

7

VADEMECUM DU BRUIT ROUTIER URBAIN

LES REVÊTEMENTS ROUTIERS



BRUXELLES MOBILITÉ
SERVICE PUBLIC RÉGIONAL DE BRUXELLES



**bruxelles
environnement**
.brussels 

SOMMAIRE

Introduction	3
Propriétés requises pour un revêtement routier	5
Types de revêtements routiers	7
Revêtement bitumeux	8
Revêtement en béton de ciment (ou béton)	10
Pavages	12
• Pavés en béton	14
• Pavés naturels	15
Enduits ou mbcf	15
Mécanismes à l'origine des bruits de roulement	17
Vibrations des pneus	17
Effet de ventouse (air pumping)	20
L'effet dièdre	21
Les caractéristiques d'un revêtement routier reducteur de bruit	23
Niveaux acoustiques des différents types de revêtements	27
Revêtements bitumineux	29
• AC	29
• SMA	29
• PA	29
Pavages	30
• Pavés en béton et pavages naturels	30
Enduits	32
• Revêtements minces	32
• Enduits de résines synthétiques	32
• Revêtements poroélastique	33
Revêtements béton de ciment	34
• Béton dénudé	34
Influence des facteurs externes sur la production de bruit	35
Influence de l'eau sur le revêtement routier	35
Influence des conditions météorologiques sur la production du bruit	36
Irrégularités dues aux éléments étrangers	36
Influence de l'usure sur la production de bruit	38
Autres critères des revêtements	39
Réparation de revêtements routiers	39
Coût d'un revêtement routier	40
Caractéristiques des revêtements routiers silencieux	41
Évaluation des différentes possibilités d'assainissement du bruit	42
Références	43

INTRODUCTION

Le roulement des roues d'un véhicule sur une surface est à l'origine de ce que l'on appelle le « bruit de roulement ». Le revêtement routier joue un rôle essentiel en la matière. En ce qui concerne les voitures, le bruit de roulement est la source sonore dominante – même si elles roulent à vitesse réduite. Nombre d'études ont été mises en œuvre au cours des décennies écoulées afin de connaître en détail les mécanismes responsables du bruit de roulement. En toute logique, ces études ont également tenté de déterminer comment poser un revêtement routier générant un bruit de roulement minimal.

Cette fiche avance notamment des réponses aux questions suivantes :

- ▶ Quels sont les mécanismes responsables du bruit de roulement ?
- ▶ Quels sont les types de revêtements routiers usuels et de quelles propriétés acoustiques sont-ils dotés ?
- ▶ Quels sont les revêtements routiers les plus courants dans la Région de Bruxelles-Capitale (RBC) et quelles qualités acoustiques présentent-ils ?
- ▶ Qu'est-ce qu'un revêtement routier « silencieux » ?
- ▶ Comment calculer le coût d'un revêtement routier silencieux ?

Cette fiche définit d'abord quelques notions de base relatives aux revêtements routiers et présente les revêtements les plus fréquemment utilisés dans notre pays. Elle aborde ensuite les mécanismes qui sont à l'origine du bruit de roulement et émet quelques recommandations quant aux caractéristiques d'un revêtement « silencieux ». Elle fournit en outre des précisions sur la réalisation concrète d'un tel revêtement, la réduction de bruit escomptée et les spécificités techniques de ces revêtements. L'influence des conditions météorologiques sur le bruit des revêtements et leur réparation sont également évoquées pour certains d'entre eux. Le coût des différents types de revêtements est indiqué à la fin de la fiche.



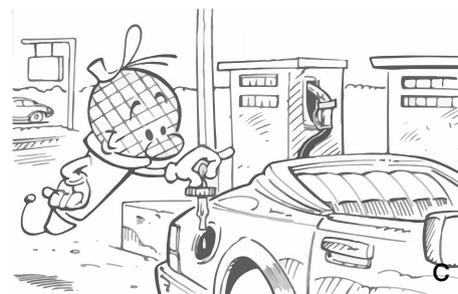


PROPRIÉTÉS REQUISES POUR UN REVÊTEMENT ROUTIER

Une route comprend une couche supérieure (le revêtement) et, dans le cas d'un revêtement bitumineux, une ou plusieurs couches inférieures. La couche supérieure protège les couches sous-jacentes, et doit notamment satisfaire aux exigences suivantes :

- ▶ Les pneus du véhicule doivent adhérer suffisamment pour pouvoir freiner et négocier les virages en toute sécurité. (A)
- ▶ L'usager doit pouvoir rouler de manière agréable et pas trop bruyante. (B)
- ▶ La consommation des véhicules doit être la plus réduite possible. (C)
- ▶ L'usure des pneus doit être aussi faible que possible.

La surface doit être de bonne qualité pour permettre aux usagers de rouler confortablement et en toute sécurité. Alors que la structure (revêtement, ainsi que la fondation et la sous-fondation) assure une bonne répartition des charges du trafic, la surface offre la rugosité nécessaire à la sécurité. La texture de la surface détermine également le confort de roulement. A des vitesses plus élevées, la texture de la surface contribue à diminuer le bruit de roulement.





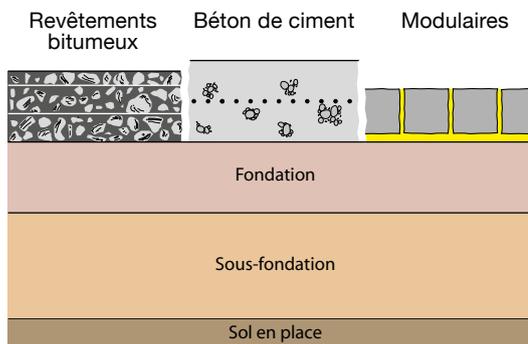
TYPES DE REVÊTEMENTS ROUTIERS

On distingue trois types de revêtements routiers : les revêtements bitumineux, les revêtements en béton et les revêtements modulaires. Il existe également des semi-revêtements, mais ils sont moins adaptés au trafic. La structure de la route varie en fonction du type de revêtement. Un revêtement en béton est ainsi généralement réalisé en une seule couche. Dans le cas du béton coloré, ou de routes où la vitesse est élevée, il est possible de réaliser un revêtement bicouche « frais sur frais ». Un remplacement partiel du revêtement n'est dans ce cas-là pas possible, mais il est néanmoins possible d'appliquer un traitement superficiel ou un recouvrement bitumineux, pour améliorer la planéité, la rugosité ou pour diminuer le bruit de roulement. Dans le cas d'un revêtement bitumineux, on réalise plusieurs couches. Un revêtement bitumineux est toujours constitué d'une couche de roulement et d'une ou de plusieurs couches sous-jacentes. Ces dernières procurent la durabilité structurelle, tandis que la couche de roulement se charge d'offrir la texture superficielle et assure par conséquent une bonne rugosité et une faible production sonore. La couche de roulement doit être remplacée au cours de la durée de vie prévue.

Les revêtements modulaires sont constitués de pavés (en béton, en pierre naturelle ou en terre cuite), placés sur une couche de pose. La texture des pavés procure la rugosité nécessaire. L'appareillage et la taille des pavés déterminent en grande partie, en plus de la texture, le niveau sonore final du revêtement.



*Site propre bus en béton
le long du parc du Cinquantenaire*



L'enrobé bitumineux est un mélange de gravillons, de sables, de fillers et de bitume, dérivé du pétrole.



Le plumage est une dégradation superficielle du revêtement

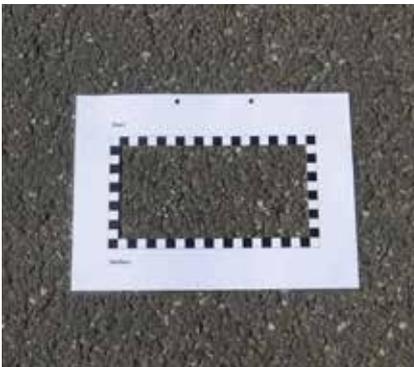
REVÊTEMENT BITUMINEUX

L'enrobé bitumineux est un mélange de gravillons, de sables, de fillers et de bitume, dérivé du pétrole. Il peut être posé à chaud ou à froid. Il existe de nombreux types d'enrobé. L'un des plus courants est l'enrobé dense (AC – asphalt concrete). Ce revêtement présente très peu de vides (3 à 5 %) et ceux-ci communiquent rarement entre eux. L'enrobé drainant (PA –porous asphalt) possède un pourcentage relativement élevé de vides (20 à 25 %), qui sont également interconnectés. Le Splittmastixasphalt (SMA) est un compromis entre l'AC et le PA; il présente la même structure superficielle que le PA, mais est dépourvu de vides.

L'AC présente un bon rapport qualité/prix. Son utilisation en présence de trafic lourd p. ex. des bus) est déconseillée. Le PA offre une bonne réduction sonore, mais est rarement utilisé en Belgique en raison de son entretien hivernal difficile, de son coût plus élevé et de sa durée de vie plus réduite. Il est sensible au plumage et ne peut donc pas être utilisé aux endroits où se produisent des efforts tangentiels. Il est également déconseillé sur les routes à faible vitesse et/ou faible volume de trafic, car le colmatage des vides diminue fortement l'effet de réduction du bruit. Le PA réduit efficacement les projections d'eau et le risque d'aquaplanage.

Le SMA est un peu plus onéreux que l'AC mais est plus résistant à l'orniérage. Les versions de petite granulométrie (< 10 mm) peuvent contribuer à réduire le bruit.

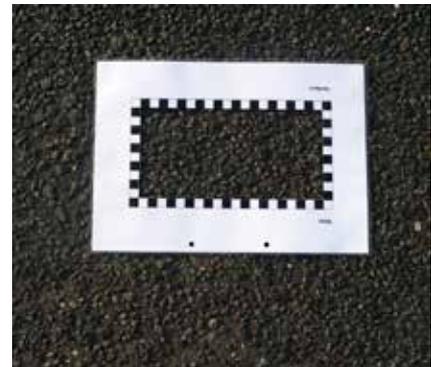
Les figures ci-dessous illustrent l'apparence caractéristique de l'AC, du PA et du SMA.



Asphalt concrete



Porous asphalt



Splittmastixasphalt

IL EXISTE ENCORE D'AUTRES TYPES D'ENROBÉ

L'enrobé clouté est du béton bitumineux étanche dans lequel on a épandu et roulé des gravillons à chaud, afin d'augmenter la résistance de la surface à l'usure. Il est cependant tombé en désuétude en raison de ses mauvaises qualités acoustiques.

Les revêtements bitumineux minces : l'enrobé est parfois apposé en fine couche (de 6 à 30 mm d'épaisseur) sur un autre matériau. On parle de revêtement mince lorsque les couches ont une épaisseur de plus de 15 mm. En deçà, on parle alors d'un traitement superficiel.



Enrobé clouté

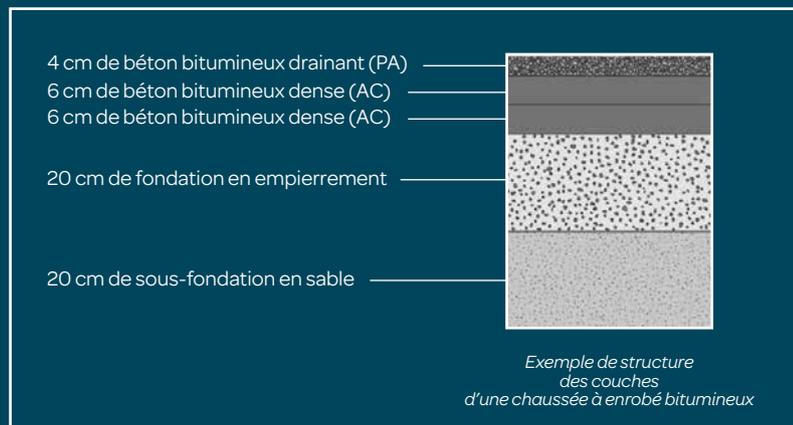


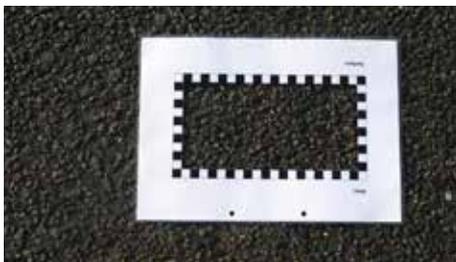
Revêtement mince

LES COMPOSANTS D'UN REVÊTEMENT BITUMINEUX

Quatre composants de base permettent de fabriquer un revêtement de ce type.

- ▶ Gravillons (également appelés granulats); leur granulométrie est limitée à 20 mm pour les couches inférieures et à 10 mm pour la couche supérieure;
- ▶ Sable (taille des grains inférieure à celles des gravillons jusqu'à 2 mm, mais supérieure à 0,063 mm).
- ▶ Filler (tout autre matériau granulaire présentant une taille de grain inférieure à 0,063 mm).
- ▶ Liant (généralement du bitume, mais des expériences sont également réalisées avec de nouveaux types, comme des résines synthétiques).





Béton dénudé chimiquement



Béton brossé



Béton imprimé

REVÊTEMENT EN BÉTON DE CIMENT (OU BÉTON)

Un revêtement en béton de ciment est constitué de gros granulats, de sable, de ciment (qui sert ici de liant), d'eau et de quelques adjuvants. Le béton est caractérisé par une rigidité importante et une durée de vie élevée. Pour obtenir une bonne texture superficielle, le béton est soit dénudé chimiquement (cette technique est conseillée pour des vitesses plus élevées), soit brossé (dans le cas des chaussées où le trafic est plus lent). Les revêtements en béton présentent l'avantage de ne nécessiter que peu d'entretien.

Les premières routes en béton ont été réalisées avec des granulats de grandes dimensions (32 à 40 mm). Des joints transversaux étaient aussi souvent réalisés dans le béton frais, afin d'obtenir un revêtement rugueux et sûr, ainsi qu'une bonne évacuation des eaux, mais avec comme désavantage une production sonore élevée. Vers la fin des années septante, on a commencé à dénuder la surface du béton de manière chimique, ce qui a permis d'obtenir une bonne rugosité tout en faisant disparaître les pics aigus que l'on pouvait entendre sur les revêtements striés transversalement.

Une optimisation de la technique de dénudage a permis de diminuer fortement le bruit de roulement. Le principe actuel du dénudage consiste à limiter la taille des granulats présents en surface, soit en travaillant en deux couches, posées « frais sur frais », soit en prévoyant un excès de granulats compris entre 4 et 6,3 mm (ou 8 mm). L'objectif est d'augmenter la proportion de gravillons compris entre 4 et 6,3 mm jusqu'à représenter 20 à 25 % du squelette minéral (mélange de sable et de granulats). Lors du compactage, ces granulats remontent à la surface et sont ensuite exposés lors du dénudage. La qualité de ces granulats est primordiale pour pouvoir garantir une bonne rugosité dans le temps. En limitant la granularité du squelette minéral à 20 mm voire même à 14 mm, le bruit de roulement diminue. Le béton est très durable. Il constitue un bon choix pour les routes secondaires et les autoroutes si les exigences acoustiques ne sont pas trop strictes. Il convient en principe aussi pour les rues et les places en milieu urbain, mais peut constituer un problème lors de travaux au niveau des impétrants.

Le brossage est appliqué sur les routes où la vitesse est moins élevée (voir Figure). Immédiatement après la pose, on effectue un brossage de la surface. Les brosses utilisées ont des poils compacts en acier ou en PVC. Seul un brossage transversal est autorisé sur les routes. Il peut également être longitudinal sur les pistes cyclables et les routes agricoles. Le béton brossé a des qualités acoustiques moins bonnes que le béton dénudé.

Un traitement superficiel spécial est le béton imprimé (voir Figure). Cette technique permet de réaliser des motifs spéciaux sur la surface du béton. En fonction du moule utilisé, il est possible de reproduire l'aspect de pavés en terre cuite ou en pierre naturelle. Il est recommandé lorsque, pour des raisons esthétiques, on souhaite reproduire l'aspect de pavés de béton ou en pierre naturelle, qu'une augmentation du bruit de roulement ne représente pas un problème et où le trafic lourd produit des sollicitations importantes (bus, par exemple).

TRAITEMENT SUPERFICIEL DU BÉTON MIS EN ŒUVRE

Il existe différentes méthodes pour réparer ou améliorer la texture superficielle du béton une fois qu'il a été mis en oeuvre. En plus d'améliorer la rugosité et la planéité, le traitement superficiel permet aussi de diminuer le bruit de roulement, a fortiori lorsqu'il est appliqué sur des routes en béton plus anciennes.

- ▶ Le meulage du béton à l'aide d'un disque diamant consiste à réaliser sur la surface de petites rainures de 3 à 4 mm et distantes entre elles de 1,5 à 3,2 mm. Celui-ci permet d'améliorer la planéité tout en conservant la rugosité et en diminuant le bruit de roulement. Le meulage est de préférence réalisé dans le sens longitudinal.
- ▶ Le fraisage fin est réalisé à l'aide d'une fraiseuse à froid, équipée d'un nombre accru de fraises. Cette méthode permet également d'améliorer la planéité tout en conservant la rugosité et en diminuant le bruit de roulement. Elle contient aussi pour préparer la surface en vue d'un recouvrement. Le fraisage fin se fait toujours dans le sens longitudinal. La distance entre les rainures est au maximum de 8 mm.
- ▶ Il existe également d'autres méthodes, comme le bouchardage et le grenailage. Le bouchardage est appliqué localement pour éliminer une couche de mortier superficielle, et mener à une amélioration de la rugosité tout en conservant la planéité. Lors de celui-ci, la surface est frappée par des marteaux, ce qui peut donner lieu à des microfissures. Le grenailage consiste à projeter de manière intensive de petites billes d'acier à une vitesse élevée. La poussière et les billes sont ensuite récupérées à l'aide d'un système d'aspiration. On peut également procéder avec de l'eau sous haute pression, mais l'effet est moindre. Le grenailage a aussi pour résultat d'améliorer la rugosité.
- ▶ Le polissage de la surface durcie est souvent réalisé à des fins esthétiques, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. Dans ce dernier cas, il est important de ne pas polir trop finement, pour maintenir une rugosité suffisante. Le niveau sonore n'entre ici pas en compte car ce traitement n'est pas appliqué sur des routes « circulées ».
- ▶ Aux Etats-Unis, il existe une technique optimisée de meulage au disque diamant. En faisant varier la configuration des disques, une texture négative est obtenue, ce qui confère à la surface une meilleure rugosité tout en diminuant le bruit de roulement.



Béton meulé



Béton fraisé



Béton poli



Pavés naturels

Les pavés peuvent être constitués de béton, d'argile cuite ou de pierre naturelle.

PAVAGES

Les pavages sont constitués de pavés placés sur une couche de pose. Les joints entre les pavés doivent toujours être remplis, afin d'éviter qu'ils ne glissent, se renversent et finissent par se détacher. L'appareillage utilisé détermine en grande partie le bruit.

Il est néanmoins possible de réaliser un revêtement en pavés d'une qualité acoustique acceptable, à savoir comparable à de l'AC. Il est également important que les joints soient étroits et ne soient pas perpendiculaires au sens de circulation.

Les pavés peuvent être constitués de béton, d'argile cuite ou de pierre naturelle. Ils permettent de réaliser des revêtements beaucoup plus plats. Ici aussi, la vitesse doit être limitée pour éviter que les joints ne se vident par aspiration, ce qui a un impact positif sur le bruit de roulement. L'appareillage peut cependant provoquer l'apparition de bruits tonaux.

Les pavés sont généralement fabriqués en béton ou en terre cuite, ces derniers étant peu utilisés en chaussée en Région de Bruxelles-Capitale. Les pavés en béton peuvent prendre des formes carrées, rectangulaires ou encore hexagonales. Certains ont une forme plus complexe et sont conçus pour « s'imbriquer les uns dans les autres », une particularité qui renforce la stabilité du revêtement. Les pavés en béton de type « Victor » en sont un exemple.

Les fondations et la hauteur des pavés sont déterminantes pour la durée de vie d'un tel revêtement, car elles doivent être adaptées au poids et à l'intensité du trafic. Un revêtement en pavés convient donc aux chaussées sans circulation (réservées aux piétons) ou caractérisées par un trafic modéré de véhicules lourds (jusqu'à 150 véhicules lourds/jour/bande de circulation) ou par un trafic à vitesse modérée. La vitesse maximale autorisée ne peut de préférence pas excéder 50 km/h.

Les pavés présentent divers avantages et inconvénients spécifiques par rapport à un revêtement « continu ». L'un des avantages majeurs en milieu urbain réside dans la possibilité de démonter partiellement ce revêtement et de le remonter sans laisser de traces, lorsqu'il faut réaliser des travaux au niveau des impétrants sous la chaussée, par exemple. Un autre avantage réside dans le fait que la route peut être ouverte à la circulation dès la fin des travaux. Les inconvénients incluent les coûts de pose relativement élevés, la lenteur des travaux et la nécessité de recourir à des spécialistes qui maîtrisent parfaitement les techniques de pose.

Les pavés conviennent aux rues où les véhicules roulent à une vitesse peu élevée (50 km/h au maximum) et qui sont seulement empruntées de façon sporadique par des véhicules lourds. Le passage intensif de véhicules lourds (des autobus, par exemple) provoque rapidement des ornières. Il est capital que les pavés et les couches sous-jacentes soient adaptés à l'intensité du trafic et au tonnage des véhicules. Dans le cas contraire, le revêtement routier ne tarde pas à se dégrader (pavés cassés et détachés, affaissements, etc.), ce qui a de surcroît un effet défavorable sur la production de bruit.

Il est capital que les pavés et les couches sous-jacentes soient adaptés à l'intensité du trafic et au tonnage des véhicules.

La pose de pavés exige aussi du savoir-faire. Les erreurs de construction les plus fréquentes sont connues :

- ▶ Inégalités au niveau de l'assise, ce qui provoque la cassure des pavés.
- ▶ Assise trop peu compactée (affaissements).
- ▶ Eau stagnante sur une couche inférieure étanche (affaissements).
- ▶ Hauteur insuffisante des pavés (pavés instables).
- ▶ Joints trop grands entre les pavés (pavés instables).



Revêtement en pavé naturel place des Palais à Bruxelles



Béton décoratif



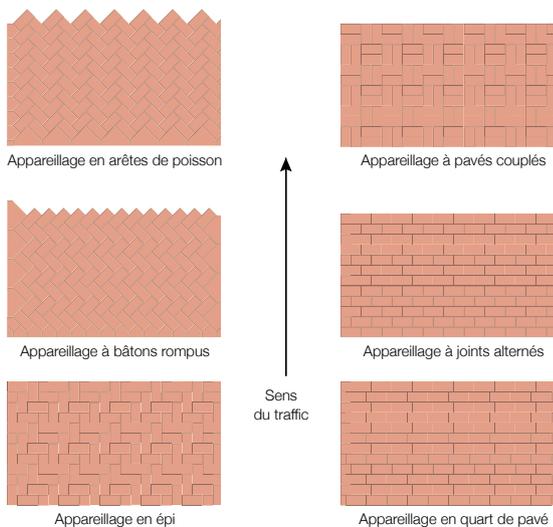
Pavés de béton rectangulaires en appareillage à bâtons rompus



Pavés rectangulaires à bords cannelés pour une meilleure stabilité

PAVÉS EN BÉTON

Les pavés en béton peuvent être posés selon différents types d'appareillages.



Motifs réalisés avec des pavés rectangulaires. La flèche indique le sens de circulation.

D'un point de vue acoustique, il faut accorder la préférence aux motifs où les joints séparant les pavés ne sont pas perpendiculaires à l'axe de la route. Il faut aussi éviter les changements de revêtements trop fréquents. La brusque modification du bruit de roulement qui résulte du passage d'un revêtement en pavés à d'autres types de revêtements est en effet des plus gênantes pour les riverains.

Il existe cependant une alternative aux pavés en béton capable de résister au passage intense de véhicules lourds : le béton dit « décoratif ». La technique consiste à imprimer le motif d'un revêtement en éléments sur la surface en béton fraîchement posée. Dans ce cas, le revêtement n'est plus « démontable » (il perd un de ses avantages) et il présente les mêmes caractéristiques que le béton de ciment coulé.

PAVÉS NATURELS

Ces pavés sont constitués de pierre naturelle comme le porphyre, le quartzite, le granit ou le grès. Ils sont généralement posés de manière bombée, afin que se produise un effet de voûte. Ils sont principalement utilisés pour des raisons esthétiques, culturelles et historiques et sont souvent associés à une augmentation de la production sonore, comme mentionné ci-avant, en raison des inégalités de la surface qui provoquent plus de vibrations. Leur utilisation est fortement déconseillée lorsque la vitesse du trafic excède 50 km/h, en raison de leur glissance et du bruit. Ils sont lisses et inconfortables pour les cyclistes et les piétons. Idéalement, ces pavés sont posés dans des rues où la vitesse n'excède pas 20 km/h, ou bien où il n'y a pas de trafic du tout.

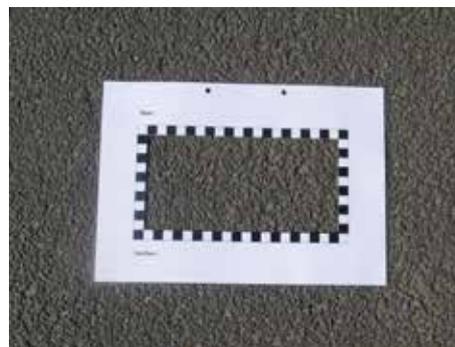
ENDUITS OU MBCF

Un enduit a une épaisseur de 5 à 15 mm. Une couche de liant est répandue sur le support sous-jacent, qui doit être plat et en bon état. Dans cette couche de liant, qui sert de « colle », on intègre ensuite des gravillons. Il s'agit dans ce cas d'un enduit monocouche à simple gravillonnage. Cette solution est bien adaptée pour les routes à trafic restreint. Le gravillonnage peut également se faire en deux phases: tout d'abord une couche de gravillons moyennement gros et ensuite les gravillons plus fins. Il s'agit alors d'un enduit monocouche à double gravillonnage. Celui-ci confère à la surface une rugosité élevée, et est surtout destiné aux routes à trafic rapide. Il est également possible de poser un second enduit sur un premier, en répandant à nouveau une couche de liant puis des gravillons. On parle alors d'enduit bicouche. Celui-ci est adapté pour les routes très fréquentées et/ou à trafic lourd, qui possèdent déjà un revêtement solide. Il est parfaitement possible de combiner l'enduit avec un autre type de revêtement, comme par exemple une surface en béton de ciment.

Un "slurry seal" ou matériau bitumineux coulé à froid (MBCF) est obtenu en coulant un mélange liquide de granulats et d'émulsion de bitume, avec éventuellement quelques additifs et des fibres. Les MBCF sont très sensibles aux conditions météorologiques. Dans la pratique, la période d'exécution est limitée de la mi-avril à fin-septembre. Il est possible de couler une ou deux couches, qui sont ensuite compactées à l'aide d'un rouleau. Les granulométries sont 0/2, 0/4, 0/6,3 ou 0/10.



Voirie dégradée en pavés



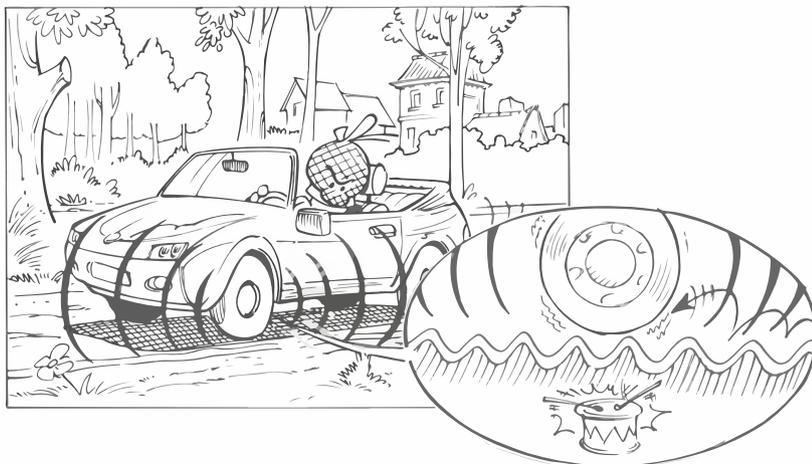
Enduit



MÉCANISMES À L'ORIGINE DES BRUITS DE ROULEMENT

VIBRATIONS DES PNEUS

Lorsque le pneu roule sur une surface qui n'est pas parfaitement lisse, les irrégularités donnent en quelque sorte une série de coups sur la bande de roulement du pneu. C'est comme si l'on frappait le pneu à un rythme soutenu à l'aide d'un petit marteau. La bande de roulement et (indirectement) les côtés du pneu se mettent alors à vibrer. Ces éléments vibrants émettent du bruit, de façon comparable à la peau d'un tambour. Les vibrations des pneus sont généralement le principal mécanisme responsable du bruit de roulement.





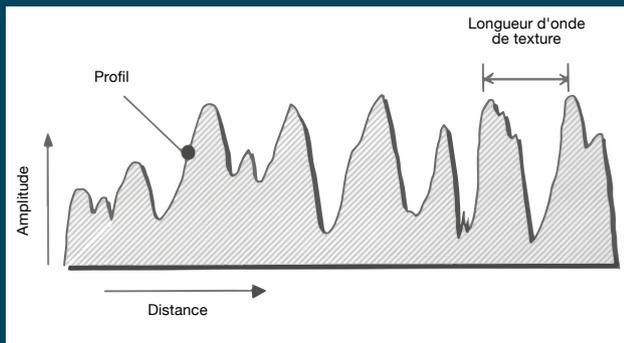
Des études ont démontré que toutes les irrégularités du revêtement ne provoquent pas des vibrations des pneus. Les irrégularités (mesurées horizontalement) inférieures au diamètre d'une pièce de 5 cents posée à plat ne causent pratiquement aucune vibration, contrairement aux irrégularités supérieures au diamètre d'une pièce d'1€. Les vibrations des pneus sont maximales lorsque le revêtement routier présente des saillies et/ou des creux de dimensions équivalentes à celles d'un couvercle de pot de confiture (de 5 à 10 cm de diamètre). Il est donc impératif d'éviter ces irrégularités. Les irrégularités de grandes dimensions horizontales, qui ont une influence négative sur le bruit, sont qualifiées de "méga-irrégularités" dans la suite de la fiche. Le jargon du secteur emploie aussi le terme "mégatexture" pour les désigner.

Selon diverses études, la texture du revêtement routier détermine en grande partie le bruit de roulement. Le spectre de texture fournit de nombreuses informations sur le niveau de bruit généré par le revêtement en question.

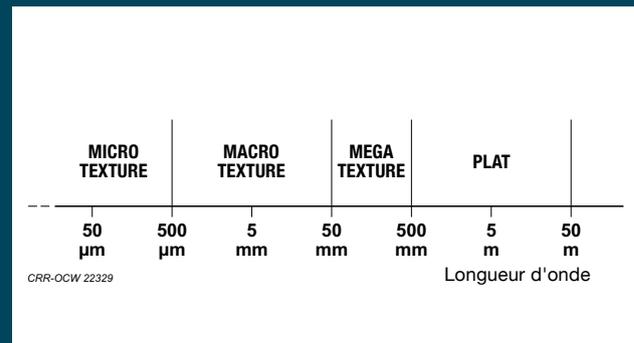
Les vibrations des pneus sont essentiellement dues à une texture située dans la zone de la mégatexture (longueurs d'onde de texture comprises entre 5 cm et 50 cm). Le spectre d'un revêtement routier réducteur de bruit présente dès lors un niveau de texture peu élevé.

TEXTURE ET SPECTRE DE TEXTURE

La figure relative au profil du revêtement représente celui-ci en coupe dans le sens de la circulation. L'abscisse indique la distance mesurée parallèlement à la route et l'ordonnée fournit la variation verticale des irrégularités de la surface de la route. Les mesures horizontales caractéristiques des irrégularités sont représentées par leur "longueur d'onde de texture". Les longueurs d'onde de texture d'un revêtement peuvent aller de 0,05 mm à plus de 50 m et sont subdivisées en quatre "classes".



Profil du revêtement routier

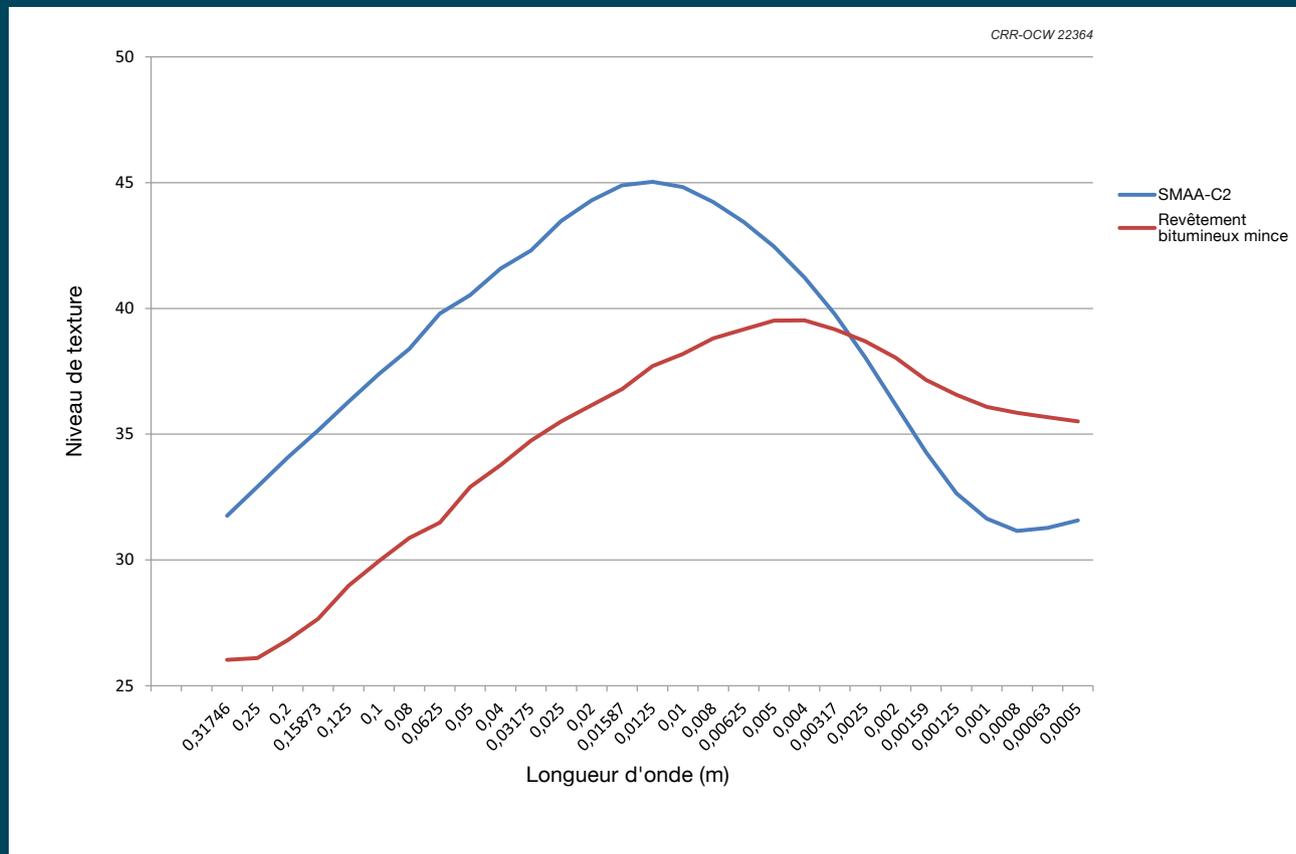


Les quatre classes de texture

Dans la pratique, l'amplitude ne s'exprime pas en m ou en mm. On introduit une échelle logarithmique en définissant le niveau de la texture ou du profil.

Une amplitude de 10 mm correspond donc à un niveau de texture de 20 dB, une amplitude de 1 mm à 60 dB, et une amplitude de 1 cm à 80 dB. Dans la pratique, la plupart des niveaux de texture sont compris entre 20 et 80 dB, ce qui représente une échelle facile à utiliser.

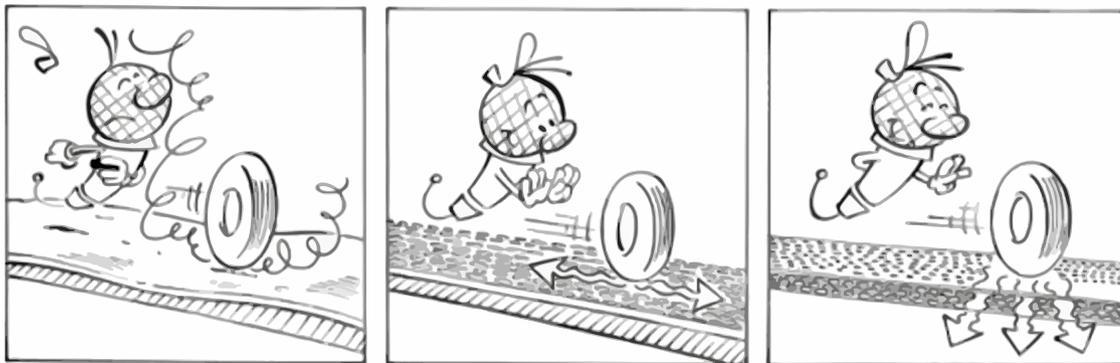
Il est possible de définir le spectre de bandes d'octave ou de tiers d'octave d'un profil en procédant de la même façon que pour le spectre de bandes d'octave ou de tiers d'octave d'un son. La figure ci-contre donne un exemple de spectre, où l'on constate que les irrégularités dominantes ont une longueur d'onde de texture comprise entre 5 et 20 mm.



*Un pneu qui roule sur
une surface lisse produit
du bruit.*

EFFET DE VENTOUSE (AIR PUMPING)

Un pneu qui roule sur une surface lisse (du béton non traité, par exemple) produit du bruit. La partie du pneu qui touche le revêtement (la "zone de contact") joue un rôle important en la matière. L'air est comprimé à l'avant dans le profil du pneu et s'échappe en produisant du bruit. À l'arrière de la zone de contact, l'air est aspiré dans les creux du profil des pneus.



Le pompage d'air est très important sur un revêtement dépourvu de texture fine. Il est donc possible d'éviter ce phénomène grâce à la pose d'une macrotecture (longueurs d'onde de texture comprises entre 5 mm et 5 cm). C'est dans ce domaine que le spectre de texture d'un revêtement routier présente le mieux des niveaux de texture élevés.

Le spectre (sonore) du bruit de roulement est également lié à la texture du revêtement routier. Si l'effet de ventouse (air pumping) est la source sonore dominante, les sons produits ont une fréquence assez élevée (1000 à 1500 Hz). Les vibrations des pneus génèrent un son à basse fréquence (500 à 1000 Hz).

Ce phénomène n'est pas observé – ou est largement atténué – sur une surface qui présente des irrégularités (saillies et creux) dont les dimensions sont comparables au diamètre d'une pièce d'1 cent (SMA, par exemple). Dans ce cas, l'air peut en effet s'échapper horizontalement entre les irrégularités avant d'être comprimé et il n'y a pas, pour cette même raison, d'effet d'aspiration bruyant à l'arrière de la zone de contact (figure du milieu page 20). Une surface poreuse, c'est-à-dire munie de trous verticaux, comme le PA, offre une alternative en la matière. L'expulsion et l'aspiration de l'air se déroulent alors verticalement et de façon silencieuse, via les trous du revêtement (figure de droite page 20).

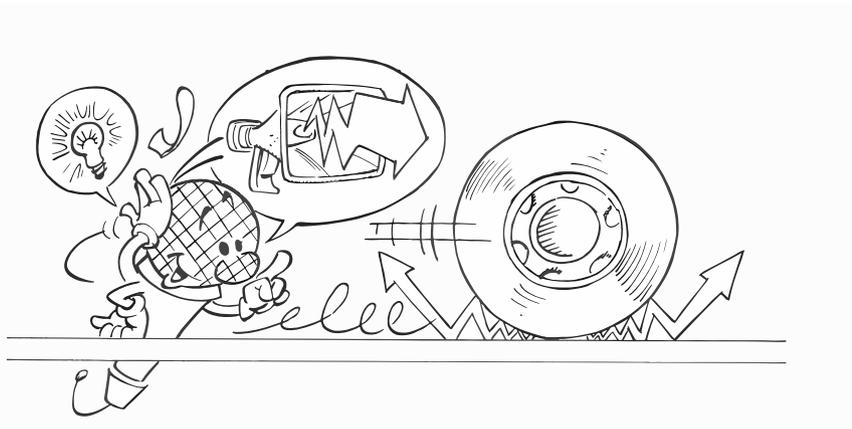
Les irrégularités aux dimensions horizontales réduites, contrairement aux méga-irrégularités décrites dans le chapitre ci-avant, ont un effet favorable sur la qualité acoustique d'un revêtement. Elles seront qualifiées de “macroirrégularités” dans la suite de la fiche. Elles sont aussi appelées “macrotexture” dans le jargon du secteur.

L'EFFET DIÈDRE

Ce mécanisme ne provoque pas de bruit en soi, mais amplifie le bruit généré par d'autres mécanismes. Le son peut être répercuté plusieurs fois dans le couloir d'air (“corne”) formé entre la bande de roulement du pneu et le revêtement routier, ce qui a pour effet de l'intensifier. Le principe est le même que celui d'un mégaphone, mais est bien entendu indésirable dans le cas d'un pneu.

Un revêtement absorbant permet d'atténuer ce phénomène.

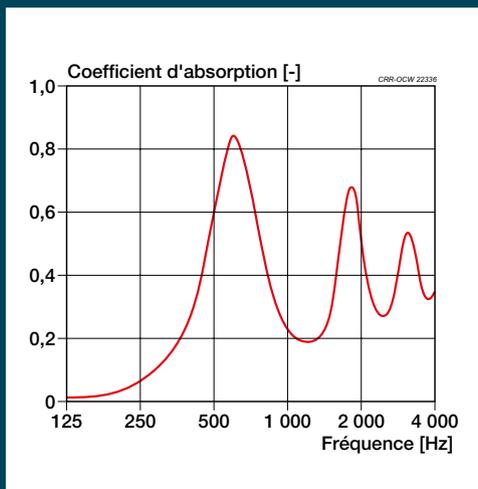
Il s'agit de réflexions successives de l'onde sonore dans le dièdre formé par le pneumatique et la surface de la chaussée sur des revêtements fermés à l'avant et à l'arrière de la roue.



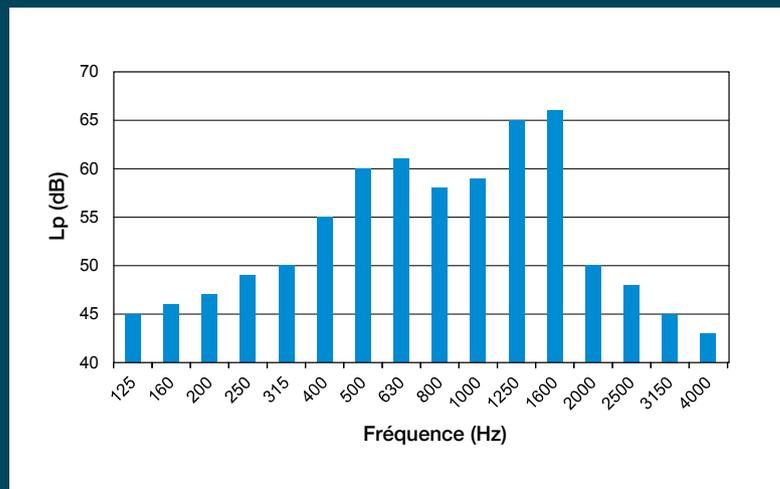
Effet dièdre entre la route et le pneu

ABSORPTION DU BRUIT PAR LE REVÊTEMENT ROUTIER

Il importe que le revêtement possède des qualités d'absorption acoustique pour atténuer l'effet dièdre. La capacité d'absorption acoustique d'un revêtement dépend fortement de la fréquence. La figure ci-dessous (à gauche) dessine la courbe d'absorption relative à un revêtement en PA bicouche. Une courbe d'absorption indique le pourcentage d'énergie acoustique incidente absorbée aux différentes fréquences acoustiques. La courbe d'absorption représentée ici affiche une série de pics: à 700 Hz, 1900 Hz et 3500 Hz. À ces fréquences, le bruit est fortement absorbé par le revêtement routier. C'est surtout le pic enregistré à la fréquence la plus basse qui est intéressant dans le cas du trafic routier. Il est capital que la courbe d'absorption présente un pic dans le domaine où le spectre du bruit de roulement est maximal (500 à 1000 Hz si les vibrations des pneus sont la source sonore dominante, comme c'est le cas avec le PA). Si ce n'est pas le cas, l'absorption n'est guère utile. La figure de droite montre le spectre du bruit de roulement (en bandes de tiers d'octave, voir fiche 1), mesuré sur un revêtement routier doté de bonnes qualités d'absorption. Ce graphique indique le niveau de pression acoustique du bruit de roulement pour chaque bande de tiers d'octave. L'absorption assurée par le revêtement provoque une "dépression" locale dans le spectre, à l'endroit précis où ce spectre est maximal sans absorption, entre 650 et 1200.



Courbe d'absorption

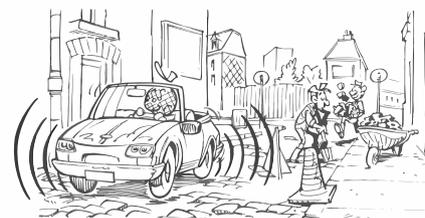


Spectre du bruit de roulement sur PA bicouche

LES CARACTÉRISTIQUES D'UN REVÊTEMENT ROUTIER RÉDUCTEUR DE BRUIT

Compte tenu de ce qui précède, nous pouvons déterminer les exigences auxquelles un revêtement routier doit satisfaire pour produire un bruit de roulement minimal :

- ▶ Le moins de méga-irrégularités (c'est-à-dire présentant des dimensions horizontales supérieures au diamètre d'une pièce d'1€) possible, pour éviter les vibrations des pneus.
- ▶ Des macro-irrégularités suffisantes sur le revêtement (c'est-à-dire présentant des dimensions horizontales qui ne dépassent pas le diamètre d'une pièce d'1 cent) et/ou des vides dans le revêtement pour contrer le pompage d'air. Les macro-irrégularités s'obtiennent généralement en utilisant de petits gravillons à la surface. Elles doivent être homogènes (éviter les amas de gravillons) mais ne peuvent pas former de motif régulier (pas de rainures situées à égale distance les unes des autres).
- ▶ Des qualités d'absorption acoustique permettant d'atténuer le bruit de roulement et d'éviter l'effet dièdre. Une bonne absorption acoustique contribue en outre à absorber le bruit du moteur (qui est dominant à vitesse peu élevée).
- ▶ L'élasticité peut considérablement contribuer à prévenir les vibrations des pneus (actuellement appliquée sur un nombre limité de revêtements expérimentaux, mais en cours d'étude).
- ▶ Certains revêtements présentent des méga-irrégularités naturelles.
- ▶ Les creux et les fissures qui se forment dans le revêtement peuvent donner naissance à des méga-irrégularités.



LES MÉGA-IRRÉGULARITÉS

Sur le plan acoustique, les méga-irrégularités du revêtement (longueur d'onde de texture comprise entre 0,5 m et 50 m) sont une caractéristique indésirable, que l'on rencontre pourtant toujours sur nombre de revêtements. Elles se manifestent sous différentes formes :

- ▶ Certains types de revêtements routiers présentent des méga-irrégularités naturelles, car ils sont composés de pierres de grandes dimensions. Il s'agit par exemple des pavés.
- ▶ Les erreurs commises lors de la construction du revêtement peuvent aussi être à l'origine de méga-irrégularités. Les "ondulations" assez fréquentes sur les surfaces en béton plus anciennes sont dues au mauvais lissage du béton encore humide et constituent un exemple type de ce genre d'erreur. Les couvercles de chambres de visite et les grilles d'aération (pour la ventilation du métro, par exemple) mal encastrés peuvent également créer des méga-irrégularités.
- ▶ Les macro-irrégularités sont la troisième cause des méga-irrégularités! C'est notamment le cas lorsqu'elles ne sont pas réparties de façon uniforme sur le revêtement. Des "amas" de macro-irrégularités donnent alors naissance à des méga-irrégularités.
- ▶ Les revêtements peuvent aussi présenter des méga-irrégularités dues à l'usure: creux, fissures,...



IMPÉDANCE MÉCANIQUE D'UN REVÊTEMENT

L'impédance mécanique (liée à la rigidité/élasticité) de la route est un facteur qui peut aussi influencer le niveau de bruit produit par un revêtement. L'impédance est définie comme le rapport entre la force exercée et la vitesse du déplacement.

Sur les revêtements dont le composant principal est le caoutchouc, comme les revêtements poroélastiques, on a aussi observé une importante diminution du bruit. Le Centre de Recherches Routières (CRR) est actuellement en train de développer un revêtement poroélastique. Ce type de revêtement est constitué de billes de caoutchouc et de gravillons, liés avec une résine synthétique élastique. Il a été démontré qu'il était possible d'obtenir des réductions sonores extrêmement importantes, de l'ordre de 10 dB(A). Cette étude se consacre au développement d'un type de revêtement qui soit suffisamment durable et sûr. Dans le cadre de ce projet, des sections expérimentales ont été réalisées au Danemark, en Suède, en Slovénie et en Belgique. Une réduction sonore de 8 à plus de 10 dB(A) par rapport à l'AC y a été mesurée. Ces sections font l'objet d'un suivi afin de récolter de plus amples informations sur leur durabilité. Etant donné qu'ils sont bien plus onéreux que les revêtements traditionnels, ils devraient plutôt être utilisés comme alternative aux écrans antibruit, là où les nuisances sonores sont importantes, à condition que leur durabilité ait suffisamment été améliorée. L'utilisation de ce type de revêtement pourrait contribuer de manière significative à l'amélioration du climat acoustique des villes de demain.

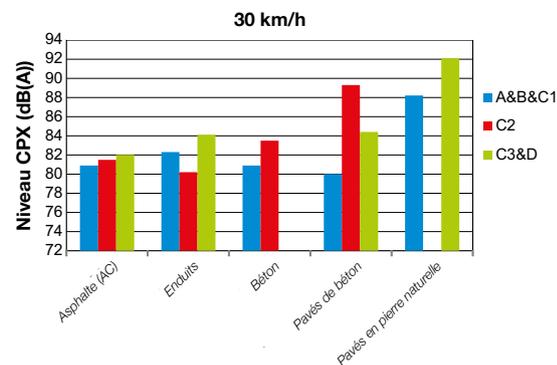




NIVEAUX ACOUSTIQUES DES DIFFÉRENTS TYPES DE REVÊTEMENTS

En juin 2015, le CRR a réalisé à Gand une campagne de mesures pour déterminer les qualités acoustiques de quelques revêtements typiques à l'aide de la remorque CPX (voir 7.4.3). Une série de revêtements du centre-ville de différents types ont été sélectionnés (AC, enduit, béton, pavés en béton et pavés en pierre naturelle), à différents degrés d'usure (A-B: excellent à bon; C1-C3: modéré à mauvais et D: très mauvais). La vitesse maximale autorisée était de 30 km/h dans la plupart des rues.

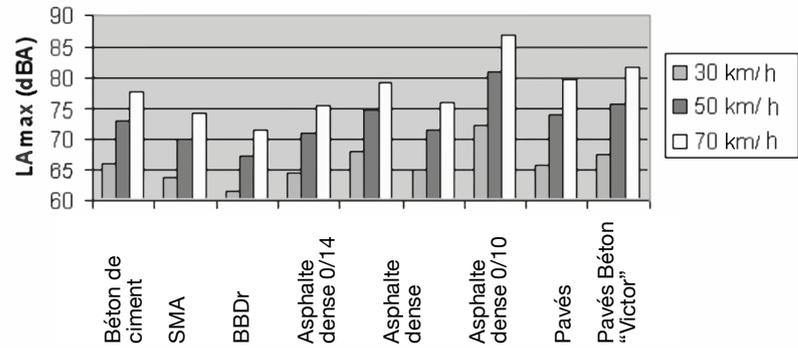
- Les résultats à 30 km/h, mesurés avec le pneu de référence SRTT, sont donnés à la figure à droite. Bien qu'il s'agisse d'une campagne d'ampleur limitée, et que les résultats doivent donc être interprétés avec la prudence qui s'impose, quelques tendances se sont néanmoins dégagées:
- L'AC, les enduits, le béton et les pavés en béton en bon état présentent une émission sonore du même ordre de grandeur à 30 km/h.
- Plus le revêtement est usé, plus il a tendance à devenir bruyant. Ce phénomène pourrait être rendu plus clair en réalisant des mesures sur un nombre plus élevé de revêtements (en bon et en mauvais état).
- Les pavés en pierre naturelle sont déjà assez bruyants en bon état, et sont extrêmement bruyants à 30 km/h lorsqu'ils commencent à s'affaïsser.



Niveau sonore mesuré avec la méthode CPX (dB(A))

Les qualités acoustiques des différents types de revêtements varient considérablement en raison de leurs différences de texture et d'absorption.

Nous abordons ci-dessous les types de revêtements les plus courants. Le niveau acoustique moyen émis par un véhicule roulant à une vitesse de 50 km/heure figure entre parenthèses. Ces valeurs sont seulement indicatives. De grandes variations peuvent être observées au sein d'un même type.



Niveau acoustique mesuré à 7,5m de distance pour différents revêtements à différentes vitesses.

REVÊTEMENTS BITUMINEUX

AC (ENV. 71 DB(A))

La structure étanche de ce type de revêtement provoque un "pompage d'air" caractéristique. Si le revêtement a été bien posé (c'est-à-dire s'il présente peu de méga-irrégularités), les vibrations des pneus sont relativement limitées et ce revêtement obtient une note "moyenne". Il sert souvent de référence. Les mesures de bruit effectuées sur différentes sections d'AC se traduisent par des résultats extrêmement variables.

SMA (ENV. 70 DB(A))

Ce type de revêtement présente des macro-irrégularités, de sorte que le bruit des pneus est dû à leurs propres vibrations. Les qualités acoustiques du SMA se situent à mi-chemin entre l'AC et le PA.

PA (ENV. 68 DB(A) POUR LE MONOCOUCHE ET 66 DB(A) POUR LE BICOUCHE)

Il s'agit d'un revêtement bitumineux comportant des gravillons un peu plus gros, de dimensions plus ou moins identiques. Ce revêtement compte assez bien de vides, qui communiquent entre eux. Le PA bicouche est une variante encore plus perfectionnée, où la couche supérieure comprend des petits gravillons, tandis que ceux de la couche inférieure sont plus grands.

Le PA combine en principe un minimum de méga-irrégularités (peu de vibrations des pneus), une structure poreuse (pas de pompage d'air) et, parfois, une bonne, voire très bonne, absorption acoustique (surtout le PA bicouche). Le PA semble offrir une bonne résistance aux déformations (formation d'ornières) grâce à son ossature de pierres, mais est sensible à l'usure (détachement de gravillons), de sorte que sa durée de vie peut être sensiblement plus courte que celle de l'AC.



PAVAGES

Il faut avant tout déterminer la vitesse des véhicules qui emprunteront cette chaussée. Si la vitesse est inférieure à 20 km/heure, le revêtement ne joue aucun rôle dans la production du bruit et il n'est donc pas nécessaire de tenir compte du facteur "bruit" au moment d'opter pour des pavés.

Le choix peut se porter sur des pavés "moins bruyants" si la vitesse est comprise entre 20 et 30 km/h et est vivement recommandé si la vitesse varie entre 30 et 50 km/h. Il est déconseillé d'utiliser des pavés sur les routes où l'on roule à plus de 50 km/h.

Les revêtements en pavés sont moins appropriés si la route est empruntée par des véhicules lourds de façon fréquente. Ce type de pavage doit être posé dans les règles de l'art et disposer d'une assise adaptée. Dans le cas contraire, des creux et/ou des ornières ne tardent pas à apparaître. Contrairement aux pavés béton, les pavés en pierre naturelle présentent souvent une rugosité insuffisante.

PAVÉS EN BÉTON (ENV. 73 DB(A)) ET PAVÉS NATURELS (ENV. 81 DB(A))

Les pavés en béton et, a fortiori, les pavés en pierre naturelle comptent parmi les revêtements routiers les plus bruyants et ne sont donc pas recommandés si l'on accorde la priorité au caractère silencieux du revêtement. Toutefois, si le choix se porte en définitive sur ce type de revêtement (pour des raisons esthétiques, culturelles ou historiques), il est néanmoins possible de maintenir la production de bruit dans des limites raisonnables, à condition de faire des choix judicieux. En effet, tous les pavés ne génèrent pas le même niveau de bruit. Il est possible de construire un revêtement qui n'est pas plus bruyant qu'un revêtement en AC standard.

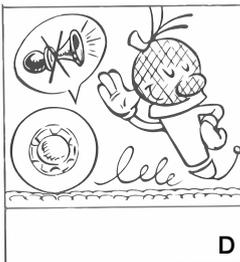
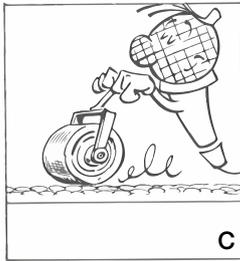
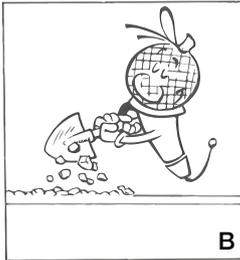
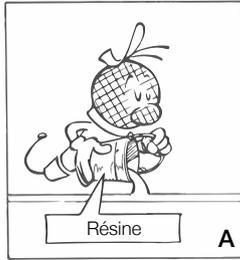


FACTEURS INFLUENÇANT LE BRUIT D'UN REVÊTEMENT EN PAVÉS BÉTON

- ▶ Épaisseur des joints: ne peut pas excéder 8 mm dans le cas de joints transversaux (c'est-à-dire perpendiculaires au sens de circulation) ou 12 mm pour les joints diagonaux. Aussi petits que possible (3 à 5 mm).
- ▶ Distance entre les joints: celle-ci doit être supérieure à 150 mm, indépendamment de l'épaisseur des joints.
- ▶ Nombre d'éléments par m²: pas plus de 36 éléments par m² s'il s'agit de pavés carrés, rectangulaires ou hexagonaux, et pas plus de 39 éléments par m² dans le cas de pavés à imbriquer. Il faut souligner que pour calculer le nombre d'éléments nécessaires dans le cas de pavés avec joints de retrait, il convient de multiplier le nombre de pavés par le nombre d'éléments "apparents" par pavé.
- ▶ Irrégularités dont la longueur d'onde de texture est comprise entre 2 cm et 20 cm sur les pavés: il faut éviter une amplitude de texture supérieure à 1 mm.
- ▶ Appareillage : la préférence doit être donnée à un appareillage en arêtes de poisson, à bâtons rompus et en épis (voir illustrations page 14).

L'étude qui sous-tend les recommandations précédentes (voir la publication Steven H. dans la bibliographie) a été réalisée pour des pavés béton, mais ses résultats peuvent s'appliquer au béton décoratif et aux pavés en pierre naturelle. En ce qui concerne ces derniers, on peut conclure qu'il faut utiliser un type de pavé dont la face supérieure (sciée) est la plus plane possible. Les pavés dont la face supérieure est arrondie, tels les fameux "Kinderkopjes", présentent aisément une amplitude de 1 cm ou plus dans le domaine de texture défavorable.

Ces recommandations visent exclusivement un pavage en pavés béton en bon état (pas d'affaissements, ni d'éléments manquants, etc.). Tous les types de pavés doivent être posés dans les règles de l'art et reposer sur une assise adéquate. Un revêtement en pavés en mauvais état est en effet des plus bruyants!



ENDUITS

REVÊTEMENTS MINCES (ENV. 70 À 66 DB(A))

Les revêtements minces conviennent pour de nombreux endroits en milieu urbain. Ils sont apparus suite au souhait de plusieurs pays européens d'obtenir des revêtements moins onéreux que le PA tout en offrant une durée de vie comparable à celle de l'AC. Un revêtement mince est un revêtement bitumineux dont l'épaisseur est de 3 cm au maximum, et peut ou non avoir une structure drainante.

Le revêtement mince combine plusieurs caractéristiques intéressantes: il est assez bon marché (comparativement à l'AC), absorbe le bruit et est relativement durable. La réduction sonore est obtenue en optimisant la texture. Une application généralisée de ce type de revêtement constitue une façon économique et intéressante pour lutter contre le bruit dans les villes et les communes.

Il faut effectuer un choix bien réfléchi, en tenant compte des conditions spécifiques du lieu, car il ne peut pas être appliqué partout de la même manière. Il est déconseillé aux endroits où se produisent de nombreux efforts tangentiels, comme les ronds-points, les carrefours, les sorties de bus, etc. Les versions drainantes sont particulièrement sensibles au plumage et à la délamination du support. Il faut rechercher un compromis entre la durabilité et le bruit, selon les besoins locaux. Une attention suffisante doit être portée à la mise en oeuvre, étant donné le risque plus élevé de plumage et de détachement du support.

ENDUIT DE RÉSINE SYNTHÉTIQUE (ENV. 63 DB(A))

Des gravillons de dimensions réduites sont répandus (B) sur une couche de liant résineux, qui forme une surface très lisse en raison de son caractère liquide (A). Ces gravillons sont ensuite aplanis au rouleau (C). Le résultat se traduit par l'absence quasi totale de méga-irrégularités et un nombre suffisant de macro-irrégularités. Testé dès le début des années nonante, ce type de revêtement est extrêmement résistant et durable et présente une rugosité élevée et d'excellentes qualités acoustiques (D). Encore rarement mis en oeuvre, son coût est essentiellement lié à la quantité de résine utilisée. Il n'est dès lors utilisé que pour des applications spéciales, comme les approches des ronds-points et carrefours, les virages dangereux, etc., donc aux endroits où une rugosité très élevée est requise. Il n'est pas utilisé comme mesure visant à déduire le bruit.

REVÊTEMENT POROÉLASTIQUE (ENV. 63 À 61 DB(A))

Un revêtement poroélastique est constitué de grains de caoutchouc (généralement issus de pneus moulus), de granulats et d'une résine synthétique élastique (généralement du polyuréthane) comme liant. Il combine une texture fine avec une bonne absorption et une excellente impédance mécanique, trois paramètres qui sont souhaités pour obtenir un revêtement réducteur de bruit.

Il a été démontré que les revêtements élastiques pouvaient présenter des propriétés d'absorption du bruit assez impressionnantes: une diminution du bruit de roulement de 10 dB(A) est possible.

Le développement de ce revêtement en est encore à sa phase expérimentale. Quelques problèmes doivent être résolus avant qu'il puisse être appliqué comme mesure de lutte contre le bruit.



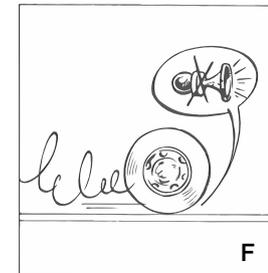
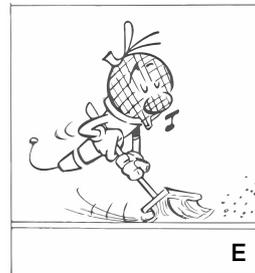
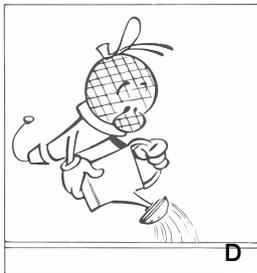
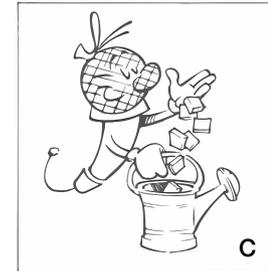
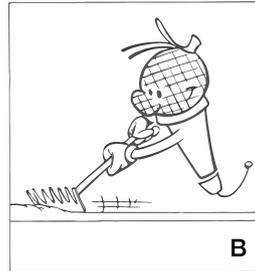
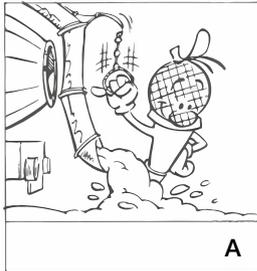
REVÊTEMENT BÉTON DE CIMENT

BÉTON DÉNUDÉ (ENV. 70 DB(A))



Lorsque l'on pose un revêtement en béton, la surface est enduite d'un produit retardateur de prise (dans la pratique, on utilise généralement un produit à base de solution de sucre, mais on peut aussi utiliser des produits chimiques). La fine couche supérieure de ciment non durcie est éliminée après quelque temps, de façon à ce que seuls les éléments durs (fins agrégats) demeurent à la surface. Le béton de ciment est un revêtement extrêmement résistant et durable.

La série de dessins ci-dessous illustre le procédé: (A) pose du béton, (B) lissage, (C) dans la pratique, on utilise une solution à base de sucre comme produit retardateur de prise, avec laquelle on arrose la surface de béton encore humide (D). Entre l'application du retardateur et le brossage, une protection doit être mise en place pour éviter la dessiccation (film plastique). Après environ 24 heures (en fonction des conditions météorologiques et de la composition du béton), le mortier de béton non durci est éliminé à l'aide d'une brosse et/ou d'eau à haute pression (E). Après le brossage, une protection doit de nouveau être mise en place jusqu'à 72h au minimum après la mise en œuvre du béton. Le revêtement obtenu est extrêmement durable et possède des qualités acoustiques correctes (F).



INFLUENCES DES FACTEURS EXTERNES SUR LA PRODUCTION DE BRUIT

INFLUENCE DE L'EAU SUR LE REVÊTEMENT ROUTIER

Jusqu'à présent, nous n'avons parlé que des qualités acoustiques des revêtements par temps sec. Comment la pluie influence-t-elle la bruyance des revêtements ? Le tableau ci-contre indique l'accroissement de la production de bruit en fonction de la quantité des précipitations et de la vitesse des véhicules, sur un revêtement étanche. Dans le cas d'un revêtement présentant une macrotexture suffisante ou une structure poreuse, les précipitations n'entraînent pas d'augmentation notable de la production de bruit.

Quantité d'eau sur le revêtement	0-50 km/heure	50-70 km/heure	> 70 km/heure
Sec	65-71 dB(A)	71-75 dB(A)	> 75 dB(A)
Humide (bruite)	+ 2 dB(A)	+ 1 dB(A)	+ 0 dB(A)
Mouillé (pluie modérée)	+ 4 dB(A)	+ 3 dB(A)	+ 2 dB(A)
Mouillé (forte pluie)	+ 6 dB(A)	+ 4 dB(A)	+ 3 dB(A)



INFLUENCE DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES SUR LA PRODUCTION DU BRUIT

Les qualités acoustiques décrites précédemment s'appliquent à un revêtement sec. Attendu que notre pays enregistre de nombreux jours de précipitations par an, il est intéressant de connaître les qualités acoustiques d'un revêtement par temps pluvieux. L'eau présente sur le revêtement routier peut avoir une influence considérable sur la production de bruit, en fonction du type de revêtement et de la vitesse des véhicules. Par temps de pluie, une fine couche d'eau subsiste sur les revêtements dits "étanches" (non poreux et dépourvus de macro-irrégularités). Il en résulte une augmentation du bruit qui correspond à une multiplication par quatre de l'intensité du trafic. À des vitesses plus élevées, l'augmentation reste limitée à un doublement de l'intensité du trafic.

Dans le cas de revêtements présentant des macro-irrégularités (comme le SMA ou le béton strié) ou poreux (comme le PA), les précipitations n'augmentent pratiquement pas le niveau de pression acoustique. C'est là un avantage supplémentaire des revêtements routiers silencieux.

IRRÉGULARITÉS DUES AUX ÉLÉMENTS ÉTRANGERS

Il n'est pas rare que des éléments "étrangers" au revêtement – des couvercles de bouches d'égout et assimilés – constituent un défaut de planéité local et, par conséquent, une source de bruit. Il convient d'y prêter l'attention nécessaire lors de la pose de la couche supérieure, afin que la surface supérieure de ces éléments soit parfaitement plane par rapport au reste du revêtement. L'augmentation de bruit à des vitesses allant jusqu'à 60 km/h est de 1 à 5 dB(A) au niveau des couvercles d'égout. Il est préférable d'utiliser des couvercles de texture fine. Une grille d'aération – de métro, par exemple (photo) – est un autre exemple d'élément étranger. Ce genre de grille présente souvent une structure régulière, qui produit un son "chantant" gênant lorsque des véhicules roulent dessus - à l'instar du béton strié. Les précautions requises doivent être prises lors de l'installation de ces grilles, afin d'éviter des nuisances excessives pour les riverains.

Les voies de trams au niveau des carrefours peuvent aussi représenter une source de bruit supplémentaire. La meilleure manière de l'éviter est de les placer à un angle de 45° par rapport au sens de la circulation. L'augmentation du bruit peut aller jusqu'à 10 dB(A) à 70 km/h lorsque les rails sont perpendiculaires à la circulation. Aux vitesses urbaines caractéristiques de 30 à 60 km/h, des augmentations de 2 à 9 dB(A) ont été mesurées. Il existe néanmoins sur le marché toutes sortes de systèmes pour atténuer le bruit et les vibrations au niveau des voies de trams (déjà utilisés par la STIB -MIVB).

Plusieurs possibilités permettent d'intégrer des éléments étrangers dans un revêtement bitumineux.



Grille de ventilation d'un tunnel

INTÉGRATION D'ÉLÉMENTS ÉTRANGERS DANS UN REVÊTEMENT

Lors de la pose d'un revêtement bitumineux, deux procédés permettent d'intégrer des couvercles de chambres de visite dans le revêtement :

- ▶ On place d'abord l'anneau d'appui et le couvercle, avant de poser la couche d'enrobé. Il faut alors veiller à ce que le couvercle de la chambre de visite soit à la même hauteur que le revêtement routier dans un rayon de quelques dizaines de cm, mais aussi à la même hauteur que la chaussée dans un rayon de plusieurs mètres. En d'autres termes, le revêtement ne peut pas présenter de saillie ou de dépression autour du couvercle. Dans la pratique, il semble très difficile d'obtenir un bon résultat en procédant de cette façon.
- ▶ Une autre méthode, plus coûteuse, consiste à poser d'abord le revêtement autour de l'emplacement de la chambre de visite et de découper ensuite l'enrobé autour de cet emplacement (avec un bord d'environ 10 cm sur le pourtour). On place ensuite l'anneau et le couvercle. L'espace entourant le couvercle est comblé à l'aide d'asphalte coulé. Celui-ci est porté à une température plus élevée que l'asphalte à chaud traditionnel (230 °C au lieu de 160 °C), mais peut être étendu à la main et ne doit pas être compacté. Ce procédé permet d'intégrer des couvercles de chambres de visite de manière parfaitement plane par rapport au revêtement.



INFLUENCE DE L'USURE SUR LA PRODUCTION DE BRUIT

Les qualités acoustiques des différents types de revêtements peuvent évoluer au fil du temps, en raison de l'usure. L'impact de l'usure peut se résumer comme suit:

- ▶ L'AC présentant une texture superficielle faible ou nulle devient un peu plus bruyant au cours des deux premières années qui suivent la pose. Les qualités acoustiques de ce revêtement demeurent ensuite relativement constantes jusqu'à la fin de sa vie.
- ▶ Les revêtements en béton de ciment conservent plus ou moins les mêmes qualités acoustiques tout au long de leur durée de vie. Il est fait état de pertes annuelles de réduction sonore d'environ 0,1 dB(A) dans le cas du béton dénudé chimiquement.
- ▶ Les revêtements minces sont sensibles au plumage. Une augmentation du bruit y est souvent associée. Dans le cas de types drainants, les vides peuvent se colmater avec le temps. Les valeurs typiquement rapportées font état d'une augmentation sonore annuelle de 0,3 à 0,8 dB(A).
- ▶ Les revêtements à texture très ouverte (PA) perdent progressivement leurs qualités acoustiques, en raison du colmatage des vides (réduction de l'absorption) et du détachement de gravillons de la couche supérieure (augmentation de la mégatexture). L'usure est très rapide dans certains cas et plutôt lente dans d'autres. On peut partir du principe que la réduction de bruit sera de 3 dB(A) au maximum pendant les quatre premières années qui suivent la pose du revêtement.



AUTRES CRITÈRES DE REVÊTEMENTS

RÉPARATION DE REVÊTEMENTS ROUTIERS

Les dégradations du revêtement peuvent également se traduire par un bruit accru. Les réparations sont indispensables, mais doivent être réalisées dans les règles de l'art.

Seul un enrobé bitumineux à chaud assure une réparation durable, sans nuire aux qualités acoustiques du revêtement. La procédure comprend plusieurs étapes à respecter : délimiter le lieu de réparation, inciser à la verticale et enlever le revêtement, nettoyer et sécher, poser un agent collant, poser une garniture d'étanchéité préformée, combler le creux, compacter, réaliser l'épandage superficiel.

Après un an, la section réparée est toujours impeccable.

BÉTON BITUMINEUX

Les revêtements asphaltés peuvent faire l'objet de réparations locales. Dans la pratique cependant, ce type de réparation donne lieu à des méga-irrégularités supplémentaires, qui renforcent les nuisances sonores. Les bétons bitumineux à froid doivent être réservés aux réparations provisoires car ils ne sont pas durables.

BÉTON DE CIMENT

Diverses méthodes (fraisier, polir à l'aide de disques diamant, marteler,...) permettent d'aplanir la surface d'un revêtement en béton de ciment qui présente des méga-irrégularités (en raison de l'usure ou d'erreurs de construction, par exemple) et d'obtenir les macro-irrégularités souhaitées.

Des plaques de béton affaissées – un petit dénivelé est apparu entre les différentes plaques – peuvent être relevées par pression et consolidées moyennant l'injection d'un mélange de béton sous la plaque.

Les petites dégradations locales peuvent être réparées à l'aide de mortiers spéciaux, notamment à base de résine époxy.



COÛT D'UN REVÊTEMENT ROUTIER

Le coût d'un revêtement routier silencieux peut être analysé sous deux points de vue:

Couche de roulement	Coût relatif
AB-1B de référence (AC 0/14)	1
AC (tous types d'épaisseurs)	0,5 - 0,9
AC clouté	1,2
SMA	0,9 - 1,6
PA (monocouche)	0,8 - 0,9
PA (bicouche, 7 cm)	2
Revêtement mince	0,6 - 2
Enduit (bitume)	0,3 - 0,5
Enduit (époxy)	6
Béton (par 20cm)	4,6
Béton (par cm)	0,23
Pavés de pierre naturelle (couche de pose non comprise)	5,7 - 6
Pavés en béton (couche de pose non comprise)	2,9 - 3,6

Le prix d'un revêtement est déterminé non seulement par le matériau choisi et par la quantité, mais aussi par la stratégie d'entretien.

1. Lorsqu'une rue ou une route doit être (re)construite, il faut choisir entre différents types de revêtements. Les conséquences financières de ce choix doivent être chiffrées. Il faut alors peser le surcoût d'un revêtement silencieux un peu plus cher (comparé à un revêtement traditionnel comme l'AC) d'une part, et le gain de confort et de qualité de vie des riverains, d'autre part.
2. S'il s'agit de résoudre le problème du bruit généré par le trafic, la pose d'un revêtement routier silencieux doit également être confrontée à d'autres mesures potentielles (réduire la vitesse, modifier le trafic, placer des écrans antibruit, installer des systèmes d'isolation acoustique dans les habitations,...).

Le coût d'un revêtement routier est déterminé par trois facteurs:

- Les coûts inhérents à la pose.
- Les coûts liés au petit entretien.
- Les coûts liés au grand entretien (remplacer la couche supérieure d'un revêtement en PA, par exemple).

Les coûts dépendent en outre du type de revêtement (béton de ciment armé ou non, béton dénudé, ...). L'épaisseur de la couche supérieure et l'assise jouent également un rôle. La stratégie d'entretien (la durée des cycles définis pour les petits et grands entretiens, ainsi que la nature des mesures d'entretien) est aussi un facteur déterminant en matière de coût. Les choix visant le type de revêtement et la stratégie d'entretien doivent concorder avec le type et l'usage de la route (intensité et composition du trafic).

Le coût relatif par rapport à un AC 0/14 de quelques types de revêtements est donné dans le tableau ci-contre.

CARACTÉRISTIQUES DES REVÊTEMENTS ROUTIERS SILENCIEUX

Le tableau ci-dessous répertorie les principales caractéristiques acoustiques et non acoustiques de l'AC et de quelques revêtements courants silencieux (ou moins bruyants)

	AC	PA	SMA	Enduit de résine	Béton dénudé	Revêtement mince
Atténuation sonore moyenne par rapport à l'AC, en dB(A)	0	3 (monocouche) 5 (bicouche)	1 à 3	Jusqu'à 8	1 à 3	1 à 5
Résistance à la déformation permanente [1]	Bonne	Très bonne	Très bonne	Dépend du support	Très bonne	Dépend du support
Durée de vie moyenne en années	12 à 15	10 à 12 (7 à 9 pour le PA bicouche)	12 à 15	12 à 13	25 à 30	7 à 10
Rugosité (μ) [2]	0,35 – 0,55	0,4 – 0,5	0,4 – 0,55	0,85 – 0,9	0,4 – 0,7	0,35 – 0,55
Porosité	Étanche	Poreux	Étanche	Étanche	Étanche	Étanche
Projections d'eau	Moins bon	Très bon	Moyen	Moins bon	Moyen	Moyen
Entretien structurel [3]	Normal	Joints [4]	Normal	Normal	Normal	Normal
Entretien fonctionnel [5]	Normal	Difficile	Normal	Normal	Normal	Normal
Durée de la pose	5 heures à 1 jour [6]	5 heures à 1 jour	5 heures à 1 jour		3 à 7 jours [7]	5 heures à 1 jour

[1] Orniérage

[2] La rugosité suffisante du revêtement est l'un des paramètres essentiels pour la sécurité des véhicules qui y circulent. μ est un résultat de mesure adimensionnel obtenu à l'aide du SCRIM (Side Force Coefficient Routine Investigation Machine). $\mu < 0,35$: rugosité insuffisante; $0,35 \leq \mu \leq 0,45$: valeur critique et $\mu > 0,45$: rugosité suffisante

[3] Maintien de toutes les qualités, sauf sur le plan acoustique.

[4] Lorsque l'on pose une nouvelle couche supérieure, il faut veiller à éviter la formation de joints étanches entre l'ancienne couche et la nouvelle, afin de préserver une bonne évacuation de l'eau.

[5] Maintien des qualités acoustiques.

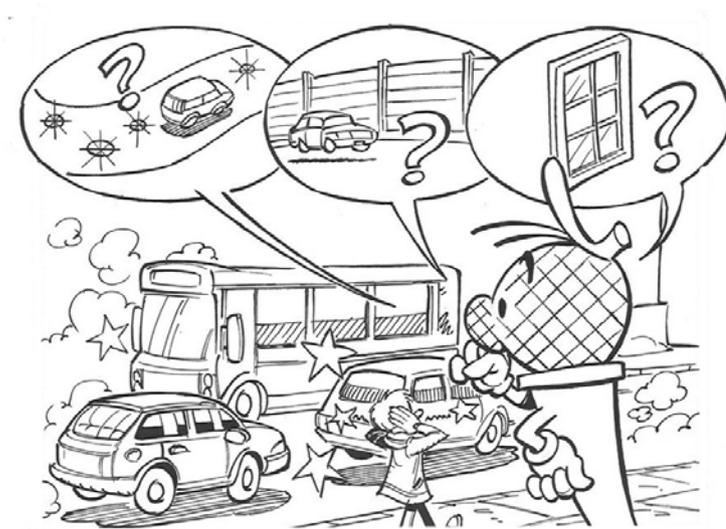
[6] Le refroidissement dépend de l'épaisseur de la couche et de la température ambiante.

[7] Dépend de la longueur de la section à poser.

ÉVALUATION DES DIFFÉRENTES POSSIBILITÉS D'ASSAINISSEMENT DU BRUIT

Il faut se poser les questions suivantes avant de prendre des mesures d'assainissement visant à lutter contre les nuisances acoustiques :

- ▶ Quelles sont les mesures envisageables, en tenant compte de toutes les restrictions (notamment urbanistiques) ?
- ▶ Quelle réduction de bruit peut-on attendre de chacune de ces possibilités ?
- ▶ Quels sont les avantages et les inconvénients, acoustiques et non-acoustiques, des différentes mesures ?
- ▶ Quelle est la mesure assurant la plus forte réduction de bruit et quelle est la plus efficace en terme de coûts ?



RÉFÉRENCES

- ▶ Descornet G. e.a., “Traffic Noise and Road Surfaces: State of the Art”, SI.R.U.US PROJECT, publication du Centre de recherches routières, Bruxelles (2000).
- ▶ Sandberg U., Ejsmont J.A., “Tyre/road reference book”, INFORMEX, Kisa, Suède (2002), tableau 19.8, p. 413.
- ▶ “Kosten en kwaliteit van wegverhardingen”, Vereniging tot Bevordering van Werken in Asfalt, PB 68, 3620 AB Breukelen, voir [http:// www.vbwasfalt.org](http://www.vbwasfalt.org).
- ▶ “Kosten en kwaliteit van wegverhardingen”, Vereniging tot Bevordering van Werken in Asfalt, PB 68, 3620 Breukelen (NL).
- ▶ Steven H., “Geräuschemissionen auf Betonsteinpflaster”, FIGE GmbH, Forschungsinstitut Geräusche und Erschütterungen, Kaiserstrasse 100, 5120 Herzogenrath (D) (1992).
- ▶ “Revêtements de pavés en béton, Conception – Mise en oeuvre”, FEBELCEM, dossier ciment, 8 (1996).
- ▶ « Prescriptions administratives et techniques pour la préparation d’éléments de planification en matière de lutte contre le bruit – Lot 2 – Les revêtements routiers », étude commanditée par IBGE/BIM, réalisée par ATECH/FIGE (1997).
- ▶ « Structures et revêtements des espaces publics – Guide technique », Centre d’études sur les réseaux, les transports, l’urbanisme et les constructions publiques, Ministère de l’Equipement des Transports et du Logement (2001), voir <http://www.certu.fr>.
- ▶ « Mesure du bruit à faibles vitesses et pour différents types de revêtements routiers – rapport interne » IBGE/BIM (1993).
- ▶ « Manuel des Espaces Publics Bruxellois », Région de Bruxelles-Capitale.
- ▶ NBN EN 1342 :2002 « Straatkeien in natuursteen – Eisen en proeven », disponible sur commande auprès de l’Institut belge de Normalisation, voir par exemple [http:// www.bin.be](http://www.bin.be).
- ▶ CCT 2011 - Cahier des charges type relatif aux voiries en Région de Bruxelles-Capitale.
- ▶ www.persuadeproject.eu
- ▶ Typebestek 2011: F.1.2.8.1; SB 250: 6-1.4.10.2 Qualiroutes: G. 1.2.8.1
- ▶ Typebestek 2011: F.1.2.8.3; SB 250: 6-1.4.10.5 Qualiroutes: G. 1.2.8.3
- ▶ Bergiers, A., De Visscher, J., Denolf, K., Destrée, A., Vanhooreweder, B., Vuye, C., “Test sections to study the acoustic quality of thin noise reducing asphalt layers”, ISMA Noise and Vibration Engineering Conference 2014, Louvain, 15-17 septembre 2014
- ▶ “Code de bonne pratique pour le choix du revêtement bitumineux lors de la conception ou de l’entretien des chaussées”, Centre de recherches routières, R78/06 (2006), à commander via www.crr.be
Complété par des informations obtenues par le biais de Margo Briessinck de l’Agentschap Wegen en Verkeer et de Vincent Thibert de Bruxelles Mobilité.



Rédaction : ARIES consultants & CRR (édition 2004) - CRR (édition 2018)
Comité de lecture : J.-L. Simons, F. Saelmackers, E. Monami-Michaux & V. Thibert

Dépôt légal : D/5762/2017/20
Crédits photographiques : Bruxelles Environnement, CRR, Thinkstock

Éditeurs responsables : F. Fontaine & B. Dewulf · Avenue du Port 86C/3000 · B-1000 Bruxelles
Imprimé avec de l'encre végétale sur papier recyclé.