 Équipements de la route

Les poteaux d'éclairage, de panneaux et de feux de signalisation, les glissières, les boîtiers des sociétés de distribution, etc. sont autant d'éléments qui n'ont pas leur place sur la trajectoire des aménagements cyclables au risque de provoquer des accidents (collisions, chutes, etc.). Leur implantation doit être bien pensée pour la sécurité et le confort des cyclistes.

3.1.4.7 Rails de tramways ou voies ferrées

Une attention particulière doit être accordée aux aménagements cyclables au droit des arrêts de bus, dans les rues où circulent des trams, aux traversées de voies ferrées, etc. Nous renvoyons à cet égard au volet n° 3 *Cyclistes et transports en commun* du vademecum vélo de la Région de Bruxelles-Capitale.

3.1.4.8 Dispositifs de ralentissement de la vitesse

Les dispositifs de ralentissement de la vitesse ont pour objectif de réduire la vitesse du trafic automobile. Ils ne peuvent toutefois pas gêner les cyclistes dont la vitesse de déplacement est plus faible et la distance de freinage plus courte que celles des automobilistes.

On distingue les dispositifs horizontaux (chicanes et rétrécissements) et les dispositifs verticaux (ralentisseurs, plateaux et coussins berlinois).

Dans le cas des chicanes et rétrécissements, les cyclistes risquent de se voir couper la route par les automobilistes. Pour éviter ce problème, une solution consiste à aménager un passage suffisamment large (au moins un mètre) pour les cyclistes.



Chicane avec passage latéral pour les cyclistes



Rétrécissement avec coussin berlinois central et passages latéraux pour les cyclistes

On évitera le recours aux chicanes et rétrécissements sur les voies à faible intensité de trafic automobile où leur effet est faible sur le ralentissement de la vitesse.

Les ralentisseurs et plateaux sont généralement plus efficaces, mais peuvent constituer une gêne (choc) pour les cyclistes. Lors de leur construction une attention particulière doit être accordée aux transitions (planes) et aux pentes (douces). Les rampes préfabriquées en béton offrent une bonne tenue dans le temps et un bon confort pour les cyclistes pour autant qu'elles soient suffisamment longues.

Même s'ils ont été réalisés avec le plus grand soin, les ralentisseurs et plateaux qui se succèdent sur un itinéraire cyclable causent un désagrément non négligeable aux cyclistes. Dans ce cas aussi, un libre passage à droite de l'aménagement permet de remédier à cette situation, ce qu'offre le coussin berlinois.



Coussins berlinois

3.1.4.9 Végétation encombrante

Les arbres et arbustes doivent être plantés à une distance suffisante des pistes cyclables pour éviter que leurs branches ne viennent empiéter sur le gabarit de l'aménagement cyclable, réduire sa largeur et/ou constituer de véritables obstacles pour les cyclistes. Il y a lieu d'éviter les espèces à branches basses ou à feuillage intense. Le RRU prescrit une hauteur libre minimale au-dessus des aménagements cyclables de 2,20 m.

Une inspection et un entretien réguliers s'imposent.

3.1.4.10 Racines d'arbres

L'épaisseur généralement faible des revêtements des pistes cyclables séparées les rend sensibles aux racines d'arbres. La condensation qui se forme à la face inférieure du revêtement attire les racines avec pour conséquence qu'à terme le revêtement se soulève et que des défauts d'uni et des fissures apparaissent, réduisant la sécurité et le confort des cyclistes. Il y a dès lors lieu d'étudier avec soin et dans tous les cas l'environnement végétal.

Ce sont surtout les arbres qui constituent un risque de dégradation. Les espèces qui provoquent le plus de dégâts dans la pratique sont les peupliers, les saules, les bouleaux, les acacias et les robiniers. Les tilleuls et les frênes posent moins de problèmes.

Les mesures suivantes permettent de faire face à ce risque de dégradation :

- choix judicieux des espèces d'arbres plantées : donner la préférence à des arbres à enracinement profond et éviter les espèces à racines traçantes ;
- choix adapté de la structure, quand les arbres sont existants :
 - éviter les matériaux qui donnent de la condensation à leur face inférieure (par exemple, les enrobés denses ou les pavages non perméables). Le béton de ciment est moins sujet à la pression des racines ;
 - si l'on utilise un revêtement fermé, alors de préférence sur une fondation en empierrement (d'environ 25 cm d'épaisseur) de granularité grossière et drainante. L'aspect drainant et «vide» de la fondation empêche la croissance des racines sous l'asphalte ;
 - compenser si nécessaire la légère perte de portance par une augmentation de l'épaisseur (si véhicules d'entretien, de déneigement) ;
 - placer une géogrille ou un géotextile sous la fondation pour répartir les pressions ;

- utiliser sous la fondation du sable contenant jusqu'à 5 % de matières organiques pour favoriser la croissance des racines à cet endroit-là ;
- ne pas utiliser de sable entre la fondation et l'asphalte.

Cette fondation résistante à l'enracinement n'est pas utilisable telle quelle pour les pavages.

3.1.5 Lisibilité – Visibilité

La composition de la surface doit permettre à l'utilisateur, quel qu'il soit, de comprendre d'un seul coup d'œil sa trajectoire et les règles de cohabitation qui s'appliquent entre les différents modes de déplacement.

Dans le cas des pistes cyclables séparées, le trafic motorisé peut être physiquement séparé des cyclistes au moyen d'une berme, d'une clôture, etc. La lisibilité de l'espace ne pose généralement aucun problème.

Dans les autres cas, la grande diversité de matériaux de revêtement (aussi bien continus que modulaires) et de colorations offre aux concepteurs un large choix pour la différenciation des zones de circulation.

La teinte et la différenciation des matériaux utilisés accentuent la continuité d'un itinéraire et la lisibilité des espaces.

Les revêtements de couleur claire contribuent généralement à améliorer la visibilité nocturne et/ou à diminuer l'énergie nécessaire à un éclairage satisfaisant.

Les matériaux peuvent être colorés dans la masse ou en surface (par emploi de pigments ou de pierres colorées ou encore les deux). Divers aspects sont possibles par traitement de surface. Les peintures routières et les marquages viennent renforcer cette gamme.

La Région de Bruxelles-Capitale limite toutefois l'utilisation des couleurs à un minimum, notamment le rouge dans les zones de conflits (danger) ou pour rendre une situation peu claire plus lisible (voir volet n° 6 *Marquages et éclairage des aménagements cyclables du vademecum vélo*).

3.1.6 Propreté

Pour assurer la propreté, la surface de roulement nécessite un entretien fréquent de façon à éliminer toutes les saletés susceptibles de gêner le cycliste et de rendre le revêtement glissant.

En outre, les souillures ne contribuent pas à rendre les aménagements cyclables attrayants, ce qui est préjudiciable à leur utilisation effective.

Sur les pistes cyclables marquées ou bandes cyclables suggérées, l'espace cyclable est souvent souillé par les saletés projetées par les véhicules vers le bord de la chaussée.



Un nettoyage régulier rendra les aménagements cyclables plus sûrs, plus confortables et plus attrayants

Il faut donc être très exigeant sur l'entretien et surtout sur les fréquences de nettoyage, le service hivernal, les interventions ponctuelles d'urgence après de fortes intempéries, l'utilisation de matériel adapté (balayeuse, laveuse), les opérations d'élagage et de fauchage, l'élimination de la végétation sur le revêtement, la collecte de déchets, la maintenance régulière des petits ouvrages d'évacuation des eaux pluviales, etc.

Une attention particulière mérite d'être accordée à la propreté des tunnels, car les saletés s'y

accumulent facilement, et à l'évacuation des eaux en ces endroits.

Lors du choix de la couleur d'un revêtement, il faut tenir compte du fait que généralement les produits qui risquent de salir les voiries sont plutôt «sombres» et donc plus visibles sur les produits «clairs». En outre, là où des véhicules automobiles croisent un aménagement cyclable, celui-ci aura tendance à se salir. Inutile de prévoir un revêtement clair à ces endroits sans penser à un nettoyage approprié. Plus la texture superficielle sera grossière et le revêtement poreux, plus la saleté aura tendance à s'accumuler. Par ailleurs, il y aura plus facilement développement de mousse sous les arbres, où les rayons du soleil ne pénètrent pas.

3.1.7 Durabilité

Le rôle d'une chaussée est d'assurer pendant toute sa durée de vie de bonnes conditions de circulation aux usagers (sécurité et confort) et de reporter sur le sol support, en les répartissant convenablement, les contraintes dues au trafic.

Pour garantir cette durabilité, il y a lieu de porter une grande attention aux éléments suivants :

- choisir le support en fonction du matériau de surface retenu. En effet, toutes les structures de chaussée ne sont pas compatibles avec les matériaux de surface utilisés. La structure doit permettre, par sa géométrie et sa nature, de supporter sans aucune déformation permanente les contraintes engendrées par le passage d'engins spécifiques pour la mise en œuvre de la couche de roulement (transport des matériaux, circulation des engins d'épandage) d'une part, pour l'entretien et le nettoyage, d'autre part. Quel que soit le matériau utilisé, la structure doit être correctement dimensionnée pour que sa durée de service soit au moins égale à celle du revêtement de surface ;
- dimensionner correctement la structure. On distingue le dimensionnement horizontal (largeur des éléments) et le dimensionnement vertical (épaisseur des différentes couches).

Le dimensionnement horizontal sort du cadre du présent volet du vademecum vélo.

Le dimensionnement vertical repose sur quatre paramètres :

- les charges de trafic attendues ;
- la portance du sol ;
- la nature des matériaux utilisés dans le revêtement, la fondation et la sous-fondation ;
- le climat.

Pour les pistes cyclables marquées et les bandes cyclables suggérées, le dimensionnement de la structure est évidemment déterminé par le trafic automobile sur la chaussée adjacente.

Pour ce qui est des pistes cyclables séparées, le dimensionnement est déterminé par la présence occasionnelle ou non de trafic automobile (véhicules d'entretien ou autres).

La portance du sol est influencée en grande partie par la teneur en eau.

La sous-fondation, la fondation et le revêtement doivent satisfaire aux prescriptions du *Cahier des Charges Type de la Région de Bruxelles-Capitale*. La structure doit être bien protégée contre les cycles de gel-dégel qui peuvent être la source de gonflements et de tassements.

3.1.8 Aspects environnementaux et de santé publique

Pour le choix des matériaux et des techniques dans le cadre d'aménagements cyclables, il faut tenir compte des exigences en matière d'environnement et de santé publique comme pour toute autre chaussée. Ces exigences se rapportent aux éléments suivants :

- le traitement et l'émission de substances susceptibles de nuire à la qualité de l'air, du sol et/ou de l'eau ;
- la santé et la sécurité des équipes d'asphaltage, de marquage, etc. ;
- la production de déchets (déchets d'emballage, terrassements et débris de construction) ;
- la consommation d'eau et d'énergie et de matières premières neuves, non renouvelables ;
- le recyclage et l'utilisation de matériaux recyclés.

La Directive européenne *Produits de construction (DPC) 89/106/CEE* exige que l'ensemble des matériaux qui sont utilisés dans l'exécution de travaux de construction satisfassent à six exigences essentielles en matière de sécurité, de santé publique et de protection des usagers et de l'environnement. Les six exigences essentielles sont la résistance mécanique et la stabilité ; la sécurité en cas d'incendie ; l'hygiène, la santé et l'environnement ; la sécurité d'utilisation ; la protection contre le bruit ; l'économie d'énergie et l'isolation thermique. Ces exigences, déterminées par les états membres, ont été transposées en 1994, via des documents interprétatifs, en critères qui sont repris dans les spécifications techniques sur base desquelles un produit est évalué. Un produit ne peut être mis sur le marché et y circuler librement que lorsqu'il satisfait aux spécifications techniques européennes harmonisées (les normes EN harmonisées).

3.1.9 Inspection et entretien

Il convient de prendre en compte les aspects liés à l'entretien dès le choix du revêtement.

Les revêtements choisis devront permettre un entretien aisé et relativement peu onéreux sous peine que celui-ci ne soit pas réalisé, réduisant la sécurité, le confort, l'attrait et, par conséquent, l'utilisation de l'aménagement. Les matériaux doivent résister aux balayages mécaniques, aux machines aspiratrices, aux produits de nettoyage et aux sels de déverglçage.

De plus, d'éventuelles réparations du revêtement ne devront pas altérer le confort des usagers, ni l'aspect esthétique de l'aménagement.

La facilité d'entretien et de réparation sont dès lors des facteurs primordiaux. La fréquence de l'entretien dépend quant à elle évidemment de la nature et du volume de fréquentation de l'espace.

Il faut aussi prêter attention à l'entretien hivernal du revêtement. Il est évident que les différents types de revêtement réagissent différemment aux conditions hivernales. Il est donc préférable de ne pas faire se succéder des sections courtes de revêtements présentant un

comportement hivernal différent. En effet, une telle situation impliquerait trop d'adaptations des services d'entretien hivernal et du comportement des cyclistes.

Un entretien efficace repose sur les éléments suivants :

- inspection régulière et systématique des aménagements cyclables ;
- inventarisation des aménagements cyclables auxquels est associé un programme d'entretien. Pour sélectionner, planifier et budgétiser les mesures d'entretien de manière optimale, il est primordial de disposer de données relatives :
 - à l'emplacement ;
 - à la structure ;
 - aux éventuelles réparations antérieures ;
 - aux plantations, aux canalisations souterraines (égouts, câbles et canalisations) ;
 - à l'utilisation (comptages) ;
 - aux accidents ;
 - aux plaintes émanant des usagers. À cet égard, il est recommandé de mettre sur pied un service de réclamations central, où les usagers peuvent faire part des points faibles, des dégradations, etc. Une concertation régulière avec des groupes d'utilisateurs peut également s'avérer utile ;
- planification et budgétisation des programmes d'entretien. La concertation entre les différents gestionnaires routiers est importante, afin d'assurer une cohérence entre les différents programmes ;
- personnel (qualifié) suffisant pour une réalisation (rapide) des réparations.

D'un point de vue technique, on distingue l'entretien fonctionnel et structurel des revêtements :

- l'entretien fonctionnel vise à garantir le confort et la sécurité des usagers. Une petite intervention, comme une réparation locale (remplissage de nids de poule dans des revêtements bitumineux, mise à niveau de dalles en béton ou éléments modulaires affaissés, remplissage de joints vides dans le béton) suffit la plupart du temps ;
- l'entretien structurel a pour but l'amélioration d'une route en vue d'allonger (ou de

renouveler) sa durée de vie. Les techniques d'entretien qui sont ici appliquées sont une réfection complète, un inlay et des recouvrements.

Les aménagements cyclables peuvent être contrôlés à trois niveaux, à savoir : le niveau du réseau, le niveau des liaisons ou trajets et le niveau des aménagements (sections de route, carrefours, transitions, aménagements cyclables). Les liaisons peuvent être contrôlées sur un seul aspect, par exemple la bonne intégration des voies cyclables à hauteur des carrefours. Il est également possible de réaliser des contrôles d'une seule exigence principale. On parle dans ce cas-là d'un contrôle thématique. Citons par exemple l'inspection des dégradations. L'objectif est d'évaluer et de constater de manière univoque les dégradations visuelles du revêtement tant de manière qualitative que quantitative (gravité et ampleur).

Lors des inspections de revêtements, le gestionnaire routier devra toujours garder à l'esprit que ce qui peut être considéré comme une dégradation légère pour le trafic automobile représente rapidement une dégradation modérée, voire sérieuse pour les cyclistes. L'état peut être enregistré par le biais d'une inspection visuelle (de préférence à vélo!) et si nécessaire en réalisant des mesures.

On distingue les inspections suivantes :

- inspection globale ;
- inspection de petit entretien ;
- contrôle des mesures d'entretien à prendre ;
- inspection détaillée.

L'inspection globale a pour objectif de collecter rapidement et efficacement des informations sur l'état du réseau routier. Elle se fait de préférence une fois par an.

L'inspection de petit entretien a pour but de détecter et de fixer les petits défauts qui doivent être réparés au cours de l'exercice budgétaire. Cela signifie qu'il n'est pas possible de planifier cet entretien. Le petit entretien vise en premier lieu à garder le revêtement en bon état. Il est recommandé d'effectuer cette inspection trois fois par an, par exemple avant

l'hiver, après l'hiver et au milieu de l'année (en été). Dans les zones urbaines, où l'on trouve principalement des pistes cyclables marquées et des bandes cyclables suggérées, elle est réalisée en même temps que l'inspection des routes.

Le contrôle des mesures à prendre vise à établir précisément la nature et la localisation des mesures d'entretien à prendre au niveau du projet, retenues sur base des résultats de l'inspection globale et d'autres observations.

L'inspection détaillée a pour but d'établir, au niveau du projet, l'état de la route ou de la piste cyclable. Lors d'une inspection détaillée, on examine toutes les caractéristiques du revêtement et les dégradations qui ont été définies dans un catalogue.

Les points qui méritent une attention particulière au niveau de l'inspection et de l'entretien des aménagements cyclables seront de préférence repris dans un formulaire qui sera complété par la personne en charge de l'inspection.

Formulaire d'inspection

L'inspection visuelle est réalisée du point de vue du cycliste et se fait donc à l'aide d'un vélo.

La personne en charge de l'inspection complète les dégradations constatées dans le formulaire d'inspection. Ce formulaire aura été généré préalablement afin que certains paramètres – la date, le nom de l'inspecteur, le numéro de la route, la section et la direction – soient déjà complétés.

Ce formulaire permettra en outre de consigner les éléments suivants :

Point kilométrique

Type de revêtement :

- revêtement en béton :
 - dalles de béton ;
 - béton armé continu ;
- revêtement bitumineux ;
- revêtement modulaire :
 - pavés en béton ;
 - dalles en béton ;
 - pavés de pierre naturelle ;
 - dalles de pierre naturelle ;
 - pavés en terre cuite ;
- autre (à préciser).

Aménagement cyclable :

- piste cyclable séparée ;
- piste cyclable marquée ;
- bande cyclable suggérée.

Dégradations :

- texture superficielle :
 - adhérence ;
 - plumage de l'enrobé ;
 - graisse ;
 - écaillage du béton (dégâts dus au gel, qualité médiocre) ;
- planéité (tout défaut d'uni de 5 mm ou plus est considéré comme gênant pour le cycliste et est donc enregistré) :
 - uni longitudinal (défaut d'uni dans le sens de la longueur) :
 - fissures longitudinales ;
 - joints longitudinaux ouverts ;
 - joints entre le béton et asphalte se trouvant sur l'aménagement cyclable ;
 - écartement des joints des revêtements modulaires ;
 - uni transversal (défaut d'uni dans le sens de la largeur) :
 - émergence de racines d'arbres ;

- formation d'escalier pour les dalles de béton;
- formation d'escalier pour les caniveaux transversaux;
- trous et affaissements (d'éléments, aux endroits réparés, aux couvercles de taques d'égout);
- fissures transversales;
- écartement des joints des revêtements modulaires;
- l'obstruction du système d'évacuation des eaux;
- de la végétation;
- obstacles: tout obstacle situé dans le gabarit de l'aménagement cyclable est considéré comme gênant ou dangereux et est donc enregistré. Le gabarit est de d'au moins 2,20 m de haut et s'étend sur la largeur de l'aménagement cyclable augmentée de 20 cm. Il peut s'agir des obstacles suivants:

Le formulaire mentionne aussi s'il s'agit d'un défaut d'uni local ou global. Les défauts d'uni globaux provoquent des vibrations et s'étendent sur une plus grande superficie du revêtement de l'aménagement cyclable. Ils sont exprimés en % de surface;

- bord:
 - dégradation aux bords (pour l'enrobé);
 - contrebutage (pour les revêtements bitumineux ou modulaires);
- étanchéité:
 - remplissage des joints;
- évacuation des eaux: tout endroit où l'évacuation est entravée est enregistré. Les flaques d'eau dans des trous ou les affaissements sont repris sous «Défaut d'uni». L'évacuation des eaux peut être entravée par:
 - une pente transversale ou longitudinale insuffisante;
 - des avaloirs ou caniveaux trop hauts par rapport à l'aménagement cyclable;
 - une berme trop élevée;
 - poteaux de panneaux de signalisation;
 - feux de circulation;
 - abribus;
 - boîtiers des sociétés de distribution;
 - envahissement par la végétation: branches basses ou qui dépassent ainsi que buisson dans le gabarit de l'aménagement cyclable. Les branches ou toute autre végétation se retrouvant sur l'aménagement cyclable sont enregistrées sous «Propreté». La végétation qui empêche l'évacuation des eaux est enregistrée sous «Évacuation des eaux»;
 - propreté: les branches, les feuilles, les mauvaises herbes, la mousse, les débris de verre et les gravillons meubles, les déchets, les traces de pneus, etc.;
 - marquage:
 - se détache;
 - est illisible car usé.

Intervention proposée.

3.1.10 Coûts

Dans le calcul du coût final de l'aménagement, il faudra prendre en compte l'intégralité du coût sur le cycle de vie.

Actuellement, il existe des modèles permettant d'analyser le coût sur le cycle de vie d'un revêtement (*Life Cycle Cost Analysis – LCA*) et de comparer différentes variantes de chaus-

sées du point de vue du coût. Pour qu'ils puissent fonctionner, ces modèles doivent être alimentés par toute une série de données et d'hypothèses. Ainsi, il faut fixer un ou plusieurs scénarios d'entretien et de durée de vie. Les prix des différents matériaux et opérations doivent être estimés. Il convient d'interpréter avec prudence le résultat de telles analyses en raison du nombre important d'hypothèses et d'estimations.

3.2 Revêtements en béton

Les aménagements cyclables en béton ont une structure très rigide qui résiste bien aux déformations sous l'effet d'un trafic lourd occasionnel, aux racines d'arbres et aux conditions environnementales extrêmes. De plus, ils sont simples à mettre en œuvre, faciles d'entretien et présentent une longue durée de vie.

Comme pour les autres types de revêtement, dans le cas du béton la structure dépend aussi du positionnement de l'aménagement cyclable. Les aménagements cyclables en chaussée (pistes cyclables marquées, bandes cyclables suggérées et croisements entre une piste cyclable séparée et une route) ont le même revêtement et la même structure que la chaussée. Dans ce cas, l'aménagement cyclable et la voie de circulation peuvent être réalisés en même temps, ce qui favorise la durabilité. Il va de soi que ce revêtement doit être conçu et exécuté selon les règles de bonne pratique.

Les lignes qui suivent concernent surtout les pistes cyclables séparées. Étant donné que le trafic lourd y est généralement exceptionnel (véhicules d'entretien et d'urgence), le béton et la structure peuvent être soumis à des exigences moins strictes. Un revêtement en béton avec une épaisseur minimum de 16 cm pourra très bien y résister.



Piste cyclable séparée en béton

3.2.1 Description et recommandations générales

3.2.1.1 Composition du béton

Le béton utilisé pour un aménagement cyclable ne diffère pas en soi de celui utilisé pour un revêtement classique. Pour la mise en œuvre, on peut utiliser une machine à coffrages glissants, ou procéder à une pose manuelle entre coffrages fixes. Les exigences posées à l'ouvrabilité du béton varieront en fonction de la méthode choisie.

Le béton se compose de pierres concassées, de ciment, de sable, d'eau et d'adjuvants. Il provient de préférence d'une centrale à béton conforme aux systèmes de contrôle en vigueur.

Pour le choix de la composition du béton, il faut satisfaire aux prescriptions suivantes des cahiers des charges :

- calibre nominal maximal: 20, voire 14 mm;
- un coefficient de polissage accéléré (CPA) inférieur à 50 est autorisé pour les routes à faible trafic;
- teneur en ciment $\geq 350 \text{ kg/m}^3$ de béton coulé pour une résistance suffisante et une durabilité plus longue;
- facteur eau-ciment (E/C): $< 0,50$;
- pour le béton dénudé à texture superficielle fine, il faut utiliser une forte proportion de granulats 4/8 (au minimum 25 %). Les granulats peuvent être colorés, auquel cas la couleur et le type de granulats doivent être spécifiés de manière univoque.

Le béton peut être coloré. Pour obtenir la couleur souhaitée, il est recommandé de réaliser au préalable une planche d'essai afin de déterminer le bon type et la bonne quantité de pigments et de granulats. La teneur en pigments est de l'ordre de 3 à 5 % de la masse cimentaire.

Les documents d'adjudication mentionnent les exigences performantielles minimales pour la résistance à la compression, l'absorption d'eau par immersion et la résistance aux sels de déverglaçage.

3.2.1.2 Structure

Si la portance du sol est suffisante (valeur CBR de 6 à 10 ou module de compression de 17 MPA, mesuré à l'aide de l'essai à la plaque), le revêtement en béton peut être posé directement sur celui-ci. Si le sol n'est pas assez portant, il faut poser une couche d'empierrement d'au moins 20 cm ou recourir à des techniques d'amélioration des sols.

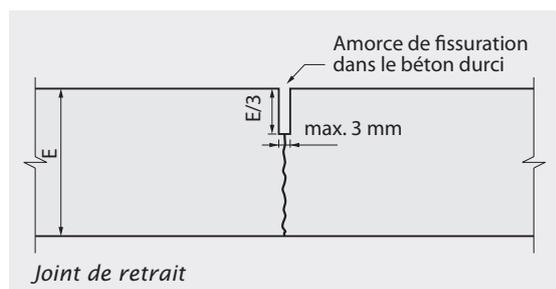
Le revêtement en béton a une épaisseur minimale de 16 cm. Pour éviter la formation de fissures aléatoires dues au retrait du béton, on applique des joints de retrait tous les 4 m.

3.2.1.3 Joints

On distingue trois types de joints : les joints de retrait, les joints de dilatation et les joints de construction.

Joints de retrait

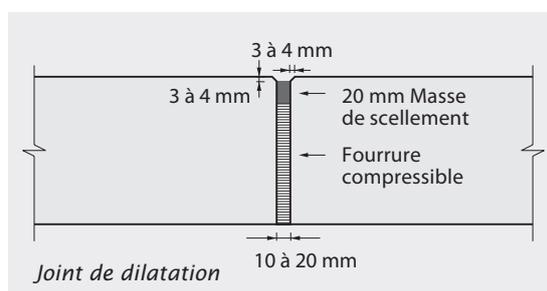
Les joints de retrait sont sciés dans les 5 à 24 h après le bétonnage perpendiculairement à l'axe de la route et ont une profondeur égale à au moins $1/3$ de la dalle de béton. Leur largeur est de 3 mm au maximum. Pour garantir le confort du cycliste, ils ne sont généralement pas scellés.



Le schéma d'implantation des joints détermine grandement la durabilité du revêtement. Il faut prêter une attention particulière aux points singuliers, virages, raccords, etc. Lors de la mise en œuvre des joints, on évitera les angles aigus. Si on ne peut absolument pas faire autrement, ces zones seront renforcées par une armature dans la moitié supérieure du béton, afin de garantir une résistance suffisante.

Joints de dilatation

Le béton peut se dilater sous l'influence des augmentations de température. Pour compenser les conséquences de cette dilatation, on réalise des joints de dilatation. Une tranche de 10 à 20 mm de large est sciée dans le revêtement à l'emplacement d'un joint de retrait à l'aide d'un double disque sur toute l'épaisseur et sur toute la largeur du revêtement. Le joint est rempli d'une matière compressible, chanfreiné et scellé. Pour les aménagements cyclables, il n'est pas nécessaire d'utiliser des goujons.



Les joints de dilatation sont placés dans les tournants d'un rayon inférieur à 250 m (au début et à la fin de la courbe) ou pour séparer le revêtement en béton d'éléments fixes comme des bâtiments, des ouvrages d'art (entre l'avant-dernière et la dernière dalle), etc.

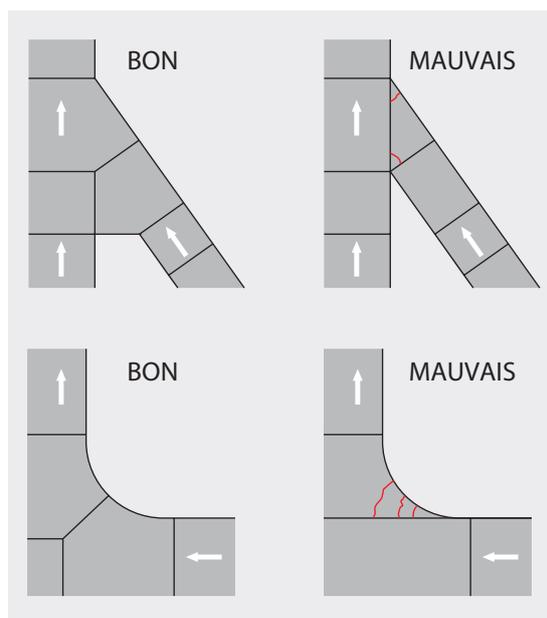
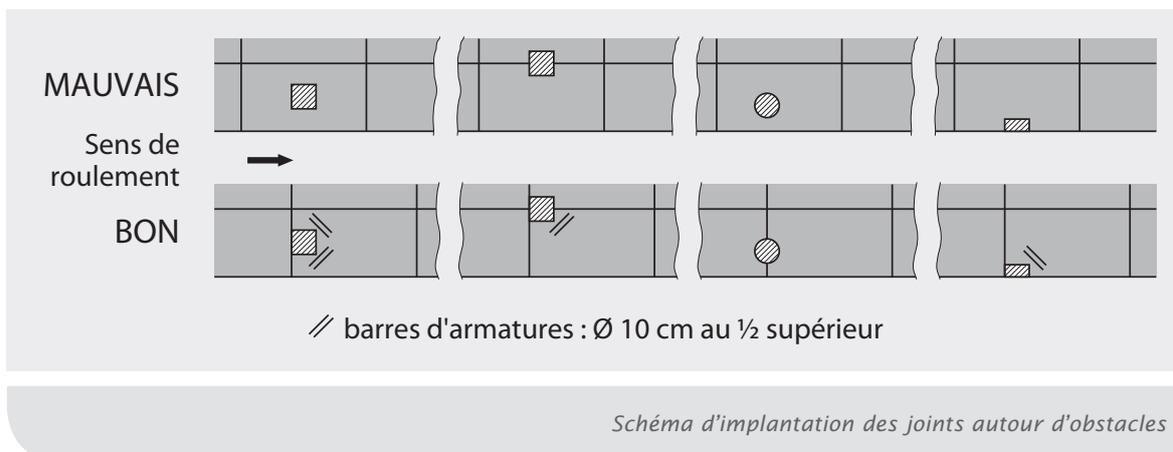


Schéma d'implantation des joints



En raison de la configuration géométrique particulière d'une piste cyclable séparée (rapport longueur sur largeur assez important, faible épaisseur du béton), il est recommandé de réaliser un joint de dilatation tous les 150 m (mesurés en ligne droite) si la mise en œuvre du béton a lieu à des températures inférieures à 15 °C.

À hauteur des obstacles fixes (taque d'égout, avaloir, poteau, etc.), le profil transversal de la piste cyclable montre un rétrécissement important qui provoque des concentrations de contraintes. De plus, ces éléments fixes empêchent le retrait libre du béton. Afin d'éviter une fissuration erratique, il faut idéalement placer ces obstacles en bout de dalle. Si cela est impossible, on réalise une amorce de fissuration supplémentaire à leur niveau. Une autre solution peut être de poser quelques barres d'armature et/ou d'entourer l'élément étranger d'une fourrure compressible.

Joint de construction

Les joints transversaux de construction sont réalisés à chaque interruption de bétonnage supérieure à 120 min. Ils sont réalisés au droit d'un joint de retrait et sont traités comme des joints de dilatation. Pour obtenir un profil vertical et plan, le bout de la dalle en béton est d'abord scié verticalement. Ensuite, une couche de matériau compressible, de 10 à 20 mm d'épaisseur, est mise contre la tranche verticale de la dalle. On peut ensuite reprendre la mise en œuvre du béton. Les joints sont ragrés et scellés avec un mortier-colle.

3.2.2 Exigences et recommandations spécifiques pour les aménagements cyclables

3.2.2.1 Adhérence

L'adhérence de la surface dépend du traitement superficiel choisi. Un simple brossage de la surface dans le sens longitudinal ou transversal donne de très bons résultats en matière d'adhérence, sans nuire au confort du cycliste.

La circulation automobile est occasionnelle sur les pistes cyclables séparées, ce qui fait que l'adhérence ne diminue pas sous l'effet du trafic. C'est pourquoi il n'y a pas d'exigence particulière pour le coefficient de polissage des granulats.

3.2.2.2 Planéité

Les revêtements en béton sont coulés en continu. Si la machine à coffrages glissants a bien été réglée, que la composition du béton est homogène et que l'approvisionnement du béton n'est pas interrompu, on peut obtenir une planéité excellente.

Réaliser des joints de retrait en lieu et place de joints de dilatation permet de limiter le risque de mise en escalier, même s'il est impossible de l'exclure totalement en raison de facteurs extérieurs (affaissement du sol, racines d'arbres ou trafic lourd non souhaité). Il faut bien évaluer la charge prévue dès la conception, afin qu'une éventuelle fondation supplémentaire puisse être prise en compte. La portance du sol ou de la fondation doit toujours être vérifiée préalablement.

Une composition constante du béton contribuera à une meilleure qualité d'uni du béton, certainement si une machine à coffrages glissants est utilisée, étant donné que le compactage peut alors être optimal. Il faut veiller à ce que l'approvisionnement en béton soit continu afin de garantir une progression régulière de la machine. La qualité du chemin de roulement des chenilles de la machine à coffrages glissants influence elle aussi la qualité de l'uni.

3.2.2.3 Évacuation des eaux

L'évacuation des eaux des aménagements cyclables en béton se fait de préférence par le côté. Des filets d'eau peuvent être coulés en même temps que l'aménagement. Si la pose du béton se fait manuellement, on utilisera des filets d'eau préfabriqués ou coulés sur place, qui serviront aussi de coffrage pour l'aménagement.

Une bonne évacuation des eaux est primordiale pour la durabilité du revêtement. L'eau occluse peut en effet éroder la fondation ou le sol et donc entraîner des affaissements, avec pour conséquence un glissement des dalles ou une mise en escalier.

3.2.2.4 Absence d'obstacles

Les revêtements en béton sont très rigides et très peu sensibles au plumage. Les dégâts provoqués par des racines d'arbres restent donc relativement limités. Le risque d'effritement est également très limité.

Les obstacles fixes (taques d'égout, poteaux, etc.) doivent être placés soigneusement, et la disposition des joints doit être adaptée (voir 3.2.1.3).

3.2.2.5 Lisibilité – visibilité

Le recours à des revêtements colorés peut améliorer la lisibilité et la visibilité de l'aménagement cyclable.

Le béton peut être coloré durablement en ajoutant des pigments, et éventuellement des granulats colorés.



Piste cyclable séparée en béton rouge

En raison de leur couleur plus claire, les aménagements en béton sont plus visibles la nuit. Ceci peut également permettre des économies d'éclairage.

3.2.2.6 Propreté

Les revêtements en béton sont peu sensibles aux salissures. Un petit entretien peut éventuellement être réalisé, pour lutter contre la pousse des mauvaises herbes, même si une utilisation régulière de l'aménagement cyclable constitue le meilleur remède à ce problème.

3.2.2.7 Durabilité

Les revêtements en béton ont une très bonne durabilité de par leur grande rigidité et leur résistance aux influences climatiques. En outre, les mesures suivantes à prendre lors de la conception et de la construction permettent de prolonger davantage encore la durée de vie :

- verser le béton frais sur un sol et/ou une fondation de portance et de durabilité suffisantes, pour prévenir l'affaissement des dalles ;
- accorder l'attention et le soin nécessaires au schéma d'implantation des joints, et aux obstacles fixes surtout, pour éviter toute fissuration erratique ;
- réaliser les joints de dilatation nécessaires selon les règles de bonne pratique, surtout à hauteur des obstacles fixes, avant et après les tournants (à faible rayon de courbure),

aux carrefours et lorsque la mise en œuvre du béton a lieu à des températures inférieures à 15 °C, pour éviter le soulèvement des dalles par temps chaud ;

- mettre en œuvre le béton de manière professionnelle, ce qui implique de veiller à une composition du béton constante et à un compactage correct (également aux bords), de protéger le béton contre la dessiccation pendant les trois premiers jours, de scier à temps des joints de retrait, etc.

3.2.2.8 Qualité de l'espace et restrictions

Grâce à leurs textures et couleurs variées, les revêtements en béton peuvent s'intégrer harmonieusement tant en zone verte qu'en milieu urbain.

Les revêtements en béton peuvent également être utilisés comme bande confort.



Bandes confort en béton basalte



Bande confort en béton sur le trajet de la Promenade verte autour de Bruxelles

3.2.2.9 Aspects environnementaux et de santé publique

Les revêtements en béton sont assez respectueux de l'environnement: leur durée de vie est très élevée (durée de vie de projet d'environ trente ans) et ils ne réclament que peu d'entretien. Les débris de béton peuvent être recyclés et utilisés comme matériau secondaire dans les fondations ou pour la confection de béton frais.

La fabrication et la pose du béton ne libèrent pas d'éléments nocifs.

L'entretien des aménagements cyclables en béton est facile à réaliser en hiver. La bonne résistance de la surface du béton permet d'évacuer la neige mécaniquement à l'aide d'appareils prévus à cet effet, ce qui offre la possibilité de les rouvrir rapidement au trafic cycliste sans dégradation de la surface. Les sels de déverglaçage aussi ont un effet très limité sur la surface en béton grâce à la teneur en ciment relativement élevée et au facteur E/C limité.

3.2.2.10 Exigences et restrictions en matière d'exécution

La bonne mise en œuvre des aménagements cyclables en béton est à la base d'une longévité importante. L'utilisation d'une machine à coffrages glissants de largeur adaptée permet une mise en œuvre très rapide et de bonne qualité des aménagements.

Préparation et réalisation du fond de coffre

Le fond de coffre doit être réalisé avec soin, c'est-à-dire qu'il faut :

- éliminer toutes traces de boue et de matières organiques ;
- évacuer les eaux superficielles. Il ne peut plus y avoir de flaques d'eau ;
- compacter soigneusement le sol à l'aide d'un rouleau vibrant de taille adaptée. La largeur supplémentaire à compacter dépend du mode de mise en œuvre. Si on utilise une machine à coffrages glissants, il faut compacter une surlargeur d'au moins 60 cm de part et d'autre, afin de constituer un chemin de roulement plan pour la machine de pose. Toutefois, si le bétonnage à la machine à coffrages glissants a lieu en déporté ou en cas de pose entre coffrages fixes, la surlargeur peut être limitée à 20 cm de part et d'autre ;
- contrôler le profil du fond de coffre, par rapport à la tolérance admise à la règle de 3 m dans le *Cahier des Charges Type relatif aux Voiries en Région de Bruxelles-Capitale* ;
- éliminer les frayées des véhicules et machines qui ont roulé sur le fond de coffre. Il est recommandé de combler les frayées avec un matériau granulaire que l'on compacte ;
- humidifier le fond de coffre avant le bétonnage (s'il y a un risque que le sol absorbe une partie de l'eau de gâchage du béton).

Exécution du revêtement en béton

Un revêtement en béton n'est pas une surface continue, mais est mis en œuvre de manière continue. Les dalles de béton ne sont en principe pas goujonnées. Le béton est directement versé sur le fond de coffre ou sur la fondation.

Les caractéristiques géométriques des dalles de béton sont les suivantes :

- une épaisseur nominale minimale de 16 cm ;
- une pente transversale vers un côté de 2 % ;
- un joint transversal tous les 4 m. Cette distance est fonction de l'épaisseur et de la largeur des dalles. Pour un revêtement classique, la longueur de la dalle ne peut pas dépasser une fois et demi la largeur de la dalle. En l'absence de trafic lourd sur l'aménagement cyclable, cette règle ne doit pas être strictement respectée ;

- aucun joint longitudinal n'est nécessaire pour les aménagements dont la largeur est inférieure à 4,5 m.

La mise en œuvre du béton est habituellement réalisée à l'aide de machines à coffrages glissants, même pour de faibles largeurs (p. ex. 1,75 m). Cette technique garantit un excellent profil longitudinal tout en permettant de réaliser un tracé sinueux, le tout à un haut rendement, ce qui réduit les coûts de construction. Si les aiguilles vibrantes de la machine à coffrages glissants ne peuvent pas suffisamment être dirigées vers l'extérieur, le béton frais est compacté manuellement avec une aiguille vibrante à hauteur des joints de début et de fin de journée et sur les côtés.

Si la mise en œuvre est réalisée entre coffrages fixes, le béton est compacté à l'aide d'une poutre vibrante. Les côtés sont eux compactés avec des aiguilles vibrantes.

Pour le confort du cycliste, le *Cahier des Charges Type relatif aux Voiries en Région de Bruxelles-Capitale* impose des valeurs limites en ce qui concerne les irrégularités de surface relevées à la règle de 3 m.

Immédiatement après bétonnage, le béton doit être protégé contre la dessiccation, soit au moyen d'une membrane étanche, soit au moyen d'un produit de cure.

Les joints de retrait doivent être réalisés le plus vite possible, c'est-à-dire au moment où le béton est déjà assez durci (afin que les bords des joints ne soient pas abîmés lors du sciage) et avant l'apparition de fissures libres. Surtout à des températures plus élevées, ou en cas de vent, le sciage des joints doit avoir lieu assez vite.

Traitement de surface

On distingue trois techniques de traitement superficiel du béton :

- le brossage: cette technique génère une microtexture transversale ou longitudinale. Il s'agit d'un traitement simple, bon marché, très durable et efficace pour les aménagements cyclables, qui procure une surface rugueuse à un prix très limité. Un brossage transversal favorisera l'évacuation des eaux ;

- le traitement à la toile de jute tirée derrière la machine à coffrages glissants, qui permet d'obtenir une microtexture longitudinale. Sa profondeur est comparable à celle d'un brosseage léger;
- le dénudage du béton afin de mettre à nu les granulats. En limitant la profondeur de dénudage à 1 mm, la surface du béton acquiert un bel aspect esthétique (éventuellement renforcé par l'adjonction d'un colorant dans la pâte de ciment) tout en assurant un très bon confort de roulement. On déverse un retardateur de prise sur la surface et l'ensemble est recouvert d'un film plastique. Après 24 h au maximum (en fonction des conditions météorologiques), cette couche supérieure est broyée, exposant ainsi les granulats fins.

3.2.1.2.11 Exigences et restrictions en matière d'entretien

L'entretien de revêtements en béton peut se limiter à remplir régulièrement les joints de construction et de dilatation d'un produit de scellement élastique afin d'éviter que les mouvements horizontaux de la dalle de béton ne provoquent l'encrassement, et donc le blocage, des joints.

En principe, les joints de retrait n'étant pas remplis d'une masse de scellement, le nombre de joints à entretenir est très restreint.

3.2.2.12 Coûts

Coûts d'investissement

Les coûts d'investissement initiaux plus élevés pour les aménagements en béton peuvent être limités :

- si le béton peut être mis en œuvre directement sur un sol dont la portance est suffisante;
- si l'épaisseur du revêtement peut être limitée à 16 cm, comme dans le cas de pistes cyclables séparées;
- car les bords du béton ne s'effritent pas, ce qui permet d'épargner sur les frais de bandes de contrebutage.

Coûts d'entretien

L'entretien des aménagements en béton est peu coûteux, car seuls les joints de dilatation

et de construction requièrent un entretien. En particulier dans le cas des pistes cyclables séparées où il n'y a aucun trafic lourd, la texture superficielle sera conservée pendant toute la durée de vie.

3.3 Revêtements bitumineux

Dans le cas de pistes cyclables intégrées à une voirie (pistes cyclables marquées ou bandes cyclables suggérées, et croisement d'une piste cyclable séparée et d'une voirie), le revêtement et la structure de l'aménagement cyclable sont, à l'exception d'un éventuel traitement superficiel (voir 3.3.1.3), généralement identiques à ceux de la voirie. Il va de soi que ce revêtement doit être conçu et exécuté selon les règles de bonne pratique.

Dans le cas des pistes cyclables séparées (hors croisement avec d'autres voiries), on cherchera à combiner et à optimiser la sécurité (rugosité suffisante) et le confort (faible macrotexture). Il faudra également tenir compte des contingences liées à la pose du revêtement, généralement de faible largeur.



Piste cyclable séparée en revêtement bitumineux

3.3.1 Description et recommandations générales

Il existe de nombreux types de revêtements bitumineux. Les revêtements bitumineux généralement utilisés pour les aménagements cyclables sont décrits ci-après.

En fonction de l'épaisseur de la couche, on distingue les enrobés à chaud, les asphaltes coulés (≥ 15 mm) et les traitements superficiels (< 15 mm).



Piste cyclable en revêtement bitumineux

3.3.1.1 Enrobés à chaud

Les couches de roulement les plus largement utilisées sont les enrobés à chaud. Ils sont constitués d'un mélange de pierres, de sables, de filler, d'un liant (un bitume modifié ou non) et d'éventuels additifs (fibres, pigments, etc.). Ils sont fabriqués à chaud (entre 150 et 180 °C) dans une centrale d'enrobage classique et posés à l'aide d'un finisseur. Ensuite ils sont compactés lorsqu'ils sont encore chauds (> 90 °C). Ces enrobés permettent de réaliser des couches d'épaisseur comprise entre 15 et 80 mm selon le type d'enrobé et le calibre maximal du granulat utilisé.

Parmi les enrobés à chaud on distingue :

- les enrobés à squelette sableux et à granularité continue (béton bitumineux – BB). Les bétons bitumineux pour couche d'usure,

comme les BB-1, BB-4 et BB-5 conviennent, du point de vue du confort de roulement et de la facilité d'exécution, particulièrement bien aux aménagements cyclables ;



Béton bitumineux BB-1B



Béton bitumineux BB-4



Béton bitumineux BB-5

- les enrobés à squelette pierreux et à granularité discontinue (RUMG, RMD, RMTO, ED et SMA). Les enrobés à squelette pierreux sont ouverts. Les ED conviennent moins bien aux aménagements cyclables en raison du risque d'encrassement externe pouvant entraîner

un phénomène de glissance. Contrairement aux autoroutes, les vides de l'enrobé drainant sont vite comblés par de la poussière, de la boue, des feuilles, de l'huile, etc. Le passage des pneus de vélo n'a pas un effet autonettoyant suffisant en raison de la vitesse peu élevée des vélos et de la largeur modérée de leurs pneus. L'avantage spécifique de la réduction du bruit ne s'applique pas non plus ici.

A priori, pour les pistes cyclables séparées, on utilisera plutôt un béton bitumineux (BB) qui offre à la fois une bonne résistance au glissement (sécurité) et une bonne planéité (confort). Cet enrobé peut être une adaptation souple de la formule habituellement utilisée pour la route. Cette adaptation doit suivre les idées directrices suivantes :

- on limitera le calibre maximal de manière à faciliter le travail à la main et à obtenir une bonne rugosité et un bon confort;
- on utilisera des bitumes plus souples (ouvrabilité);
- caractéristiques recherchées pour le mélange :
 - une compacité plus élevée;
 - une excellente maniabilité.

3.3.1.2 Asphaltes coulés

Les asphaltes coulés sont des enrobés à chaud, à squelette de filler. Ils sont constitués d'un mélange en proportions variables de sables, gravillons et de fortes teneurs en fines et en bitume (ou bitume modifié). Ils sont fabriqués et mis en œuvre à très haute température



Asphalte coulé

(> 200 °C) et ne nécessitent aucun compactage. Ils sont généralement mis en œuvre manuellement. L'épaisseur de mise en œuvre usuelle est de 25 à 30 mm. Après épandage de l'asphalte coulé, sa surface est généralement traitée par sablage ou gravillonnage de manière à augmenter sa résistance au glissement. Cette opération nécessite parfois un léger cylindrage. Après refroidissement, la couche est imperméable. Il s'agit incontestablement d'une solution intéressante pour les endroits où il n'est pas possible de procéder à l'épandage et au compactage d'un béton bitumineux à l'aide des engins lourds classiques.

3.3.1.3 Traitements superficiels

Les traitements superficiels sont principalement utilisés comme mesure d'entretien d'anciens revêtements ou pour modifier la couleur d'un revêtement existant.

On distingue les enduits superficiels et les matériaux bitumineux coulés à froid (MBCF).

Enduits superficiels

Les enduits superficiels sont obtenus par la pose successive d'au moins une couche de liant (une émulsion de bitume ou un bitume fluidifié, l'un comme l'autre éventuellement modifié) et d'au moins une couche de gravillons (2/4, 4/6 ou 6/10) à l'aide de matériel d'épandage spécifique. L'enduit superficiel doit ensuite être compacté. On distingue les enduits monocouches et les enduits bicouches.

Les enduits superficiels sont bon marché et peuvent être appliqués en couches fines. Ils



Plumage

sont sujets au plumage (les gravillons roulants entraînent une perte de la résistance au glissement) et présentent une macrotexture prononcée (ce qui augmente le risque de blessure en cas de chute). Ils sont donc moins appréciés des cyclistes pour des raisons de sécurité et de confort. Si cette technique est quand même sélectionnée, on choisira préférentiellement les plus faibles calibres (2/4 ou 4/6) pour la couche supérieure de l'enduit.

Les enduits superficiels ne conviennent pas pour les voies empruntées par les patineurs : la texture de ce revêtement génère des vibrations très désagréables pour les usagers.



Enduit monocouche



Enduit bicouche

MBCF

Les MBCF (aussi appelés schlammages) sont obtenus par l'application en une seule passe d'un mélange contenant des agrégats minéraux, du filler, une émulsion de bitume (modifié ou non) et divers adjuvants éven-

tuels. Une machine spéciale met en œuvre le mélange (centrale mobile de malaxage à froid). Les fonctions essentielles des MBCF sont la restauration de la rugosité et de l'imperméabilité ou la modification de la couleur du revêtement.

La composition du matériau permet son application par coulée, sans nécessiter de compactage lorsque le revêtement est circulé (c'est le passage du trafic qui s'en charge). Lorsque le MBCF n'est pas soumis au trafic automobile (cas de la plupart des pistes cyclables séparées), il est préférable de le compacter.

Les MBCF sont presque toujours de type 0/4 pour les pistes cyclables (pour la sécurité et le confort des cyclistes), tandis que pour les carrefours, ils sont de type 0/4 ou 0/6,3 pour offrir une meilleure résistance à l'usure.

Les revêtements bitumineux colorés sont traités au point 3.3.2.5.



MBCF monocouche



MBCF bicouche

3.3.2 Exigences et recommandations spécifiques pour aménagements cyclables

3.3.2.1 Adhérence

Les enrobés à chaud et les autres revêtements bitumineux présentent une adhérence satisfaisante, compatible avec les besoins des cyclistes, patineurs et motocyclistes.

3.3.2.2 Planéité de surface

La planéité de surface des revêtements mis en œuvre constitue une des caractéristiques auxquelles le cycliste attache le plus d'importance.

Les revêtements bitumineux sont d'une seule pièce, ce qui garantit une planéité optimale. En raison de leur souplesse, les revêtements en béton bitumineux sont relativement en mesure de suivre des tassements différentiels du sol. Le béton bitumineux est toutefois sensible aux déformations permanentes (orniérage et tôle ondulée), ce qui ne constitue généralement pas un problème pour les pistes cyclables, sauf si



Cette piste cyclable en revêtement bitumineux neuf offrira un excellent confort de roulement

elles doivent aussi supporter un trafic lourd. Pour diminuer cette sensibilité, on peut opter pour un enrobé plus rigide, ce qui augmente le risque de fissuration et de fatigue.

Malgré son élasticité, de fortes variations de température peuvent générer une fissuration de l'enrobé qui peut être à l'origine de chutes (notamment chez les patineurs).

3.3.2.3 Évacuation des eaux

Grâce à leur texture superficielle, l'aquaplaning est limité sur les revêtements bitumineux.

L'évacuation des eaux doit être assurée par une pente transversale de l'ordre de 2 %. En outre, le revêtement bitumineux doit reposer sur de bonnes fondations pour éviter la formation de trous, d'ornières et de tassements, surtout sous l'action du trafic lourd.

3.3.2.4 Absence d'obstacles

Les revêtements bitumineux sont plus sensibles aux déformations dues à la poussée des racines d'arbres. La relative fragilité par rapport aux racines est essentiellement une question de fondations. On peut y remédier en plantant des espèces à enracinement profond.

Les voiries en milieu urbain sont souvent dotées de divers dispositifs comme des taques d'égout, etc. Ces obstacles potentiels sont positionnés si possible en dehors du tracé du revêtement. Si cela n'est pas possible, il est préférable de placer ces éléments après la pose et le compactage mécanique du revêtement, dans un espace dégagé par sciage. Le compactage à la machine garantit une meilleure qualité du revêtement bitumineux.

3.3.2.5 Lisibilité – Visibilité

Les revêtements bitumineux ont l'avantage d'être associés à la « circulation » plutôt qu'aux piétons. Ils contribuent ainsi à guider les piétons vers les espaces qui leur sont réservés. Ils se colorent bien pour différencier visuellement l'affectation de l'espace aux différents usagers.

Dans ce qui suit, nous ne considérons que les produits bitumineux colorés dans la masse.



Revêtement bitumineux coloré (zone piétonne)



*Zone de partage entre piétons et cyclistes.
Le revêtement de la piste cyclable est
en enrobé de couleur rouge*

Enrobés à chaud colorés

L'enrobé à chaud coloré peut être obtenu de différentes manières en agissant au niveau de chacun de ses constituants :

- remplacer une partie ou la totalité des pierres ordinaires par des pierres dont la

coloration est proche de celle exigée pour le revêtement ;

- remplacer une partie du sable par du sable provenant du concassage de pierres colorées ;
- remplacer une partie du filler par un pigment approprié ;
- remplacer le bitume ordinaire par un bitume pigmentable ou un liant synthétique pigmentable (éventuellement modifié aux polymères).

Les divers moyens cités ci-dessus peuvent être combinés de manière à se rapprocher le plus possible de la couleur voulue.

L'efficacité de la coloration est d'autant meilleure et durable que les granulats entrant dans la composition de l'enrobé sont choisis dans une teinte plus proche de la couleur à obtenir, ou à défaut neutre et peu contrastée. En effet, avec le temps, la teinte du gravillon devient prépondérante dans la teinte globale de l'enrobé.

Il faut noter que la fabrication et la mise en œuvre de ces mélanges nécessitent beaucoup de soin et un certain nombre de dispositions particulières pour éviter les pollutions ou les simples variations de teinte.

Dans toutes les applications mentionnées ci-dessous, il convient toujours de vérifier notamment :

- que le pigment choisi n'entraîne pas de perte de stabilité du mélange lorsqu'on l'utilise pour remplacer une partie du filler ;
- que les pierres et sables retenus conviennent bien pour l'application concernée. Les pierres doivent en outre offrir une adhésivité mastic/granat suffisante.

Asphaltes coulés colorés

L'asphalte coulé coloré peut être confectionné selon les mêmes procédés que ceux utilisés pour le béton bitumineux. Toutefois :

- le liant est, en général, un liant synthétique pigmentable résistant aux températures élevées (250 °C) ;
- les pierres et le sable sont de teinte claire ;
- la coloration est obtenue par le remplacement d'une partie du filler par des pigments (1 à 5 % de la masse totale des granulats, selon la couleur).

Quoique leur durabilité soit excellente, leur prix (environ deux fois plus cher qu'un asphalte coulé noir) fait que cette solution est actuellement peu utilisée.

Enduits superficiels colorés

Le choix de la couleur des gravillons permet la réalisation de surfaces colorées de façon naturelle et durable. Compte tenu qu'il s'agit de gravillons non classiques, il convient d'examiner leur compatibilité (notamment l'adhésivité) avec le bitume utilisé. Les gravillons ne peuvent pas être préenrobés au bitume.

MBCF colorés

En combinaison avec des granulats colorés naturels, l'émulsion de liant pigmentable (éventuellement modifié aux polymères) colorée avec des pigments constitue un MBCF coloré dans la masse.

3.3.2.6 Propreté

La mousse ou autre végétation s'installera plus facilement dans les enrobés à texture grossière et/ou ouverte.

La facilité de nettoyage des différents types de revêtements bitumineux est traitée au point 3.3.2.11.

3.3.2.7 Durabilité

Pour garantir la durabilité voulue, il y a lieu de porter beaucoup d'attention aux éléments suivants :

- dimensionner correctement les éléments de la structure ;
- veiller à ce que le revêtement présente les caractéristiques prescrites (résistance aux influences mécaniques, chimiques et climatiques) ;
- assurer une bonne évacuation des eaux ;
- dans le cas d'aménagements de petites surfaces, veiller à ce qu'il y ait une structure continue sur toute la surface de chaussée (au moins au niveau de la fondation, ainsi que sur les zones de transition).

3.3.2.8 Qualité de l'espace et restrictions

Les revêtements bitumineux colorés sont aussi fréquemment utilisés pour leurs qualités esthétiques. La volonté de mieux intégrer le revêtement dans son environnement, d'un point de vue esthétique, peut en effet pousser à choisir un revêtement de couleur spéciale lors de l'établissement du projet.

Lorsque, pour des raisons d'intégration urbaine (par exemple site historique), seuls des pavés peuvent être utilisés, il est intéressant d'aménager une bande confort en béton bitumineux pour les cyclistes, pour autant que ce type de couche et la structure sous-jacente soient compatibles avec le trafic.



Deux bandes confort en asphalte avec fondation propre



Deux bandes confort en asphalte

Dans le cas des pistes cyclables séparées (hors croisement avec d'autres voiries), il faudra également tenir compte des contingences liées à la pose du revêtement, généralement de faible largeur.



Deux bandes confort en MBCF

3.3.2.9 Aspects environnementaux et de santé publique

L'auteur de projet peut, par le biais du type d'enrobé qu'il choisit, avoir une influence sur plusieurs éléments de l'environnement, comme :

- l'emploi de matériaux sûrs pour l'homme et pour l'environnement ;
- la diminution de la quantité de déchets ;
- le recours à des produits et techniques innovants.

Emploi de matériaux sûrs pour l'homme et l'environnement

Les enrobés ne peuvent pas contenir de matériaux renfermant du goudron (liant ou granulats de débris bitumineux).

Diminution de la quantité de déchets : utilisation de granulats de débris bitumineux

Le recyclage présente trois avantages écologiques :

- il diminue la quantité de déchets qui nécessitent un traitement final (dans une décharge ou dans un centre d'enfouissement technique) ;
- il permet d'éviter que des matières premières neuves, non renouvelables (comme le sable et les pierres) doivent être extraites ;
- il permet de diminuer le transport des matières premières.

Le recyclage peut aussi bien avoir lieu lors de travaux d'entretien que lors de la fabrication de revêtements bitumineux neufs.

Recours à des produits et techniques innovants pour une route durable

Différentes techniques innovantes sont disponibles pour produire des enrobés à des températures inférieures et épargner ainsi de l'énergie et/ou du pétrole, et limiter les émissions de CO₂ :

- les enrobés à froid ressemblent aux enrobés à chaud, sauf qu'ils sont fabriqués à froid (ou faiblement chauffés) grâce à l'emploi d'émulsions de bitume et/ou de bitume fluidifié ;
- les enrobés tièdes ou asphaltes coulés tièdes demandent une température de pose moins élevée ;
- l'enrobé écologique contient un liant à base d'huile ou de résine végétale. L'enrobé peut être fabriqué et mis en œuvre à des températures plus basses (voir 3.5).

3.3.2.10 Exigences et restrictions liées à l'exécution

Enrobés à chaud

La mise en œuvre se fera principalement au finisseur suivi d'un compactage au compacteur lourd à pneus ou à jantes lisse. Les enrobés sont peu adaptés à l'emploi en petites quantités. La mise en œuvre manuelle est toujours à déconseiller et n'est réservée qu'aux espaces non ou faiblement circulés. La période d'exécution est assez large et couvre une bonne partie de l'année. La réouverture à la circulation peut avoir lieu dès que la couche est suffisamment refroidie.

Les dispositions pour un enrobé bitumineux coloré sont les mêmes que pour un enrobé bitumineux standard, avec la contrainte supplémentaire d'utiliser un matériel parfaitement propre afin d'éviter des souillures de noir (gâchée à vide pour le nettoyage de la centrale, compacteurs et finisseurs parfaitement propres, etc.).

Lors de la mise en œuvre de tous les revêtements bitumineux (donc également dans le cas

des aménagements cyclables), des dispositions importantes sont à respecter :

- bien prendre en compte les différences d'altimétrie pour éviter les dénivellations au niveau des raccords entre différents revêtements ;
- éviter la mise en œuvre sur des petites superficies ;
- réaliser une couche d'accrochage soignée avant l'application de l'enrobé ;
- veiller au respect des conditions de mise en œuvre (température, pluviométrie, etc.) ;
- dans le cas d'un aménagement mixte (revêtement ordinaire + revêtement coloré) : réaliser en premier les travaux à base de bitume ordinaire et terminer par les revêtements colorés en vue de limiter leur souillure ;
- éviter la superposition de différents joints de mise en œuvre ; positionner ces joints en dehors des zones de passage des essieux lourds ;
- en cas de fraisage des matériaux bitumineux, laisser au moins 4 cm de ces matériaux au-dessus des interfaces antifissures ;
- respecter un certain délai de réouverture à la circulation : attente du refroidissement du BB ou de l'asphalte.

Dans le cas des aménagements cyclables, il y a lieu de tenir compte d'un certain nombre d'aspects particulièrement importants.

Planéité de la surface

La planéité de surface constitue une des caractéristiques auxquelles le cycliste attache le plus d'importance. À aucun moment cet élément primordial ne peut être négligé. Dès lors, avant le compactage, il y a lieu de veiller aux aspects suivants (hormis ceux déjà mentionnés ci-avant) :

- planéité et portance du support ;
- soin dans le réglage en niveau de la couche à poser ;
- maintien d'une épaisseur aussi constante que possible lors de la mise en œuvre ;
- conduite prudente des camions approvisionnant le finisseur : pas de choc brusque contre le finisseur et déversement régulier ;
- conduite du finisseur à vitesse constante ;
- niveau le plus constant possible des enrobés dans la chambre de répartition ;

- précompactage convenable et uniforme ;
- pas de collage aux pneus ou aux jantes des compacteurs ;
- suppression correcte des frayées de compaction ;
- position des roues motrices du compacteur en fonction du sens de la marche ;
- changements de bandes de compactage sur enrobés suffisamment refroidis ;
- réalisation des dernières passes sans vibration lors de l'utilisation des rouleaux vibrants ;
- pas de stationnement d'engins sur des enrobés fraîchement posés ;
- soin dans la réalisation des joints de reprise longitudinaux et transversaux.

Comme déjà énoncé ci-avant, il y a lieu de veiller à la planéité et à la portance du support. Le support est la couche sur laquelle est placé le nouveau revêtement ou la nouvelle couche du revêtement. Chaque couche sert de support à la couche suivante. En fonction du type de projet, il peut donc s'agir de la fondation, d'une surface fraisée (inlay) ou de la surface du revêtement existant (overlay).

Revêtements à poser en faible largeur

Une limitation de largeur peut avoir une influence sur le choix des couches bitumineuses. Si l'approvisionnement de l'enrobé et son déversement dans le finisseur sont fortement compliqués par une limitation de largeur, l'alimentation de la machine sera plus compliquée. Il est donc recommandé de choisir un enrobé qui aura peu d'influence sur la qualité du revêtement à poser malgré les arrêts réguliers à



Mise en œuvre en faible largeur

prévoir. Une accessibilité limitée peut même empêcher totalement une mise en œuvre au finisseur (largeur minimale des finisseurs : 1,5 m). S'il faut toutefois poser de l'enrobé, la préférence doit alors aller à un mélange qui est plus facile à mettre en œuvre manuellement, par exemple un BB-4 ou un BB-8. La maniabilité du mélange peut également être améliorée en utilisant du bitume plus mou (par exemple B 70/100), pour autant que la charge du trafic le permette.

Si les couches de revêtement doivent être posées en faible largeur entre deux rebords, les engins d'approvisionnement, de pose et de compactage doivent être choisis en fonction de la largeur disponible. Plusieurs solutions existent :

- pose avec un finisseur, dont la table vibrante est en déporté. L'alimentation est réalisée à partir de camions à l'avant du finisseur ;
- pose avec un finisseur de faible largeur. Le déversement peut se faire directement à partir de camions ou l'alimentation peut être réalisée au moyen d'une grue à grappin. L'utilisation de petits engins de chargement n'est pas conseillée, car il faut déverser au préalable les enrobés sur le sol, ce qui accélère leur refroidissement ;
- pose avec une niveleuse circulant sur le revêtement adjacent et équipée d'une lame en déporté réglable en hauteur. Les enrobés sont répartis de façon assez uniforme sur le coffre au moyen d'une grue à grappin. Dans le cas de la couche de roulement, il peut y avoir des difficultés de maintenir la largeur de pose et des risques de déborder sur le revêtement adjacent, tel qu'un revêtement en béton de ciment, en le salissant ;
- pour la pose de la couche de roulement, on peut aussi travailler avec un finisseur de largeur classique, mais alors on ne réalise pratiquement pas de précompactage, de crainte de vibrer sur le revêtement adjacent et d'user la table.

Carrefours et ronds-points

La mise en œuvre d'enrobés dans des carrefours ou des ronds-points présente également des caractéristiques spécifiques ayant une influence sur l'exécution :

- une mise en œuvre ininterrompue, sans arrêt des finisseurs, n'est pas possible (la plupart du temps, la circulation ne peut pas être totalement interrompue) ;
- le travail manuel est inévitable ;
- les joints (de reprise) ne sont pas exclus.

Pour éviter ces inconvénients, une couche de roulement moins sensible à ces problèmes (par exemple du BB-4), est recommandée (sauf en combinaison avec un trafic lourd).

Pose manuelle

Si les enrobés doivent être mis en œuvre manuellement (aires très petites, géométrie complexe, etc.), leur déversement se fera par petits tas. On travaille en petite largeur (max. 3 m), afin de pouvoir compacter avant leur refroidissement.

Asphaltes coulés

La fabrication de l'asphalte coulé s'effectue dans des centrales d'enrobage spécialisées. Toutefois, la durée de malaxage en centrale est insuffisante et nécessite un malaxage complémentaire de deux heures au moins, temps de transport compris.

Le transport s'effectue dans des malaxeurs chauffés automoteurs ou tractés, avec régulation automatique du système de chauffe et renvoi des indications en cabine. Lorsque l'accès au point de déversement est difficile pour le camion-malaxeur, l'asphalte coulé peut être transvasé dans des « dumpers » (petits malaxeurs mobiles), avant d'être étalé. La mise en œuvre s'effectue généralement à la main (éventuellement au finisseur) sur support propre et sec. Les supports ne doivent pas présenter de déformation permanente de surface dont l'amplitude sous la règle de 3 m est supérieure à la valeur prescrite dans le *Cahier des Charges Type relatif aux Voiries en Région de Bruxelles-Capitale*. La mise en œuvre est prohibée si la température ambiante est inférieure à + 2 °C. Elle doit être interrompue par temps de pluie.

L'asphalte coulé offre l'avantage d'une facilité de mise en œuvre manuelle en petites quantités sur des surfaces réduites et inaccessibles aux véhicules.

Enduits superficiels

La nature et l'état du support ont un effet prépondérant sur la réussite d'un enduit superficiel. L'assise doit présenter un bon uni, cette technique ne permettant pas comme le béton bitumineux un rattrapage de planéité. La surface doit être suffisamment homogène et ne peut pas présenter d'orniérage, sinon une préparation, voire un reprofilage, préalable est indispensable.

Après nettoyage du sol support, l'émulsion, puis les granulats sont répandus, suivi d'un compactage au compacteur lourd, généralement à pneus.

Les abords de chaussée (caniveaux, bordures, trottoirs) doivent être protégés afin d'éviter le salissement durant la mise en œuvre.

Il convient de ne pas mettre en œuvre les enduits superficiels en arrière-saison, c'est-à-dire par de mauvaises conditions atmosphériques, temps pluvieux et/ou froid, ce qui a pour effet d'augmenter beaucoup, et de façon aléatoire, le temps de rupture de l'émulsion, et de gêner l'évacuation de l'eau de rupture d'émulsion.

Les enduits peuvent être remis en circulation rapidement, mais sont sensibles aux fortes contraintes tangentielles pendant une courte période au très jeune âge.

La mise en œuvre de cette technique est assez délicate et nécessite un savoir-faire confirmé (contrairement aux idées reçues). La mise en œuvre manuelle est proscrite. Ressuage et plumage sont possibles. Les réserves de garantie liées aux marchés publics ne pourront être levées qu'après une année complète (hiver + été).

MBCF

À l'inverse de l'enduit superficiel, le MBCF permet un léger reprofilage du support. Les abords de chaussée (caniveaux, bordures, trottoirs) doivent être protégés afin d'éviter le salissement durant la mise en œuvre.

Les restrictions liées à la mise en œuvre et à la remise en circulation évoquées ci-dessus pour les enduits superficiels valent également pour les MBCF.

3.3.2.11 Exigences et restrictions liées à l'entretien

Enrobés à chaud

Indépendamment des règles d'entretien normales propres à tous les enrobés, un entretien spécifique peut s'avérer nécessaire pour les revêtements bitumineux colorés. Il faut en effet considérer que des traces noires risquent de se former au droit des zones de freinage et de giration (au cas où la piste cyclable est aussi exposée au trafic automobile). L'utilisation d'eau sous pression permet généralement de nettoyer sans causer une perte de durabilité notoire. Les réparations locales à l'aide d'autres enrobés sont généralement peu esthétiques vu la difficulté de reproduire des enrobés de teintes identiques.

Asphaltes coulés

Comparativement aux enrobés à chaud, l'asphalte coulé présente des besoins en entretien limités. C'est un revêtement à longue durée de vie, du fait de son étanchéité, et de son vieillissement lent. Il constitue des surfaces faciles à nettoyer, hormis dans le cas de rugosité élevée. Les caractéristiques à surveiller sont la rugosité et le garnissage des joints de pose. L'asphalte coulé est facile à réparer à l'aide d'un produit de même nature. La fabrication est possible en petites quantités et sur place, en pétrin mobile.

Le point délicat de la réparation est le nouveau joint ainsi créé à la surface de l'asphalte coulé.

Les considérations propres aux enrobés à chaud colorés décrites ci-dessus valent également pour les asphaltes coulés colorés.

Enduits superficiels

Les enduits superficiels ont une longévité plus faible que les enrobés ou les asphaltes coulés. Leur réparation à l'aide de produits identiques ne pose pas de problème particulier, mais l'entretien des enduits colorés à l'aide d'eau sous pression est plus problématique, dans la mesure où cette technique peut accélérer le plumage.

MBCF

Les besoins en entretien d'un MBCF concernent essentiellement le maintien de la rugosité de la couche. Cette opération peut être réalisée

par l'apport d'une nouvelle couche de MBCF, ce qui se fait aisément. Le risque d'accélérer le plumage par des opérations de nettoyage est moindre que pour les enduits superficiels et est fonction de la texture du MBCF.

3.3.2.12 Coûts

Coûts d'investissement

Des prix indicatifs pour la pose de différents types de couches bitumineuses sont donnés dans les fiches techniques du *Code de bonne pratique pour le choix du revêtement bitumineux lors de la conception ou de l'entretien des chaussées (R 78/06)* du CRR.

La coloration des revêtements est généralement obtenue à l'aide de pigments. Conjointement, il est parfois nécessaire, voire indispensable, d'adapter les granulats (cas des enduits) ou le liant (synthétique pigmentable). Ces modifications, ainsi que le choix de la couleur, ont une influence non négligeable sur le prix du revêtement.

Coûts d'entretien

Les coûts d'entretien relativement faibles des revêtements bitumineux compensent une durée de vie globalement moindre que celle des revêtements en bétons.

Ils peuvent être déterminés à l'aide des prix indicatifs des fiches techniques de la publication CRR R 78/06 mentionnée ci-dessus. Ces fiches donnent également des valeurs indicatives pour la durabilité des différents produits bitumineux.

De façon générale, l'on peut dire que les enrobés ont un bon rapport coût/durabilité. Les prix restent peu élevés comparativement à des solutions en béton ou d'enrobé de synthèse. Les coûts engendrés par un enrobé coloré sont de deux fois supérieurs à un enrobé classique.

3.4 Revêtements modulaires

Pour les aménagements cyclables, différents types de revêtements modulaires peuvent être utilisés : des pavés ou dalles de béton, des pavés ou des dalles de pierre naturelle et des pavés en terre cuite. Ils ont tous leurs avantages et leurs inconvénients et posent des exigences particulières en matière de conception, de structure et d'exécution. Dans les lignes qui suivent, chaque type fait l'objet d'une présentation distincte.

Grâce aux nombreuses variations de couleur et de texture, ainsi qu'à leur bonne intégration aux autres matériaux de revêtement, les pavages sont particulièrement indiqués pour augmenter la lisibilité et la visibilité de l'espace de circulation.



Chaussée en pavés de béton : bonne lisibilité de l'espace de circulation



Aménagement cyclable en dalles de 20 x 20 cm

Les revêtements modulaires rendent les câbles et les canalisations facilement accessibles, car ils peuvent être enlevés et remis en place en petite quantité.

Comme pour les autres matériaux de revêtement, la structure des pavages dépend du type d'aménagement cyclable. Les aménagements cyclables en chaussée (pistes cyclables marquées, bandes cyclables suggérées et croisement entre une piste cyclable séparée et une route) ont généralement la même structure et le même revêtement que la chaussée. Il va de soi que ce revêtement doit être conçu et exécuté selon les règles de bonne pratique. Étant donné que le trafic lourd est généralement exceptionnel (véhicules d'entretien et d'urgence) sur les pistes cyclables séparées, le revêtement et la structure peuvent être soumis à des exigences moins strictes. Un bon contrebutage est par contre toujours nécessaire.

3.4.1 Pavés et dalles de béton

3.4.1.1 Description et recommandations générales

Types de pavés et de dalles de béton

Les pavés et les dalles de béton offrent une large palette de couleurs, textures et formats adaptés à la construction de voies cyclables.



Continuité de la piste cyclable séparée en pavés de béton au droit d'une traversée de rue latérale

Ces différentes options permettent de distinguer la voie cyclable des zones de circulation adjacentes destinées aux autres usagers de la route. La différenciation de couleur (complétée le cas échéant par des marquages en pavés blancs) permet de guider les différents usagers à travers le trafic et d'améliorer ainsi la sécurité, tout en conservant le même matériau pour l'ensemble du revêtement.

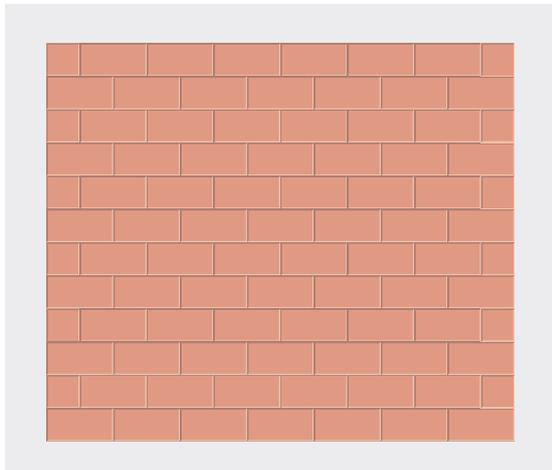


Traversé en pavés de béton rouges avec marquages en pavés blancs

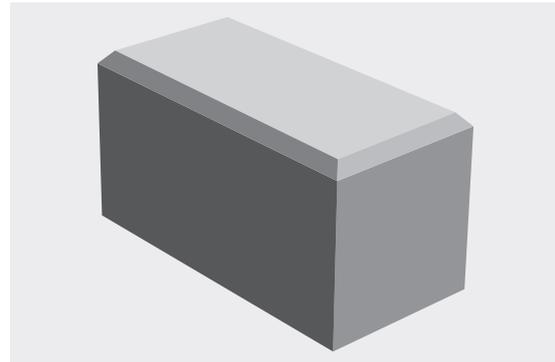


Piste cyclable séparée bi-directionnelle en dalles de béton

Les pavages bien conçus (joints étroits, légers biseautages, dimensions et appareillages adaptés) offrent aux cyclistes un bon confort de roulement. Une étude réalisée avec un vélo équipé d'un appareil de mesure des vibrations² a démontré que les pavés de béton de grand format agencés suivant l'appareillage à joints alternés offrent un bon confort de roulement. Des joints ne dépassant pas 2 mm de large ne nuisent en rien au confort du cycliste. Sur des pavés avec chanfreins (biseaux en projection horizontale de moins de 2 mm), le cycliste n'éprouve aucune gêne quand il y a des petites différences de niveau entre les pavés.



Appareillage à joints alternés



Pavé de béton avec chanfreins

Structure du revêtement

Le revêtement se compose d'une fondation, d'une couche de pose sur laquelle viennent les pavés ou les dalles de béton, d'un matériau de remplissage des joints et d'un contrebutage. Ce dernier est indispensable pour empêcher les mouvements latéraux des pavés ou des dalles.

Lors du choix de la structure, il faut prendre en compte la charge de trafic attendue.

Pour les pavés de béton, on distingue quatre catégories en fonction du trafic (voir tableau 1). Les pistes cyclables séparées appartiennent à la catégorie IV, les pistes cyclables marquées et les bandes cyclables suggérées appartiennent à la même catégorie que la chaussée.

Tableau 1 – Catégories en fonction du type de trafic

Catégorie	Type de trafic			« Bouwklasse » (structure standard) selon CCT flamand
	Piétons, cyclistes et 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	Néant	BF

2. Voir 3.1 Recommandations générales pour tous les matériaux de revêtement

Tableau 2 – Structures standard recommandées en fonction de la catégorie de trafic

Catégorie		I	II	III	IV
Épaisseur des pavés		10 cm ou 12 cm	8 cm ou 10 cm	8 cm ou 10 cm	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
	Concassé	–	35 cm	25 cm	15 cm

À chaque catégorie de trafic correspondent des structures standard recommandées. La durée de vie théorique des structures standard proposées est de vingt ans.

Les dalles de béton sont disponibles dans des épaisseurs allant de 3 à 8 cm. De par leur rapport surface/épaisseur élevé, les dalles ne conviennent que pour la plus faible catégorie et ne sont pas utilisées en zone circulaire par des véhicules. Leur utilisation est donc strictement réservée aux zones piétonnières et/ou cyclables.

Les dalles peuvent être posées sur une couche de pose de sable, de sable-ciment ou de mortier de 3 cm d'épaisseur. Aux endroits où peut passer un trafic occasionnel (les accès par exemple), la fondation est adaptée en conséquence.

Il est recommandé d'utiliser des dalles de 20x20 cm, pour éviter des glissements, des détachements ou autres dégradations lors du passage d'un trafic occasionnel (véhicules d'entretien, etc.).

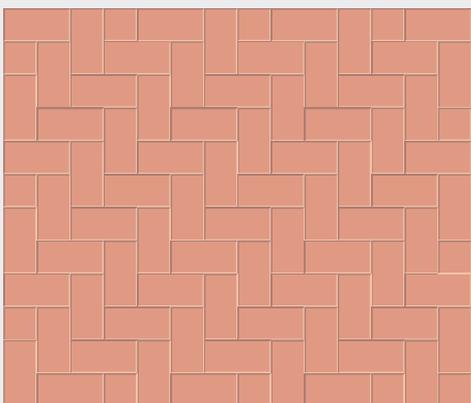
3.4.1.2 Exigences et recommandations spécifiques pour les aménagements cyclables

3.4.1.2.a Adhérence

L'adhérence de la surface dépend du traitement superficiel choisi. Les pavés et les dalles de béton présentent généralement une bonne adhérence.

3.4.1.2.b Planéité de surface

La planéité de la surface détermine en grande partie le sentiment de confort du cycliste. Dans le cas des revêtements en pavés ou en dalles de béton, celle-ci dépend d'un certain nombre de paramètres comme les dimensions, l'appareillage, le chanfrein et la largeur des joints. Une étude réalisée au CRR avec le vélo de mesure a démontré que les meilleurs résultats étaient obtenus avec des pavés plus longs (22x11 cm; 20x30 cm), à petits chanfreins (2 mm au maximum) et avec des joints étroits (2 mm). Un appareillage en épi ou à joints alternés semble être un choix judicieux pour les pistes cyclables marquées et les bandes cyclables suggérées.



Appareillage en épi

Avec les dalles de béton, il est préférable d'appliquer l'appareillage à joints alternés dans le sens transversal, pour éviter les désagréments des joints longitudinaux.

3.4.1.2.c Évacuation des eaux

L'évacuation des eaux est primordiale pour les revêtements modulaires, plus encore que pour les autres types de revêtement. Si une quantité d'eau trop importante s'accumule dans la couche de pose, les particules entrent en suspension dans l'eau occluse. Le trafic génère un phénomène de pompage. Des particules de sable sont emportées par l'eau et s'échappent par les joints. Le lit de pose est recompressé sous l'effet des vibrations du trafic, ce qui provoque localement des affaissements.

L'évacuation des eaux se fait de préférence en appliquant une pente transversale de 2 %. Dans le cas de fondations non liées, l'eau infiltrée dans la structure peut être évacuée par le sol. Dans le cas de fondations liées au ciment (à l'exception du béton maigre drainant), des dispositifs de drainage latéraux doivent être mis en place.

3.4.1.2.d Absence d'obstacles

Les pistes cyclables en pavés ou en dalles de béton sont très sensibles aux racines d'arbres.

Les pavés ou les dalles de béton ont l'avantage de pouvoir prendre facilement des formes assez complexes, permettant ainsi l'insertion d'éléments étrangers, tels que les plaques



Les dallages sont très sensibles aux racines d'arbres

d'égout, etc. Toutefois, il importe de ne pas utiliser d'éléments de trop petites dimensions (pour les pavés, aucun élément de taille inférieure à un demi-pavé) vu le risque de déchaussement.

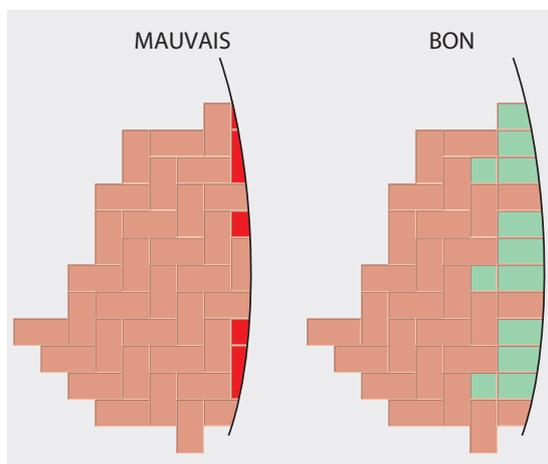


Figure 1 – Pas d'éléments d'une taille inférieure à un demi-pavé autour des obstacles fixes

3.4.1.2.e Lisibilité – Visibilité

Comme nous l'avons déjà dit, les variantes de couleurs et d'appareillages contribuent à la lisibilité et à la visibilité de la zone de circulation. Les pavés et les dalles de béton peuvent être colorés durablement dans la couche d'usure (8 mm supérieurs) ou dans la masse. L'ajout de

granulats colorés, éventuellement combinés avec un dénudage de la surface, améliorera la durabilité de la coloration. Les possibilités d'appareillages sont toutefois plus limitées pour les dalles de béton.



Traversée de terre-plein central à niveau avec revêtement en dalles rouges

3.4.1.2.f Propreté

Les mauvaises herbes s'installeront plus facilement dans les joints de pavages et de dallages en béton que dans des revêtements monolithiques. Les moyens d'y remédier sont abordés au point 3.4.2.2.k.

3.4.1.2.g Durabilité

La durée de vie des revêtements en pavés de béton en voirie est généralement considérée comme égale à vingt ans, à condition qu'ils soient correctement conçus, exécutés et entretenus.

Tant pour les pavages que pour les dallages, les points suivants sont d'une importance cruciale pour pouvoir garantir la durabilité du revêtement :

- une conception correcte de la structure (voir *figure 2*);
- un bon contrebutage (des deux côtés pour les pistes cyclables séparées), pour éviter que les éléments ne bougent;

- le garnissage des joints, dès l'ouverture de la route au trafic, pour empêcher que les pavés ne bougent et que l'eau ne s'infilte dans la structure;
- l'utilisation de matériaux adaptés et de bonne qualité, dans les quantités qui conviennent. La couche de pose ne peut pas contenir trop de particules fines, afin de contrer le phénomène d'expulsion sous l'effet du trafic lourd;
- une bonne résistance aux sels de déverglaçage.

3.4.1.2.h Qualité de l'espace et restrictions

La vaste gamme de textures, couleurs, formats et appareillages permet une bonne intégration des aménagements cyclables en pavés et en dalles de béton dans de nombreux environnements. Ainsi, ils constituent par exemple une alternative acceptable (et plus plane) aux pavés de pierre naturelle pour les sites historiques.



La vaste gamme de pavés en béton permet une bonne intégration dans de nombreux environnements

Comme nous l'avons déjà dit, ils offrent une bonne accessibilité aux câbles et aux canalisations, car ils sont faciles à enlever et à remettre en place en petite quantité. Tout comme dans le cas de revêtements neufs, la fondation, la couche de pose et les éléments en béton doivent être compactés selon les règles de bonne pratique.

3.4.1.2.i Aspects environnementaux et de santé publique

Les pavés et les dalles de béton sont écologiques par essence. Ils présentent une longue durée de vie et peuvent être réutilisés après

avoir été démontés ou être recyclés en tant que granulats de débris de béton.

3.4.1.2.j Exigences et restrictions liées à l'exécution

Une mise en œuvre correcte est le point de départ d'une longue durée de vie. Les règles suivantes de bonne pratique doivent pour cela être suivies :

- une exécution soignée de la structure selon la conception et les règles de bonne pratique ;
- un bon contrebutage afin d'éviter le déplacement des éléments. Le contrebutage est constitué de bordures (et éventuellement d'un caniveau ou d'un filet d'eau) qui sont fixées dans la fondation à l'aide d'un support en béton maigre, afin de prévenir le mouvement des éléments (voir 5, 6 et 7 de la figure 2) ;
- un bon compactage des éléments, en même temps que de la couche de pose et du garnissage des joints ;
- des joints toujours bien garnis afin que le revêtement puisse fonctionner comme un tout.

3.4.1.2.k Exigences et restrictions liées à l'entretien

Pour garantir une bonne durabilité, les joints doivent être remplis en permanence. Ils doivent également être inspectés régulièrement et être rechargés aussi souvent que nécessaire de matériau approprié.

Des joints bien remplis permettent également de lutter contre l'apparition de mauvaises herbes, tout comme une utilisation intensive des aménagements cyclables. Enfin, certaines techniques d'entretien telles que le brossage, le brûlage, le nettoyage à la vapeur, etc. peuvent être appliquées pour empêcher les mauvaises herbes d'envahir la piste cyclable. Pour la commodité d'accès, on peut utiliser un petit tracteur à cet effet.

Les pavés et les dalles de béton résistent bien aux agents chimiques (tels que les hydrocarbures). Selon la porosité et la texture superficielle, les éléments sont plus ou moins sensibles à l'apparition de mousse ou d'algues et la saleté adhèrera plus ou moins facilement à la surface. Un traitement préventif peut éventuellement être appliqué pour lutter contre ces phénomènes et faciliter l'entretien.

3.4.1.2.l Coûts

Les bandes de contrebutage sont indispensables à la durabilité des pavages et des dallages en béton. Elles représentent un coût important, surtout dans le cas des pistes cyclables séparées qui nécessitent un double contrebutage.

En outre, la pose exige une main-d'œuvre relativement intensive.

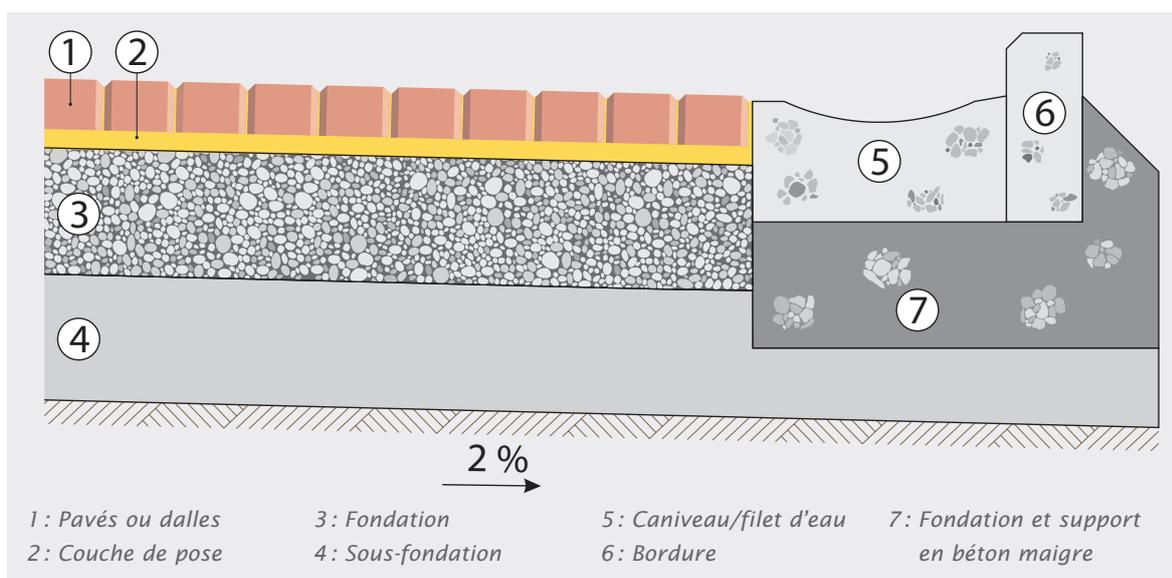


Figure 2 – Exemple de structure

3.4.2 Pavés et dalles de pierre naturelle

Les revêtements en pavés et en dalles de pierre naturelle n'offrent pas un confort de roulement optimal. Le confort des pavés de pierre naturelle est même plutôt mauvais. Dès lors, il n'est pas préconisé d'y avoir recours pour des aménagements cyclables.

3.4.2.1 Description et recommandations générales

Caractéristiques géométriques

Pavés de pierre naturelle

Les pavés de pierre naturelle peuvent être soit neufs, soit de réemploi. Dans les deux cas, les exigences de forme et de dimensions doivent être respectées.

Deux formats de pavés de pierre naturelle sont classiquement utilisés en voirie: les pavés oblongs et les pavés mosaïques.

Les pavés oblongs sont caractérisés par une forme parallélépipédique et les dimensions approximatives suivantes:

- largeur de tête: 15 cm;
- longueur de tête: de 15 à 25 cm;
- hauteur de queue: de 8 à 20 cm.

Leurs dimensions doivent être adaptées au trafic circulant le pavage.

Ils sont posés en ligne, à joints alternés.

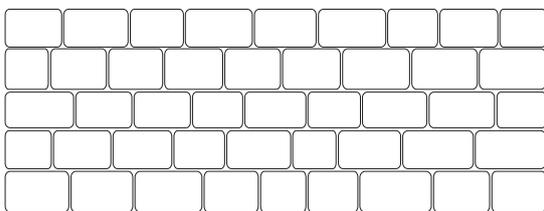


Figure 3 – Appareillage pour les pavés oblongs: en ligne, à joints alternés

Les pavés mosaïques sont caractérisés par une forme plutôt cubique dont le côté varie entre 7 et 13 cm. Les dimensions des pavés doivent

être adaptées au trafic circulant le pavage. Ces pavés sont posés suivant l'un des appareillages mosaïques suivants: en éventail, en coquille ou queue de paon, en écailles, en spires concentriques ou en arcs de cercle.

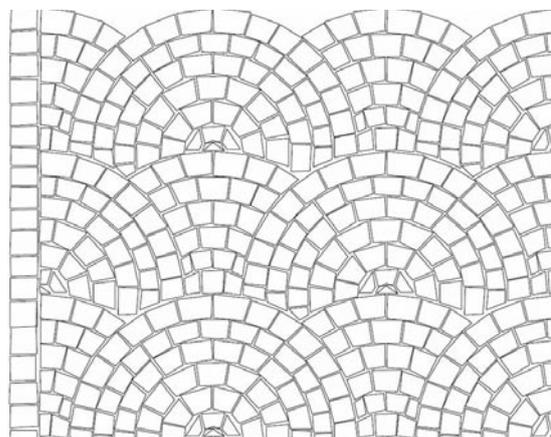


Figure 4a – Appareillage en éventail

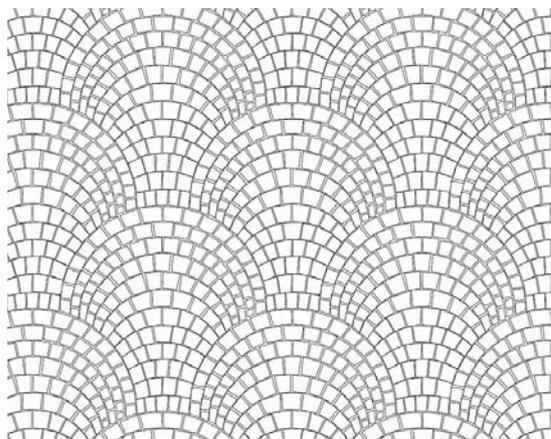


Figure 4b – Appareillage en coquille ou queue de paon

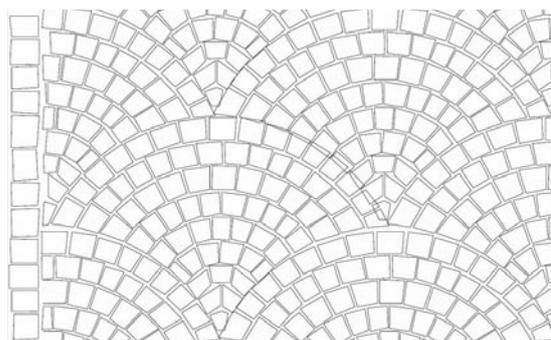


Figure 4c – Appareillage en écailles

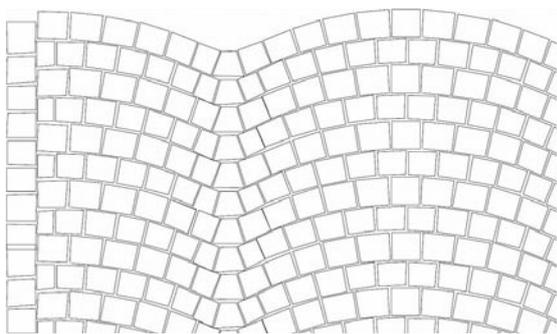


Figure 4d – Appareillage en spires concentriques ou en arcs de cercle

Il existe aussi des pavés sciés. L'utilisation de pavés dont la tête est sciée permettra d'obtenir un meilleur confort de roulement.



Les pavés naturels sciés offrent un meilleur confort de roulement que les pavés classiques

Dalles de pierre naturelle

Le critère qui différencie les dalles des pavés est le rapport longueur/épaisseur :

- pour les dalles : $L/e > 4$;
- pour les pavés : $L/e \leq 4$.

Les dalles peuvent être de forme carrée ou rectangulaire, avec des longueurs pouvant atteindre 1 m.

Nature de la roche

Les pavés et les dalles utilisés en voirie sont généralement en porphyre, en grès ou en granit. Les pierres calcaires ne conviennent pas lorsque le revêtement est circulé par des véhicules automobiles. Elles sont en effet trop tendres et présentent donc l'inconvénient d'une

usure rapide sous les effets du trafic. Même un traitement de surface visant à augmenter la rugosité n'a qu'un effet temporaire et ne peut empêcher l'usure rapide des pavés, qui deviennent alors glissants.

Le type de roche choisi (porphyre, grès, granit) n'influe pas sur le type de pose. Le choix sera principalement d'ordre esthétique (teinte de la roche) ou aura pour but d'améliorer la visibilité de l'aménagement cyclable.

Structure du revêtement

Les revêtements en pavés ou en dalles de pierre naturelle se composent d'une (sous-) fondation, d'une couche de pose dans laquelle sont nichés les éléments et d'un matériau de jointoiment. Le pavage doit être contrebuté de manière à ce que les éléments ne puissent pas bouger latéralement.

Les pavés de pierre naturelle peuvent être utilisés pour des routes où passent au maximum 5 000 véhicules par jour (1 poids lourd équivaut à 100 véhicules) et où la vitesse maximale autorisée est de 50 km/h. Pour un nombre plus élevé de véhicules, ou une vitesse maximale plus importante, il faudra recourir à un autre type de revêtement.

Du fait de leur rapport longueur/épaisseur > 4 , les dalles ne sont généralement pas utilisées en voirie et leur application est limitée aux zones piétonnes et/ou aménagements cyclables.

En ce qui concerne la structure, il convient de toujours suivre un concept cohérent. Il existe deux options :

- structure souple et perméable ;
- structure rigide et étanche.

La cohérence entre la couche de pose et le type de joints doit toujours être respectée.

Si les joints sont du type rigide (matériau lié hydrauliquement et donc, normalement, imperméable), il est primordial que la couche de pose le soit également (sable stabilisé ou mortier), afin d'éviter que les joints ne se fissurent suite aux légers tassements subis par les couches non liées sous-jacentes.

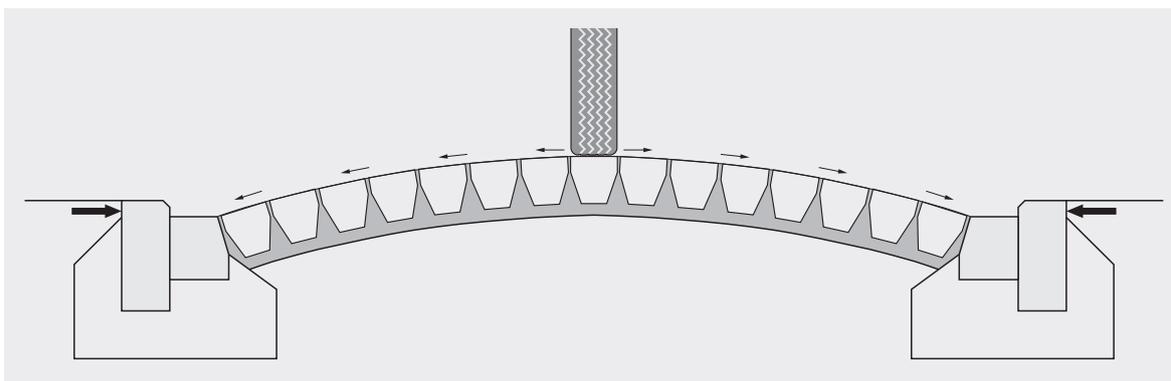


Figure 5 – Structure rigide et étanche

Inversement, si les joints sont perméables (joints au sable par exemple), il est primordial que les couches sous-jacentes soient égale-

ment perméables afin de permettre l'évacuation des eaux hors de la structure.

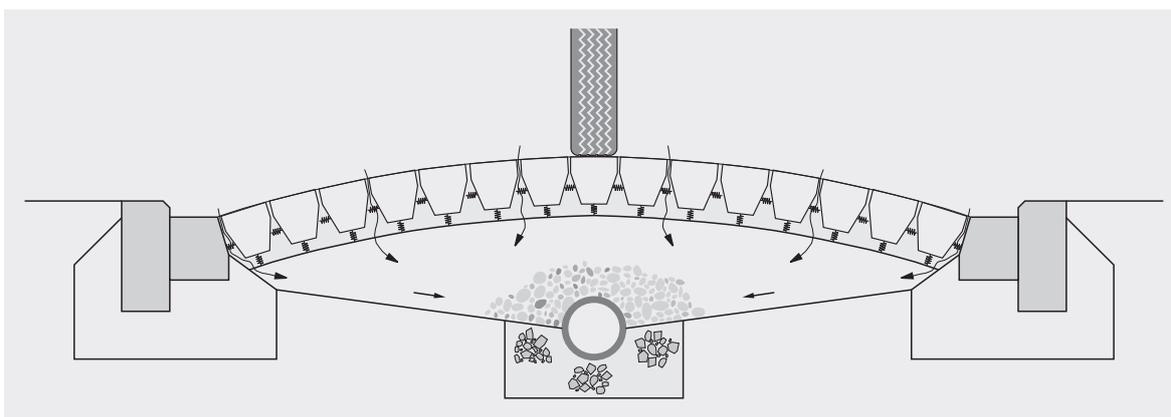


Figure 6 – Structure souple et perméable

Tableau 3 – Cohérence dans le choix du matériau pour la couche de pose et le remplissage des joints

Couche de pose	Matériau de remplissage des joints
Sable	Sable Mortier bitumineux
Sable stabilisé au ciment	Sable stabilisé au ciment Mortier de ciment Mortier bitumineux
Mortier	Mortier de ciment

L'épaisseur de la couche de pose doit être limitée et aussi constante que possible.

Les joints, inévitables dans les revêtements de pavés ou de dalles, constituent autant de discontinuités dans le revêtement, ce qui peut nuire au confort de roulement.

La largeur des joints dépend du matériau utilisé pour le remplissage des joints. Elle est de :

- 10 à 15 mm pour les pavés ;
- 5 à 15 mm pour les dalles.

Entretien du revêtement

L'entretien d'un pavage ou d'un dallage en pierre naturelle consiste à :

- inspecter régulièrement l'état des joints : les recharger si nécessaire (matériau non lié – joints au sable par exemple) ou procéder à des réparations ponctuelles (joints liés hydrauliquement) ;
- réparer les éventuels affaissements localisés ;
- lutter contre les mauvaises herbes éventuelles pouvant se développer dans les joints.

3.4.2.2 Exigences et recommandations spécifiques pour aménagements cyclables

3.4.2.2.a Adhérence

Les pavés et les dalles de pierre naturelle sont, comparativement à d'autres types de revêtements routiers, considérés comme glissants.

La rugosité de la surface du revêtement dépend de la face supérieure (irrégulière ou sciée pour les pavés, lisse, bouchardée, striée ou autre pour les dalles) ainsi que du nombre et de la largeur des joints. Des dalles ou des pavés sciés et des joints étroits amélioreront le confort de roulement mais rendront l'aménagement cyclable plus glissant.

3.4.2.2.b Planéité de surface

L'uni du pavage ou du dallage déterminera en grande partie le sentiment de confort du cycliste, qui sera influencé par un certain nombre de paramètres comme la taille des pavés ou des dalles, l'appareillage et la largeur des joints.

3.4.2.2.c Évacuation des eaux

Tout comme pour les autres revêtements modulaires, l'évacuation des eaux est primordiale pour les revêtements en pavés et en dalles de pierre naturelle. Si l'eau reste prisonnière de la couche de pose ou de la fondation, de fines particules de sable peuvent, par le phénomène de pompage, être chassées, entraînant l'affaissement local des éléments.

L'évacuation des eaux se fait de préférence en appliquant une pente transversale de 2 %. Pour des fondations non liées hydrauliquement, l'eau s'infiltrant dans la structure pourra être acheminée vers le bas. Si des fondations liées au ciment sont utilisées, des mesures supplémentaires peuvent être prises à hauteur du contrebutage pour évacuer l'eau des fondations, à moins qu'on ait utilisé du béton maigre drainant.

3.4.2.2.d Absence d'obstacles

Les aménagements cyclables en pavés ou en dalles de pierre naturelle sont très sensibles aux racines d'arbres.

En outre, les chambres de visite, regards, etc. sont difficilement intégrables à l'appareillage.

3.4.2.2.e Lisibilité – Visibilité

Les pavés et les dalles de pierre naturelle permettent de jouer avec la teinte de la pierre et, dans une certaine mesure, avec l'appareillage pour obtenir une bonne lisibilité du tracé et une bonne visibilité de l'aménagement cyclable.

3.4.2.2.f Propreté

Les dalles de pierre naturelle résistent bien aux agents agressifs et aux hydrocarbures. La pierre calcaire est sensible aux produits acides. Selon la porosité de la roche choisie, elles peuvent être plus ou moins sensibles aux salissures (huile ou autres).

Les mauvaises herbes ont tendance à se nicher plus rapidement dans les joints remplis de matériau non lié ou perméable. Les remèdes pour lutter contre les mauvaises herbes sont les mêmes que ceux utilisés pour les pavés de béton (voir 3.4.1).

3.4.2.2.g Durabilité

Les revêtements en pavés ou en dalles de pierre naturelle sont durables s'ils sont correctement conçus, exécutés et entretenus. Les points suivants sont d'une importance cruciale pour pouvoir garantir la durabilité :

- une structure correcte ;
- un bon confinement des pavés ou des dalles au moyen d'un contrebutage adapté au trafic ;
- le garnissage des joints, dès l'ouverture de la route au trafic. D'une part, les conséquences sur la stabilité des pavés ou des dalles sont non négligeables et, d'autre part, cela évitera l'infiltration massive d'eau dès le départ dans la structure ;
- la qualité des matériaux, surtout pour la couche de pose.

3.4.2.2.h Qualité de l'espace et restrictions

Si, pour des raisons de couleur et d'aspect traditionnel (dans les centres villes historiques par exemple), on souhaite garder des pavés ou des dalles de pierre naturelle, il est recommandé d'utiliser de préférence des dalles ou des pavés sciés et des pavés plus petits. Les pavés sciés peuvent également être utilisés pour les bandes confort.

Si l'on n'a pas utilisé de mortier pour la couche de pose ou pour remplir les joints, les pavés ou les dalles peuvent facilement être posés et reposés (même partiellement). Tout comme pour les nouveaux revêtements, la couche de pose et les éléments doivent être compactés selon les règles de bonne pratique.

3.4.2.2.i Aspects environnementaux et de santé publique

La durée de vie des pavés et des dalles de pierre naturelle est en soi très élevée, ce qui explique leur réemploi massif dans les projets routiers.

3.4.2.2.j Aspects liés à l'exécution

La mise en œuvre correcte est le point de départ d'une longévité élevée. Quelques points sont à cet effet essentiels :

- un bon contrebutage afin d'éviter le déplacement horizontal des éléments ;

- des joints bien garnis afin que le revêtement puisse fonctionner comme un tout.

3.4.2.2.k Aspects liés à l'entretien

Le matériau de jointolement choisi doit résister à l'aspiration lors de nettoyages avec des balayeuses de voiries.

Comme nous l'avons déjà mentionné, les joints doivent être inspectés régulièrement (deux fois par an). Les joints vides ou endommagés doivent être rechargés avec le matériau adapté ou réparés.

Les affaissements doivent être remis à niveau. L'eau stagnante peut progressivement pénétrer dans la structure à travers des joints vides ou endommagés, et nuire à la stabilité.

3.4.2.2.l Coûts

Une pierre naturelle de bonne qualité est onéreuse. Les pavages ou les dallages en pierre naturelle requièrent une certaine expertise et une main-d'œuvre importante. Le contrebutage est indispensable et explique également le coût élevé.

3.4.3 Pavés en terre cuite

Les pavés en terre cuite sont des pierres de pavage cuites au four à très haute température et constituées de différents types d'argile de qualité supérieure. De par leurs forme et dimensions fort semblables à celles des pavés en béton, la mise en œuvre des pavés en terre cuite est similaire à celle des pavés en béton. Les tolérances dimensionnelles



Pavés en terre cuite

autorisées par la NBN EN 1344 sont toutefois supérieures à celles autorisées pour les pavés de béton. Il en découle une largeur de joints plus importante et plus variable dans le cas de pavés en terre cuite.

3.4.3.1 Description et recommandations générales

Types de pavés en terre cuite

Les pavés en terre cuite sont disponibles dans une multitude de coloris. Le format standard (22x11 cm) permet la mise en œuvre suivant tous les appareillages classiques (pose à joints alternés, à bâtons rompus, en arêtes de poissons, etc.).

Structure du revêtement

La structure et le domaine d'utilisation des revêtements en pavés de terre cuite et des revêtements en pavés de béton sont similaires. Un revêtement en pavés de terre cuite se compose d'une (sous-)fondation, d'une couche de pose sur laquelle sont posés les pavés et d'un matériau de jointoiement (sable, sable-ciment ou mortier). Le pavage doit également être contrebuté de manière à ce que les pavés ne puissent pas bouger latéralement.

Les pavages en terre cuite sont utilisés sur des routes où il passe maximum 5 000 véhicules/jour, avec 1 poids lourd équivalant à 100 véhicules. Ces chiffres sont valables pour une vitesse maximale de 50 km/h.

Les catégories de trafic et les structures types renseignées pour les pavés de béton (voir 3.4.1) restent d'application pour les pavés en terre cuite.

3.4.3.2 Exigences et recommandations spécifiques aux aménagements cyclables

3.4.3.2.a Adhérence

Les pavés en terre cuite ont une surface assez glissante, surtout par temps de pluie et de gel.

3.4.3.2.b Planéité de surface

Les joints étant généralement plus larges et plus variables, la planéité (et donc le confort de roulement) des revêtements en pavés de terre cuite ne convient pas vraiment aux cyclistes.

3.4.3.2.c Évacuation des eaux

Comme pour les autres revêtements modulaires, l'évacuation des eaux est primordiale (notamment, en appliquant une pente transversale de 2 %) pour éviter les dégradations sous l'action de l'eau. L'utilisation de mortier comme matériau de remplissage des joints implique un bon drainage au niveau de la couche de pose.

3.4.3.2.d Absence d'obstacles

Les revêtements en pavés de terre cuite sont sujets aux déformations (par exemple, racines d'arbres traçantes).

3.4.3.2.e Lisibilité – Visibilité

Les couleurs, finitions, formats et appareillages des pavés en terre cuite peuvent contribuer à la lisibilité et la visibilité. Leur composition et leur procédé de production leur confèrent une teinte naturelle, résistante.

3.4.3.2.f Propreté

Les pavés en terre cuite sont presque complètement imperméables et donc moins sensibles à la formation de mousse et résistants à la pollution par les taches d'huile et autres. Si les joints sont garnis de sable, les mauvaises herbes s'y installeront plus facilement que dans un revêtement dense.

3.4.3.2.g Durabilité

Les pavés en terre cuite sont durs et résistants à l'usure. Leur durabilité est élevée et ils peuvent être réutilisés. Ils résistent bien au gel et aux agents chimiques.

La durabilité des revêtements en pavés de terre cuite peut être élevée s'ils sont appliqués sur des routes peu ou pas soumises au trafic automobile, s'ils ont une structure correcte et s'ils sont bien contrebutés. Si le revêtement est soumis au trafic automobile, l'utilisation de joints en sable-ciment est recommandée. Les revêtements en pavés de terre cuite rejointoyés au mortier ne peuvent être rouverts à la circulation que quand le mortier est suffisamment durci et solide (min. 24 heures).

3.4.3.2.h Qualité de l'environnement et restrictions

En raison de leurs propriétés lisses, et de la largeur plus importante et variable des joints, les revêtements en pavés de terre cuite offrent

moins de confort aux cyclistes. Si, grâce à leur teinte naturelle, résistante, ils sont malgré cela utilisés pour des aménagements cyclables (par exemple, pour une intégration esthétique dans un site historique), ils doivent être suffisamment serrés de sorte que les joints ne soient pas trop larges.

À l'instar des autres revêtements modulaires, ils facilitent l'accès aux câbles et conduites puisqu'ils peuvent être retirés et replacés en petites quantités (sauf si les joints sont en mortier). Cette opération doit se faire, tout comme la pose d'un nouveau pavage, dans le respect des règles de bonne pratique.

3.4.3.2.i Aspects environnementaux et de santé publique

Les pavés en terre cuite ne contiennent pas d'éléments nuisibles à l'environnement: ils sont cuits dans un matériau naturel, sans ajout de colorants. Leur production a lieu dans des fours tunnels, solution économique d'un point de vue énergétique. L'utilisation de gaz naturel limite les émissions. Les pavés en terre cuite peuvent être recyclés après avoir été démolis.

3.4.3.2.j Aspects liés à l'exécution

Une mise en œuvre correcte de la structure selon le projet et les règles de bonne pratique constitue le point de départ d'une durabilité élevée.

Si l'on utilise du mortier comme matériau de remplissage des joints, la couche de pose, le mortier et les pavés forment un ensemble monolithique. Pour des surfaces supérieures à 20 m², il faut prévoir des joints de dilatation.

3.4.3.2.k Aspects liés à l'entretien

Les revêtements en pavés de terre cuite sont faciles d'entretien. Si les joints sont garnis de sable, il suffit de les remplir régulièrement et de brosser la surface. Il est déconseillé d'utiliser un nettoyeur haute pression pour éviter que le matériau de remplissage des joints ne soit emporté et aspiré par l'eau, et que les pavés deviennent plus poreux et plus sensibles à la formation de mousse.

Les revêtements en pavés de terre cuite rejoin-
toyés au mortier doivent être traités environ

tous les trois ans avec de l'eau sous haute pression et du potassium.

3.4.3.2.l Coûts

Le coût élevé d'un tel type de revêtement s'explique par le contrebutage indispensable, la méthode de pose à forte utilisation de main-d'œuvre et le savoir-faire requis.

3.5 Matériaux utilisés en zone verte

La Région de Bruxelles-Capitale constitue principalement un milieu urbain. Toutefois, son territoire comporte de nombreux parcs, bois et autres zones vertes souvent reliés entre eux pour former un maillage vert emprunté par de nombreux cyclistes et marcheurs. La *Promenade verte* de quelque 65 km qui ceinture Bruxelles en forme un remarquable exemple.

Ces trajets verts essentiellement récréatifs doivent en outre pouvoir se brancher sur des réseaux cyclables à caractère plus urbain.

La mise en place d'aménagements cyclables dans les zones vertes demande une attention particulière. Le type d'utilisateur majoritaire prévisible est un premier élément important pour le choix de la structure et du revêtement. Les exigences des divers usagers en matière de confort et de sécurité sont parfois contradictoires. Entre deux types de revêtement, les cyclistes seuls ou en famille, les piétons avec poussettes, les personnes âgées ou à mobilité réduite (PMR), ainsi que les patineurs préféreront toujours la surface plus unie et plus lisse. Les usagers de VTT, les randonneurs à pied et les joggers recherchent quant à eux les chemins de terre ou sentiers d'aspect plus naturel.

L'insertion paysagère de la voie et la préservation de la nature sont d'autres aspects à prendre en compte.

Il faut donc pondérer les facteurs d'usage et d'environnement les uns par rapport aux autres.

Les voies vertes ne sont pas des « routes » et doivent être conçues de façon spécifique. Les sollicitations qu'elles subissent sont essentiel-

lement le passage des machines nécessaires à leur construction, éventuellement à leur entretien, à leur gestion et aux servitudes les concernant (par exemple passage d'engins d'exploitation forestière).

La nature du sol support de la plateforme sera testée avant de construire la couche d'assise. Si nécessaire, on réalisera un traitement approprié (couche de sable anticontaminant ou géotextile, traitement à la chaux ou au ciment), on éliminera les racines d'arbre traçantes, etc.

La pérennité de l'aménagement est largement fonction de la qualité de la couche d'assise. De manière générale, le traitement des matériaux présents sur place sera une solution peu onéreuse.

L'utilisation d'un géotextile permet aussi d'augmenter la durée de vie à faible coût: elle entrave l'enracinement des mauvaises herbes et joue une fonction anticontaminante.

La question de la lisibilité de l'espace cyclable se pose avec moins d'acuité dans les zones vertes qu'en situation de partage de la chaussée avec des véhicules automobiles.

Les bordures peuvent jouer un rôle de retenue du revêtement (que ce soit pour la mise en œuvre du béton ou de l'enrobé, ou pour le maintien des matériaux granulaires, stabilisés ou non). Si le projet prévoit des bordures, il faut éviter les bordures en saillie. En effet, elles peuvent être dangereuses en cas de chute ou limiter le passage de véhicules d'entretien. De plus, dans le cas de revêtements non drainants en béton ou en enrobé, il faudra prévoir l'évacuation des eaux.

On distingue deux grandes familles de matériaux :

- revêtements en dur (béton et enrobé);
- matériaux non stabilisés ou stabilisés aux liants hydrauliques.

La première famille a été présentée en détail plus haut (voir 3.2 et 3.3), nous nous limiterons donc ci-après au béton désactivé et à l'enrobé écologique, tous les deux aussi adaptés aux zones vertes.

La seconde famille porte sur des matériaux économiques et de mise en œuvre rapide, mais moins pérennes que les revêtements durs. Ils ont cependant une connotation rurale forte et s'intègrent bien dans l'environnement.

3.5.1 Béton désactivé

Dans les zones vertes, la diversité des aspects possibles en fonction de la couleur des granulats, de leur dimension et des mélanges permet une très bonne intégration paysagère du béton désactivé. Pour étendre les possibilités de coloration, il est également envisageable d'ajouter des pigments.

Le béton désactivé est obtenu par pulvérisation d'un désactivant qui retarde en surface la prise du béton fraîchement coulé. Une fois la surface du béton lavée au jet d'eau à haute pression, les granulats de couleur apparaissent.



Béton désactivé pour les rampes d'accès à la promenade du chemin de fer à Woluwe

Avantages

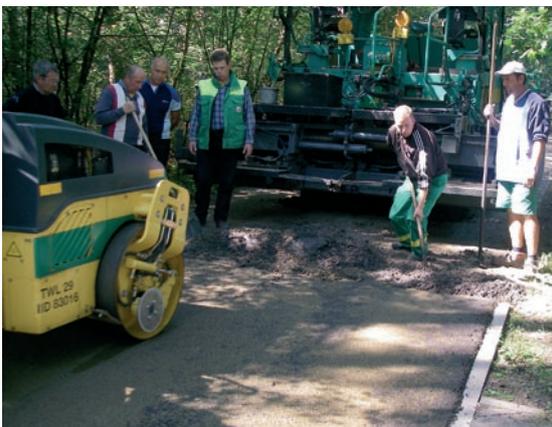
- Très bonne durabilité.
- Très bonne intégration paysagère.
- Bonne adhérence et surface très plane.
- Respectueux de l'environnement en raison de la durée de vie et par le fait qu'il peut être réutilisé comme matériau de fondation ou comme granulats dans du béton neuf.

Inconvénients

- Le coût de mise en œuvre est plus élevé.
- Le revêtement est très rigide et manque d'élasticité pour les joggers.

3.5.2 Enrobé écologique

L'enrobé écologique s'intègre bien dans le milieu naturel. Contrairement à un enrobé classique, lié avec du bitume provenant du raffinage du pétrole, l'enrobé écologique contient un liant exclusivement basé sur des huiles et des résines végétales. Le liant est donc écologique en raison de sa composition et permet en outre de fabriquer l'enrobé à une température sensiblement moins élevée (120 °C) que dans le cas d'un enrobé classique (160 °C). L'enrobé écologique est préparé dans une centrale d'enrobage classique et posé avec du matériel classique. Étant donné que le liant doit durcir, il faut attendre plusieurs jours après le refroidissement de l'enrobé pour autoriser la réouverture-



Mise en œuvre d'enrobé écologique



Texture superficielle de l'enrobé écologique

re au trafic. Le liant est assez incolore et donc pigmentable, ce qui fait que l'enrobé adopte la couleur de l'empierrement et contribue ainsi à donner un bel aspect au revêtement.

Le revers de la médaille est le prix: le nouveau liant écologique est environ sept à huit fois plus cher que le bitume classique. À épaisseur de couche égale, l'enrobé sera 2,5 à 3 fois plus cher qu'un enrobé classique.

Avantages

- Ce matériau est bien adapté aux zones vertes.
- Il est plus écologique que les enrobés bitumineux classiques en raison de sa composition et de la température de fabrication moins élevée.
- Il présente une bonne adhérence et un bon confort de roulement.

Inconvénients

- Malgré son élasticité, de fortes variations climatiques peuvent générer une fissuration de l'enrobé qui peut être à l'origine de chutes (surtout chez les patineurs).
- Son prix est environ 2,5 à 3 fois plus élevé que celui d'un enrobé classique.

3.5.3 Matériaux non stabilisés

Ces matériaux présentent une bonne intégration visuelle dans tout type de site par un choix multiple dans la couleur des granulats.

Ils sont constitués d'un mélange d'eau et d'un ou de plusieurs sables ou de graves. Leur choix est conditionné entre autres par la couleur exigée par le projet à réaliser.

L'épaisseur de mise en œuvre est fonction de la qualité du sol support et du trafic supporté par la voie. Pour les graves, une épaisseur de mise en œuvre de 10 cm au moins est recommandée, afin d'en faciliter la pose. Pour le sable, une épaisseur de mise en œuvre de 4 cm au moins est recommandée.

Pour conserver les propriétés mécaniques des matériaux granulaires, ceux-ci ne peuvent s'effriter au risque de former des fines. La qualité de ces matériaux (roche dure) est donc importante.

L'humidification de ces matériaux se fait soit in situ soit en centrale. La mise en œuvre est généralement mécanique et le compactage est réalisé avec un rouleau à jante lisse vibrant à faible amplitude de vibration et (ou) avec un rouleau à pneus. Pour obtenir un état de surface correct, la finition sera effectuée par le rouleau à jante lisse. Ces matériaux étant très sensibles aux variations de leur dosage en eau, les chantiers devront être réalisés hors intempéries.

Les matériaux non stabilisés requièrent un entretien régulier par sablage et recompactage, surtout après des périodes de gel/dégel. Selon la fréquence de passage d'engins motorisés, il est nécessaire de passer une lame de réglage tous les 3 à 5 ans environ. Les réparations d'ornières ou de sillons sont faciles à réaliser par apport et compactage de matériau neuf.

Le nettoyage de ces matériaux se fait par un balayage léger, les salissures n'adhérant en général pas à ceux-ci. La couleur est stable. Les roches douces sont plus poreuses, ce qui peut entraîner le développement de végétation. La mise en place d'un géotextile permet de lutter contre l'installation de la végétation. Les semences de mauvaises herbes germeront par temps humide lorsqu'elles tomberont sur un revêtement en gravillons, surtout s'il s'agit de pierres calcaires.



Chemin en dolomie. Ce matériau n'est pas recommandé pour les aménagements cyclables

Avantages

- Le prix de revient de ces matériaux est peu élevé.
- La mise en œuvre est rapide.
- Ces matériaux présentent une bonne intégration visuelle dans tout type de site par un choix multiple dans la couleur des granulats.
- Ils présentent de bonnes caractéristiques d'adhérence.
- Ces matériaux sont drainants pour autant que la teneur en fines ne soit pas trop importante, auquel cas le matériau peut être pratiquement imperméable. Pour que la structure soit drainante, l'assise et le sol doivent également être perméables.
- Les mélanges naturels ont l'avantage d'offrir un impact plus faible sur le plan environnemental que les bétons et enrobés.

Inconvénients

- Leur qualité de roulement est inadaptée aux patineurs, aux personnes à mobilité réduite et aux cyclo-routiers.
- Les revêtements non stabilisés génèrent de la poussière par temps sec et deviennent boueux par temps de pluie.
- Ils sont très sensibles à l'agressivité du trafic. En outre, ils supportent mal le trafic lourd, même occasionnel. Les revêtements en dolomie non traitée ne peuvent être utilisés que pour des chemins de promenade (parcs et zones vertes).
- Ils sont également sensibles aux eaux de ruissellement (il faut éviter les pentes supérieures à 2 %) et les cycles de gel/dégel peuvent entraîner des dégradations, surtout en surface. Un entretien régulier permet de pallier cet inconvénient.
- Ces matériaux ne constituent pas une solution adaptée dans les milieux humides ou difficilement drainables.

3.5.4 Matériaux stabilisés aux liants hydrauliques

Ils offrent une solution intermédiaire entre un matériau non stabilisé et un revêtement en dur.

Tout comme les matériaux non stabilisés, les matériaux stabilisés aux liants hydrauliques présentent une bonne intégration visuelle dans tout type de site par un choix multiple dans la couleur des granulats.

Il s'agit de mélanges de sables ou de graves de faible granularité, d'eau, de liant hydraulique et éventuellement d'un retardateur de prise. Une «cohésion» est fournie à moyen terme par la prise hydraulique. Il est nécessaire d'étudier le matériel de mise en œuvre pour obtenir l'uni souhaité sans avoir à effectuer un réglage fin par apport de matériau (risque de feuilletage). Dès la fin du compactage, on protégera le matériau par répandage d'un produit de cure (comparable à celui qui est utilisé sur le béton) de manière à éviter la décohesion provoquée par une dessiccation superficielle. Le choix des granulats, outre les caractéristiques mécaniques souhaitées, sera conditionné par la couleur exigée par le projet à réaliser. Le dosage du liant hydraulique est compris entre 3,5 et 8 %. Il s'agit généralement de ciment. Le liant peut également contenir du laitier de hauts-fourneaux, des cendres volantes silico-alumineuses, des cendres volantes hydrauliques, de la chaux aérienne et d'autres pouzzolanes.

Si ce matériau est mis en œuvre en épaisseur assez forte (jusqu'à 40 cm), il peut jouer le rôle d'assise et de couche de roulement. Sinon, il faut une fondation en graves. En fonction de l'usage auquel on le destine, un matériau stabilisé aux liants hydrauliques se met en œuvre en couches de 6 à 15 cm d'épaisseur.

La durabilité des matériaux stabilisés aux liants hydrauliques dépend du dosage en liant. Selon ce dosage, ces matériaux sont plus ou moins sensibles à l'agressivité du trafic et des eaux de ruissellement.

Les matériaux stabilisés aux liants hydrauliques sont généralement mélangés en centrale, mais un mélange sur site est également envisageable pour de petites surfaces. Ils sont mis en œuvre manuellement et compactés au cylindre vibrant. Un arrosage est nécessaire afin de favoriser la prise du liant. Un délai pour éviter des dégradations de surface sera respecté avant toute ouverture à la circulation. Ces matériaux étant très sensibles aux variations de leur dosage en eau, les chantiers devront être réalisés hors intempéries.

Les matériaux traités aux liants hydrauliques nécessitent un entretien annuel. Les réparations d'ornières ou de sillons sont réalisables en décaissant et en purgeant la zone dégradée.

L'aspect de surface sera respecté si l'on dispose des mêmes matériaux.

Le nettoyage de ces matériaux se fait par un balayage léger, les salissures n'adhérant en général pas à ceux-ci. La couleur est stable. La mise en place d'un géotextile permet de lutter contre l'installation de la végétation.

À l'heure actuelle, de nouveaux matériaux apparaissent (voir 3.5.5), qui permettent d'obtenir des stabilisés plus stables et moins sensibles aux aléas de la météo. Il semble donc que le stabilisé puisse espérer un retour en grâce, d'autant qu'il a des qualités esthétiques indéniables (aspect «chemin de campagne») dans les zones où les contraintes environnementales rendent inimaginable l'usage des enrobés ou du béton. À noter que les stabilisés sont également utiles dans des zones – comme les forêts par exemple – où les enrobés vieillissent mal pour cause de manque de soleil.

Avantages

- Le prix de revient de ces matériaux est peu élevé.
- La mise en œuvre est rapide.
- Tout comme les matériaux non stabilisés, les matériaux stabilisés aux liants hydrauliques présentent une bonne intégration visuelle dans tout type de site par un choix multiple dans la couleur des granulats.
- Ces matériaux présentent une meilleure résistance aux actions de l'eau (érosion) et du gel que les matériaux non stabilisés. Toutefois, ils y sont également sensibles mais un entretien régulier permet de réparer les dégradations.
- Ils présentent de bonnes caractéristiques d'adhérence.
- Ces matériaux sont drainants pour autant que la teneur en fines ne soit pas trop importante, auquel cas le matériau peut être pratiquement imperméable. Pour que la structure soit drainante, l'assise et le sol doivent également être perméables.

Inconvénients

- Leur qualité de roulement est inadaptée aux patineurs et peu confortable aux personnes à mobilité réduite et aux cyclo-routiers.
- Ces matériaux restent sensibles en surface à l'abrasion par le trafic et au ravinement par les eaux de ruissellement.

- Une légère dégradation du matériau en surface peut provoquer des risques de dérapage (deux-roues en particulier).
- Un entretien annuel est nécessaire.

3.5.5 Matériaux innovants

Matériaux stabilisés aux liants polymères

Il s'agit d'un procédé de stabilisation de matériaux naturels à l'aide d'une émulsion à base de polymères permettant la réalisation de revêtements de voirie légère tout en conservant la couleur et l'aspect naturels du matériau. Le produit concentré est un liquide blanc qui se dilue très facilement dans l'eau. Une fois sec, il n'est pas ré-émulsifiable. Le matériau est fabriqué en centrale de malaxage et acheminé sur le chantier pour être mis en œuvre. À l'issue du compactage, une application de cure par pulvérisation fixe la surface du revêtement. Un sablage après la pulvérisation permet d'obtenir un aspect rustique avec du rejet en surface. L'épaisseur de mise en œuvre est fonction de la qualité du sol support et du trafic supporté par la voie.

La surface de revêtement permet la pratique du patinage.

L'utilisation de composés organiques dans la composition du revêtement permet une excellente intégration environnementale.

Le manque de recul pour cette technique ne permet pas d'évaluer correctement sa résistance dans le temps.

Matériaux stabilisés à l'aide de dalles synthétiques présentant une structure alvéolaire

Des dalles synthétiques présentant une structure alvéolaire sont parfois utilisées pour la stabilisation de gravier, de sable ou de sol. La taille des alvéoles est fonction du calibre des granulats. Ces dalles peuvent être posées sur une fondation en empierrement ou alors sur un sable stabilisé. Dans le cas de la fondation en empierrement, le système présente une très bonne perméabilité. Cette solution a été adoptée sur un site très urbain devant l'ambassade américaine à Bruxelles, autorisant ainsi l'infiltration des eaux pluviales pour les arbres présents sur le site.



Structure drainante avec plaques alvéolaires synthétiques et gravillons devant l'ambassade américaine à Bruxelles

Nouveaux produits

Les industriels développent des liants qui permettent aux matériaux stabilisés, produits écologiquement bien acceptés pour leur aspect naturel, de mieux résister aux intempéries.

On trouve ainsi de nouveaux produits à base de résidus industriels, de ciment de verre recyclé (phares de voiture ou verre de déconstruction), ainsi que des produits à base de cendres (prise pouzzolanique, plus lente que celle du ciment, mais plus pérenne).

De nouveaux revêtements colorés à base de sable mixé avec une résine ont été mis au point. Ils restent cependant coûteux.

Des émulsions (eau + résine) sont également utilisées pour la stabilisation du sol en place en agglomérant les particules entre elles. Les couleurs et aspects naturels sont conservés.

On manque toutefois de recul pour juger de l'évolution future de ces nouveaux produits.

3.6 Tableau de synthèse pour les différents types de revêtement

Revêtement	Adhérence pneu/ revêtement (résistance au glissement)	Planéité	Confort de roulement	Aptitude au marquage routier	Différenciation et/ou intégration visuelles	Accessibilité aux impétrants
Béton	Généralement bonne	Bonne, mais présence de joints. Peu sensible au plumage et aux racines. Joints de retrait pour éviter la fissuration.	Bon	Sans problème	Bonne (textures et couleurs variées).	Faible
Revêtements bitumineux						
Enrobés à chaud	Dépend de la formulation mais en général très satisfaisante.	Planéité optimale car revêtement d'une seule pièce (si pose au finisseur). Bonne résistance aux racines (si épaisseur suffisante du revêtement et de la fondation).	Excellent	Sans problème	Moyenne. Possibilité de l'améliorer par coloration de l'enrobé.	Moyenne
Asphaltes coulés	Satisfaisante	Planéité dépend de celle du support et de l'équipe de mise en œuvre. Risque de fissuration et de cloquage.	Très bon	Sans problème	Bonne. Excellente avec l'emploi aisé d'asphalte coulé coloré.	Faible
Enduits superficiels (technique d'entretien)	Elevée	Planéité dépend de celle du support.	Moyen (gravillons en surface).	Sans problème	Bonne, mais limitée en fonction des granulats.	Dépend du support.
MBCF (technique d'entretien)	Moyenne à élevée	Planéité dépend de celle du support.	Moyen	Sans problème	Bonne	Dépend du support
Revêtements modulaires						
Pavés et dalles de béton	Bonne, mais dépend du traitement superficiel choisi.	Planéité moyenne, (dépend de la mise en œuvre, de l'appareillage et de la largeur des joints). Sensibles aux racines et mauvaises herbes.	Moyen	Difficile à cause des joints. Possibilité de marquage avec pavés.	Bonne (textures et couleurs variées).	Très bonne
Pavés et dalles de pierre naturelle	Considérés comme glissants. Dépend de la face supérieure des pavés, du nombre et de la largeur des joints.	Planéité moyenne (dépend de la taille des pavés, de l'appareillage et de la largeur des joints). Sensibles aux racines et mauvaises herbes.	Mauvais	Difficile à cause des joints. Mauvaise adhérence du marquage au revêtement.	Bonne (teinte de la pierre).	Très bonne
Pavés en terre cuite	Surface assez glissante par temps de pluie et de gel.	Conviennent moins bien aux cyclistes à cause des joints plus larges et plus variables. Sensibles aux racines et mauvaises herbes.	Faible	Difficile à cause des joints.	Bonne (teinte naturelle).	Très bonne

Durabilité	Mise en œuvre	Entretien et réparations	Coûts	Aspects environnementaux
Très bonne	Adapté à la mise en œuvre en petites quantités. Contrebutage non nécessaire.	Peu d'entretien	Coûts d'investissement initiaux plus élevés compensés par longue durée de vie et entretien peu coûteux.	Recyclage des débris de béton comme matériau secondaire en fondation ou pour la production de béton frais. Economies d'éclairage car plus visible la nuit grâce à la couleur plus claire.
En général, bonne. Fragilité des rives quand il n'y a pas de contrebutage.	Faible aptitude à l'emploi en très petites quantités. Pose manuelle non recommandée.	Entretien et réparation sans difficulté (sauf pour le respect de la couleur) et à relativement faibles coûts.	Bon rapport coût/durabilité. Le prix des enrobés colorés est deux fois supérieur à celui d'un enrobé classique.	Recyclage comme matériau secondaire en fondation ou pour la production d'enrobé neuf. Enrobés tièdes en développement.
Longue durée de vie. Fragilité des rives quand il n'y a pas de contrebutage.	Bien adapté à l'emploi en petites quantités. Contrebutage utile, voire nécessaire.	Facile à nettoyer et à réparer (sauf pour le respect de la couleur) et à relativement faibles coûts.	Coûteux	Recyclage comme matériau secondaire en fondation ou pour la production d'enrobé neuf.
Longévité plus faible que les enrobés ou asphaltes coulés, mais il s'agit d'une technique d'entretien.	Nécessite un savoir-faire confirmé. Mise en œuvre manuelle et par mauvais temps proscrite.	Sans difficulté (sauf pour le respect de la couleur).	Peu coûteux	Recyclage non d'application
Longévité plus faible que les enrobés ou asphaltes coulés, mais il s'agit d'une technique d'entretien.	Nécessite un savoir-faire confirmé. Mise en œuvre par mauvais temps proscrite.	Sans difficulté (sauf pour le respect de la couleur).	Bon rapport coût/durabilité.	Recyclage non d'application
Bonne si le revêtement est correctement conçu, exécuté et entretenu.	Contrebutage indispensable. Main-d'œuvre relativement intensive. Facile à démonter et à replacer.	Variables selon la couleur choisie et l'environnement. Remplissage régulier des joints.	Contrebutage représente un coût important, surtout sur les pistes cyclables séparées.	Durables, réutilisables et recyclables comme matériau secondaire.
Bonne si le revêtement est correctement conçu, exécuté et entretenu.	Contrebutage indispensable. Main-d'œuvre spécialisée et relativement intensive. Facile à démonter et à replacer.	Remplissage régulier des joints.	Coût élevé: pierre naturelle de bonne qualité onéreuse et contrebutage requis. Faible rendement de pose.	Durables et réutilisables.
Bonne si le revêtement est correctement conçu, exécuté et entretenu.	Contrebutage indispensable. Main-d'œuvre spécialisée et relativement intensive. Facile à démonter et à replacer.	Remplissage régulier des joints.	Coût élevé: contrebutage requis. Faible rendement de pose.	Durables et réutilisables.

Revêtement	Adhérence pneu/revêtement (résistance au glissement)	Planéité	Confort de roulement	Aptitude au marquage routier	Différenciation et/ou intégration visuelles	Accessibilité aux impétrants
Matériaux utilisés en zone verte						
Béton désactivé	Bonne	Surface plane	Bon	Pas d'application en zone verte.	Bonne intégration en fonction du choix de la couleur des granulats, de leurs dimensions et des mélanges.	Pas d'application en zone verte.
Enrobé écologique	Dépend de la formulation mais en général très satisfaisante.	Planéité optimale car revêtement d'une seule pièce (si pose au finisseur). Bonne résistance aux racines (si épaisseur suffisante du revêtement et de la fondation).	Excellent	Pas d'application en zone verte.	Bonne, car liant incolore pigmentable.	Pas d'application en zone verte.
Matériaux non stabilisés	Bonne sauf par temps de pluie.	Faible	Moyen à faible	Pas d'application en zone verte.	Bonne intégration en fonction du choix des granulats.	Pas d'application en zone verte.
Matériaux stabilisés aux liants hydrauliques	Bonne	Faible	Moyen à faible	Pas d'application en zone verte.	Bonne intégration en fonction du choix des granulats.	Pas d'application en zone verte.

Durabilité	Mise en œuvre	Entretien et réparations	Coûts	Aspects environnementaux
<i>Très bonne</i>	<i>Adapté à la mise en œuvre en petites quantités. Contrebutage non nécessaire. Nécessite une pulvérisation d'un désactivant en surface et un lavage au jet d'eau à haute pression.</i>	<i>Peu d'entretien</i>	<i>Coûts d'investissement initiaux plus élevés compensés par longue durée de vie et entretien peu coûteux.</i>	<i>Recyclage des débris de béton comme matériau secondaire en fondation ou pour la production de béton frais. Economies d'éclairage car plus visible la nuit grâce à la couleur plus claire.</i>
<i>Manque de recul</i>	<i>Faible aptitude à l'emploi en très petites quantités. Pose manuelle non recommandée.</i>	<i>Entretien et réparation sans difficulté (sauf pour le respect de la couleur) et à relativement faibles coûts.</i>	<i>Liant huit fois plus cher que le bitume classique. Couche finie 2,5 à 3 fois plus chère.</i>	<i>Liant végétal et température de fabrication moins élevée que celle d'un enrobé classique.</i>
<i>Faible à moyenne</i>	<i>À réaliser hors intempéries. Aisée sur chemins sinueux.</i>	<i>Requièrent un entretien régulier. Sensibles aux eaux de ruissellement et au gel/dégel.</i>	<i>Coût de mise en œuvre peu élevé.</i>	<i>Impact environnemental plus faible que bétons et enrobés.</i>
<i>Moyenne, plus importante que celles des matériaux non stabilisés.</i>	<i>À réaliser hors intempéries.</i>	<i>Requièrent un entretien régulier mais sont plus résistants que les matériaux non stabilisés.</i>	<i>Coût faible, mais plus élevé que celui des matériaux non stabilisés.</i>	<i>Impact environnemental plus faible que bétons et enrobés.</i>



Appareillage	Manière dont les pavés ou dalles sont posés les uns par rapport aux autres.
Béton maigre	Béton à faible teneur en ciment et donc de résistance mécanique restreinte.
Calibre maximum	Dimension nominale maximale des granulats.
Classe granulaire	Désignation des granulats en termes de dimensions (en mm) des mailles d'un tamis inférieur (d) et supérieur (D).
Cloquage	Soulèvement (souvent de forme hémisphérique) d'une partie étanche du revêtement (p. ex. asphalte coulé ou feuille d'étanchéité) et des parties qui la surmontent. Ce soulèvement peut atteindre plusieurs centimètres et son diamètre varie généralement entre 10 et 50 cm.
Coefficient de polissage accéléré (CPA)	Coefficient qui caractérise la résistance au polissage d'un gros granulat pour couches de roulement sous l'effet du trafic.
Coffrage	Moule dans lequel le béton frais est mis en œuvre. On distingue les coffrages fixes (mise en œuvre manuelle) et les coffrages glissants (mise en œuvre à la machine).
Compacité	Densité = masse par unité de volume. Aussi: masse volumique.
Contrebutage	Dispositif situé sur le bord du revêtement en surface de la chaussée et servant à contenir le revêtement (bande de contrebutage), à protéger et à renforcer le bord du revêtement (bordure de trottoir) ou à collecter et évacuer l'eau du revêtement (filet d'eau).
Couche anticontaminante	Couche de matériaux destinée à empêcher la remontée d'eau ou de fines provenant d'une couche inférieure.
Couche d'accrochage	Enduit bitumineux destiné à assurer un collage entre deux couches d'enrobés superposées.
Couche de liaison	Couche d'enrobé située entre la fondation et la couche de roulement. La structure comporte une ou plusieurs couches de liaison.
Couche de roulement	Couche supérieure du revêtement en contact direct avec le trafic.
Cylindrage	Compactage d'un matériau à l'aide de cylindres ou rouleaux (lisses ou à pneus).
Durabilité d'une couche	La durabilité d'une couche, intégrée dans une structure correctement dimensionnée et entretenue, est le nombre d'années entre la pose et le remplacement de cette couche pour cause de dégradations. On distingue: <ul style="list-style-type: none"> ▪ durabilité faible: inférieure à 10 ans; ▪ durabilité moyenne: entre 10 et 20 ans; ▪ durabilité élevée: supérieure à 20 ans.

Essai de chargement à la plaque	Essai réalisé sur chantier afin de déterminer la portance d'un sol support, d'une plateforme ou d'une chaussée. Il consiste à charger une plaque circulaire disposée sur le support et à mesurer son déplacement vertical sous la charge appliquée.
Facteur eau-ciment (E/C)	Rapport de la quantité en masse d'eau au ciment dans le béton frais.
Fatigue	Détérioration des caractéristiques d'un matériau suite à de multiples chargements répétés.
Feuilletage	Rupture de l'adhérence entre deux couches de chaussée.
Filler	Granulat fin, dans un mélange lié, composé principalement de particules < 63 µm, qui est ajouté pour conférer certaines caractéristiques à un produit.
Fines	Classe granulaire passant à un tamis normalisé de 0,06 à 0,08 mm, selon le pays (p. ex. 0,063 mm en normalisation européenne).
Finisseur	Machine servant à l'épandage et au précompactage d'une couche d'enrobé bitumineux.
Fraisage	Désagrégation et enlèvement de matériaux de surface sur une épaisseur déterminée, par action d'un tambour rotatif équipé de dents, de pics ou de couteaux. Le fraisage peut s'effectuer après chauffage ou non du matériau.
Gâchée	Quantité de matériau mélangée en une fois dans un malaxeur (de centrale d'enrobage ou à béton).
Géotextile	Matériau naturel ou synthétique tissé ou non tissé utilisé dans les structures de terrassements et de routes.
Goujon	Barre en acier qui est posée à hauteur des joints dans le béton et qui a pour fonction première de transférer les forces transversales verticales afin de limiter le glissement des éléments.
Granularité	Répartition dimensionnelle des grains d'un matériau granulaire.
Granulat	Matériau granulaire utilisé dans les couches de la structure.
Granulat de débris bitumineux ou de béton	Granulat artificiel (granulat inerte et stable composé de plusieurs matériaux différents) provenant de la démolition (sélective) des revêtements en enrobé bitumineux ou de béton.
Granulométrie continue d'un enrobé	La granulométrie est continue si la courbe granulométrique ne présente pas de variation brusque.
Granulométrie discontinue d'un enrobé	La granulométrie est discontinue si la courbe granulométrique présente une ou deux variations brusques.
Grave	Mélange reconstitué ou naturel de granulats de différentes classes granulaires.
Inlay	Couche(s) de revêtement posée(s) en remplacement d'une (de) couche(s) existante(s), en général par bande de circulation, en conservant les niveaux préalables.

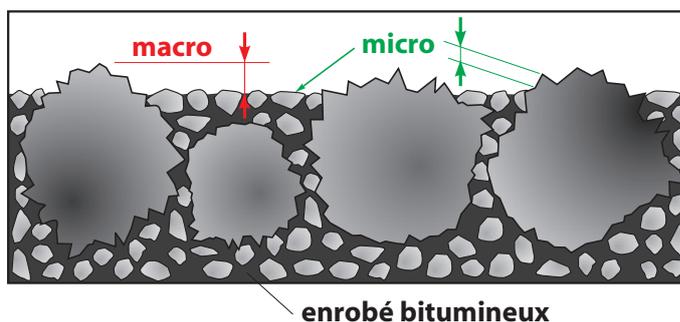
Joint de construction	Joint entre deux parties d'un même revêtement qui n'ont pas été mises en œuvre en même temps.
Macrotecture	Elle est formée par les pierres qui dépassent du revêtement (texture positive) ou le creux entre les pierres sous le plan de la surface (texture négative). Les irrégularités (excroissances et creux qui en résultent) par rapport au plan de la surface de la couche, ont des dimensions horizontales comprises entre 0,5 et 50 mm. On distingue : <ul style="list-style-type: none"> ▪ forte macrotecture: si MTD \geq 0,5 mm, ce qui correspond à un calibre maximal \geq 10 mm; ▪ fine macrotecture: si MTD $<$ 0,5 mm, ce qui correspond à un calibre maximal $<$ 10 mm.
Maniabilité (ouvrabilité)	Aptitude d'un mélange à être mis en œuvre.
Mégatecture	Irrégularités (excroissances et creux) par rapport au plan de la surface de la couche, dont les dimensions horizontales sont comprises entre 50 et 500 mm. Ces irrégularités proviennent soit d'une macrotecture hétérogène, soit de dégradations (nids de poule), soit d'un défaut de mise en œuvre (vagues, etc.).
Microtecture	Irrégularités (excroissances et creux) par rapport à la surface du granulat, dont les dimensions sont inférieures à 0,5 mm. Ces irrégularités caractérisent généralement les granulats eux-mêmes et sont déterminées par leur origine et le processus de fabrication.
Module de compression	Le module de compression indique la compressibilité ou la portance du sol, de la surface du sol ou du revêtement et peut être mesuré à l'aide de l'essai de chargement à la plaque.
Nid de poule	Type de dégradation qui correspond à une cavité de forme arrondie et de taille variable dans le revêtement.
Orniérage	Déformation permanente longitudinale créée par le passage des véhicules.
Overlay	Couche(s) de revêtement posée(s) en surépaisseur sur le revêtement existant.
Plumage	Etat de la surface après arrachement du granulat.
Règle de 3 mètres	Instrument utilisé pour contrôler la planéité d'une surface.
Résistance à la compression	Contrainte maximale dans un élément soumis à une charge de compression jusqu'à la rupture.
Ressuage	Excès de liant apparaissant en surface d'un revêtement bitumineux à la suite d'une remontée de liant ou d'un enfoncement de gravillons.
Squelette d'un enrobé	Partie minérale de l'enrobé (pierres + sable + filler). Le squelette est : <ul style="list-style-type: none"> ▪ pierreux lorsque sa fraction pierreuse est supérieure à ~70 %; ▪ sableux lorsque sa fraction sableuse est supérieure à ~30 %; ▪ de filler lorsque sa fraction filler est supérieure à ~20 %.

Support Tout matériau sur lequel repose le nouveau revêtement. Il peut s'agir de la fondation, d'un ancien revêtement ou du platelage d'un ouvrage d'art.

Teneur en liant d'un enrobé Masse de liant par rapport à 100 % en masse des agrégats secs (respectivement en masse du mélange). On distingue :

- teneur en liant faible si inférieure à 5,5 % (5,2 %);
- teneur en liant moyenne si entre 5,5 et 6,5 % (5,2 à 6,1 %);
- teneur en liant élevée si supérieure à 6,5 % (6,1 %).

Texture Irrégularités de surface d'un revêtement routier de dimensions horizontales («longueurs d'onde») comprises entre 0 et 500 mm. La texture est répartie en microtexture, macrotexture et mégatexture.



Trafic faible Trafic pour lequel le nombre de poids lourds, par jour et par voie de circulation, est inférieur à 250.

Trafic important Trafic pour lequel le nombre de poids lourds, par jour et par voie de circulation, est supérieur à 2000.

Trafic léger Trafic composé de plus de 80 % de véhicules de charge inférieure à 3,5 t (voitures et camionnettes).

Trafic lourd Trafic composé de plus de 20 % de véhicules de charge supérieure à 3,5 t (poids lourds).

Trafic moyen Trafic pour lequel le nombre de poids lourds, par jour et par voie de circulation, se situe entre 250 et 2000.

Valeur CBR CBR est l'abréviation de California Bearing Ratio (indice portant californien). L'essai CBR permet de déterminer la résistance du sol ou du revêtement d'une route. Cette résistance est exprimée sous la forme d'un nombre, la valeur CBR.

Charges de trafic Nombre de passages d'essieux standard par voie de circulation et par unité de temps.

Catégorie de trafic Classe déterminée par la catégorie d'une route et les intensités de trafic (lourd) attendues sur cette route. Elle sert de base au dimensionnement du revêtement.



Références bibliographiques

1. Altermodal
Schéma régional de véloroutes et voies vertes de la région du centre
Guide technique (Document 4) – mars 2006
2. Centre de recherches routières
Code de bonne pratique pour la fabrication et la pose des bétons hydrocarbonés
Recommandations CRR – R54/84 – 1984
3. Centre de recherches routières
Code de bonne pratique pour l'exécution des revêtements en béton
Recommandations CRR – R75/05 – 2005
4. Centre de recherches routières
Code de bonne pratique pour le choix du revêtement bitumineux lors de la conception ou de l'entretien des chaussées
Recommandations CRR – R78/06 – 2006
5. CROW
Ontwerpwijzer fietsverkeer
Publicatie 230 – avril 2006
6. Fédération de l'Industrie Cimentière Belge (FEBELCEM)
Les pistes cyclables en béton de ciment
Bulletin infrastructure n° 1 – octobre 2008
7. Fietsersbond
Rapport comfortaudit
Fietspaden Vlaanderen
Mars 2009
8. Ministère de l'équipement, des transports et du logement – Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU)
Recommandations pour les aménagements cyclables
Collections du CERTU – Aménagement et exploitation de la voirie – avril 2000
9. Mobiel Vlaanderen
Vademecum Fietsvoorzieningen – version 2005 et mise à jour mai 2008
10. Vélo Québec
Guide technique d'aménagement des voies cyclables – Planification, design, réalisation – 1992





Réalisé par :

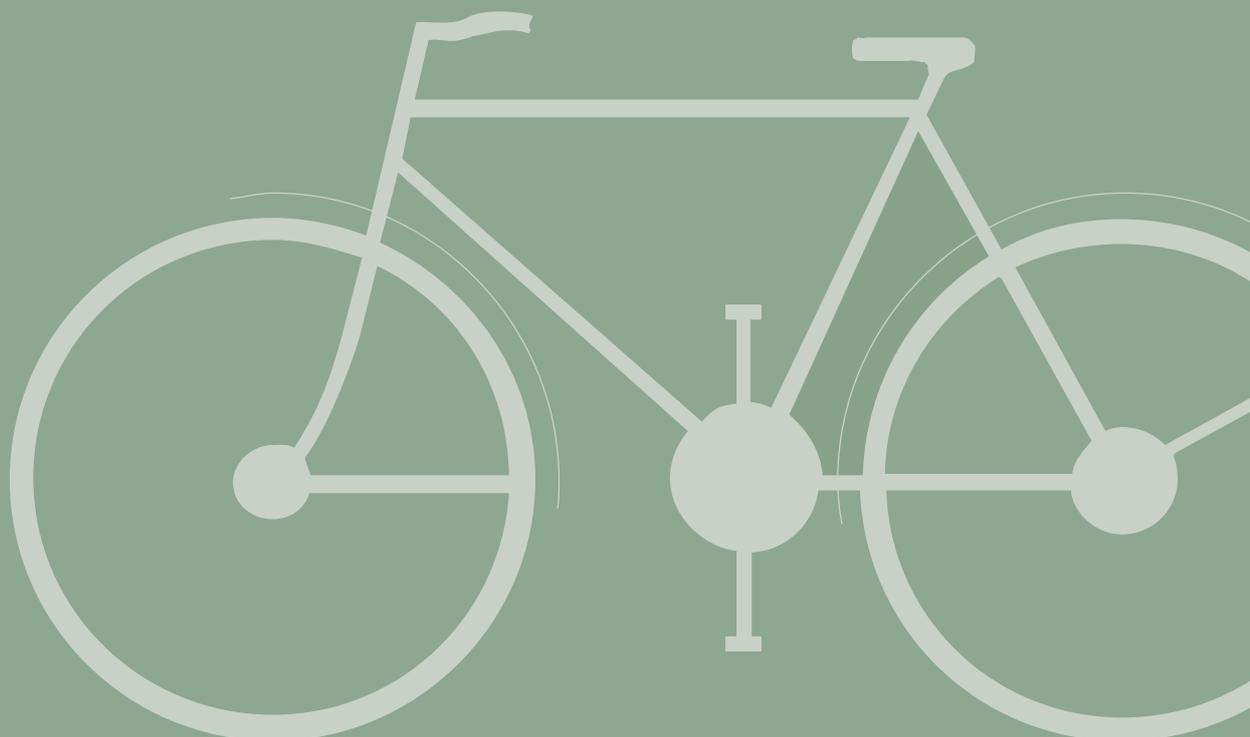


Centre de recherches routières
Bd de la Woluwe 42 – B-1200 Bruxelles
Tél. : 02 775 82 20 – E-mail: brrc@brrc.be
www.crr.be

À l'initiative de :



Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale
Administration de l'Équipement et des Déplacements
Direction Stratégie
CCN – rue du Progrès 80 bte 1 – B-1035 Bruxelles
Tél. : 02 204.20.07 – Fax: 02 204.15.10
E-mail : infovelo@mrbc.irisnet.be



La qualité des aménagements cyclables détermine le succès ou l'échec de leur utilisation.

La sécurité, le confort, la rapidité, l'attrait et la cohérence des aménagements cyclables constituent les cinq exigences principales des cyclistes en matière de qualité.



La sécurité et le confort sont déterminés en grande partie par la qualité du revêtement, des marquages et de l'éclairage.

Le présent volet du vademecum vise à donner des recommandations pour la conception, la mise en œuvre et l'entretien des revêtements en vue de la réalisation d'aménagements cyclables de qualité.

Les marquages et l'éclairage font l'objet d'un volet distinct, rédigé par le même auteur.



MINISTÈRE DE LA RÉGION DE BRUXELLES-CAPITALE
MINISTERIE VAN HET BRUSSELS HOOFDSTEDELIJK GEWEST

