

GENERALITÉS SUR LES BRUITS DE LA CIRCULATION ROUTIERE

1. Généralités sur les bruits de la circulation routière

Introduction

La norme NFS 30001 définit le bruit comme « un phénomène acoustique produisant une sensation auditive considérée comme désagréable ou gênante. »

Les différents types de bruits engendrés par la circulation routière et les procédures de mesure sont présentés dans ce chapitre.

1.1. Les bruits de la circulation routière

1.1.1. Principales sources de bruits de la circulation routière

Il y a deux grandes catégories de bruits : les bruits générés par le régime moteur et les bruits liés à la vitesse de circulation. Il en résulte un bruit de plusieurs sources sonores qui se combinent (tableau I). La prédominance d'une source par rapport aux autres est étroitement liée à la vitesse de déplacement du véhicule.

Tableau I : Principales sources de bruit d'un véhicule motorisé (Bruitparif, 2011)

Source du bruit	Types de source de bruit	Commentaires
Bruit moteur	Source de bruit liée au régime moteur	Le bruit provenant de ces sources est souvent dénommé "bruit du groupe motopropulseur" ou "bruit de propulsion"
Bruit de contact pneumatique/chaussée	Source de bruit liée à la vitesse de circulation	Le bruit de ces sources est appelé « bruit de roulement »
Bruit rayonné par les vibrations et chocs de composants du véhicule		
Bruit aérodynamique		

Concernant le bruit moteur, au cours des vingt dernières années, les constructeurs de véhicules sont parvenus à le diminuer considérablement. Ces progrès font suite aux nouvelles exigences de la réglementation européenne qui fixe des valeurs seuils d'émission du bruit pour un véhicule, lors de son homologation pour être commercialisé sur le marché européen.

Le bruit aérodynamique est dû à la turbulence de l'air et généralement il reste relativement faible par rapport aux autres sources sonores.

1.1.2. Bruits de contact pneumatique/chaussée

Cette source de bruit est liée à la vitesse de déplacement du véhicule. Elle dépend :

- ❖ du type de pneumatique ;
- ❖ de la texture de la surface de la chaussée ;
- ❖ de la capacité d'absorption acoustique de la chaussée.

Le bruit de contact pneumatique/chaussée est un bruit de roulement. Selon Bruitparif (2011), ce bruit augmente avec la vitesse et devient prépondérant à partir de 50 km/h pour l'ensemble du parc des véhicules légers. Pour des vitesses inférieures à 50 km/h, des régimes moteurs importants peuvent néanmoins produire des niveaux sonores très élevés (figures 1 et 2).

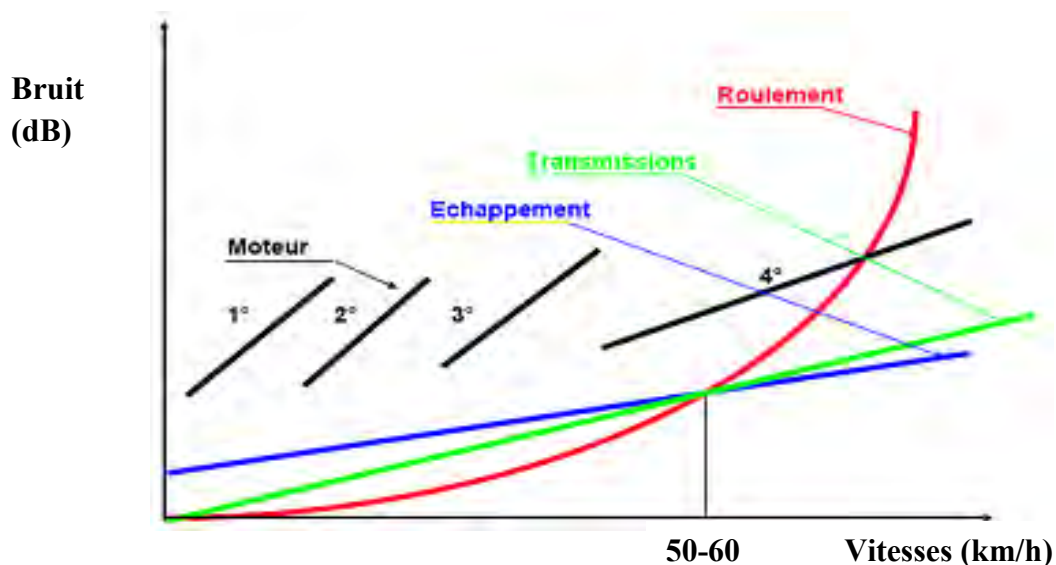


Figure 1: Sources de bruit des véhicules légers (Bruitparif, 2011)

Du fait que sur les nouveaux véhicules, les constructeurs sont parvenus à diminuer considérablement le bruit émis par le groupe motopropulseur, le bruit de contact pneumatique/chaussée devient prédominant à partir des vitesses de 30-40 km/h pour les véhicules légers et de 50-60 km/h pour les véhicules lourds (figure 2). Ces vitesses sont typiques du contexte urbain.

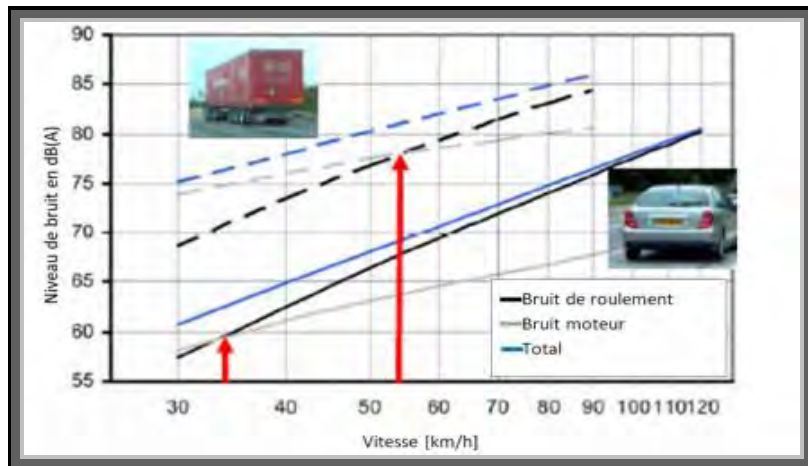


Figure 2 : Bruit moteur et bruit de roulement (véhicules légers et véhicules lourds) (Goubert, 2008)

Les concepteurs de chaussée doivent proposer des revêtements capables de réduire notablement ce bruit. Ce qui nécessite une bonne compréhension des mécanismes physiques à l'origine du bruit de contact pneumatique/chaussée.

1.1.3. Phénomènes à l'origine du bruit de contact pneumatique/chaussée

1.1.3.1 Vibrations des pneumatiques

Lorsque le pneumatique roule sur une surface qui n'est pas parfaitement lisse, les irrégularités entraînent des vibrations de la bande de roulement et indirectement des flancs du pneu. Le rayonnement acoustique de ces vibrations contribue significativement à la production du bruit de contact pneu/chaussée. Ce facteur est d'autant plus important que la route est irrégulière ou que le revêtement est rugueux (figure 3).

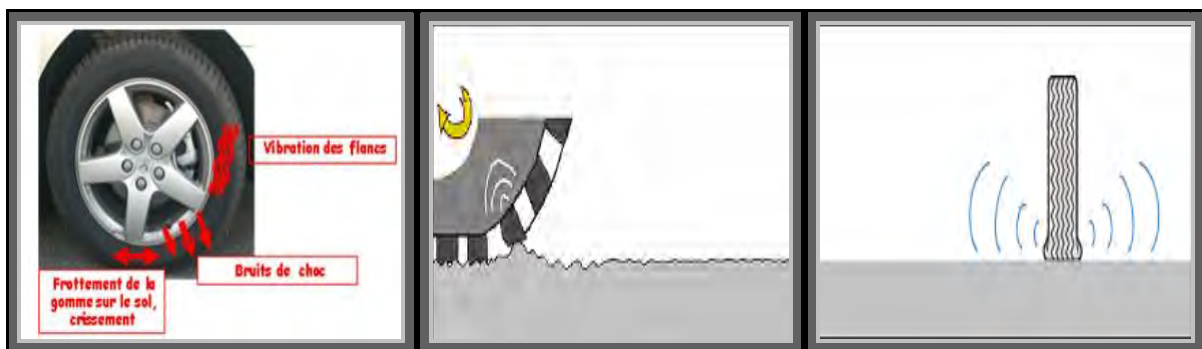


Figure 3 : Bruit dû aux vibrations du pneumatique (Goubert, 2008)

Toutefois, seules les irrégularités suffisamment profondes et larges appelées méga-irrégularités (taille horizontale supérieure à 1,5 à 2 cm) causent des vibrations, celles inférieures à 1-1,5 cm n'en causent pratiquement aucune et sont plutôt favorables.

Les erreurs commises lors de la construction du revêtement peuvent être à l'origine de méga-irrégularités. Les ondulations assez fréquentes sur les surfaces en béton sont dues au mauvais lissage du béton encore humide et constituent un exemple type.

Les méga-irrégularités peuvent aussi apparaître par des phénomènes d'usure tels que les creux, fissures...Par ailleurs, la réduction du calibre des granulats du revêtement routier permet de réduire la taille horizontale des irrégularités.

Outre les vibrations du pneumatique, un autre phénomène constitué par les bruits de chocs (figure 3) directs entre les sculptures du pneumatique et les granulats du revêtement participe au bruit de contact pneumatique/chaussée.

1.1.3.2. Pompage d'air

Un véhicule qui roule sur une surface produit du bruit lié au phénomène de compression puis de détente soudaine de l'air situé entre les pneumatiques et les espaces vides non communicants de la chaussée (figure 4). Lorsque les aspérités de la chaussée sont de petites dimensions (1cm), ce phénomène n'est pas observé ou est largement atténué grâce à une bonne porosité qui facilite la circulation de l'air.



Figure 4 : Bruit dû au phénomène de pompage d'air (COLAS, 2006)

Les aspérités de petites dimensions s'obtiennent généralement en utilisant de petits granulats à la surface. Elles doivent être homogènes et ne pas former un motif régulier qui produirait alors un sifflement. Il convient généralement d'avoir des aspérités suffisamment profondes (au minimum 0,5 mm de profondeur de texture) réparties de façon homogène dans une trame dense et de granularité petite à moyenne (maximum 10 mm). La porosité est liée à la présence de trous en surface communiquant avec les vides présents dans la structure du revêtement.

1.1.3.3. Rayonnement sonore par effet dièdre (ou effet de corne)

Ce mécanisme ne provoque pas de bruit en soi, mais amplifie le bruit généré par les autres phénomènes. Le son peut être répercuté plusieurs fois dans la corne d'air (ou dièdre) formé par le pneumatique et le revêtement routier, ce qui a pour effet de l'intensifier (figure 5). Il s'agit de réflexions successives de l'onde sonore dans le dièdre sur des revêtements fermés à l'avant et à l'arrière de la roue. Sur les revêtements ouverts ou drainants, l'absorption acoustique due aux vides entraîne une diminution de cet effet d'amplification.



Figure 5 : Rayonnement par effet dièdre (COLAS, 2006; Goubert ,2008)

1.1.3.4. Absorption du bruit

Les revêtements routiers ont une capacité à absorber le son qui dépend notamment de la porosité. Les vides reliés contenus dans le revêtement absorbent non seulement le bruit de contact pneumatique/chaussée mais également le bruit du moteur ainsi que les autres bruits environnants (figure 6). Ce qui est particulièrement intéressant en zones urbaines pour des vitesses faibles où les bruits de moteur sont importants. Pour obtenir une absorption efficace, le revêtement doit avoir une bonne porosité. L'absorption augmente avec l'épaisseur.



**Figure 6 : Principaux mécanismes impliqués dans le bruit de roulement
(Bruitparif, 2011)**

Les connaissances théoriques actuelles sont insuffisantes pour permettre de définir précisément les caractéristiques d'absorption avant la réalisation de la route. Les recherches en la matière se poursuivent. Il y a cependant des données empiriques qui permettent d'établir des prévisions. Ainsi, d'après Goubert (2008) une étude belge fondée sur une série de mesures réalisées sur des revêtements ouverts ou drainants présentant une épaisseur et un pourcentage de vides variables, l'absorption acoustique du bruit de roulement (α_L) peut être exprimée en fonction de l'épaisseur de la couche (e) et du pourcentage de vides (v). La formule est la suivante :

$$\alpha_L = 0,005 \, e v$$

α_L exprimé en dB (A)

$$20 \text{ mm} < e < 40 \text{ mm}$$

$$15 \% < v < 25 \%$$

1.1.4. Méthodes de mesure des performances acoustiques des chaussées

Il existe deux méthodes de mesure qui sont complémentaires : les procédures de mesure « au passage » (normes NF EN ISO 11819-1 et NF S 31-119-2) et les procédures de mesure en champ proche ou en continu (normes XP S 31 145 et ISO 11819-2).

1.1.4.1 Procédure de mesure « au passage »

Les mesures sont effectuées à 7,50 m de l'axe de la bande de roulement et à une hauteur de 1,20 m (figure 7). Les conditions opératoires exigent un tracé linéaire, sans pente, sans obstacle direct, revêtement sec,...C'est la méthode la plus utilisée en France. Elle permet de caractériser le bruit de contact pneus/chaussée produit :

- ❖ soit par le passage d'un échantillon de véhicules du trafic,

- ❖ soit par des véhicules d'essai pris isolément hors du trafic.

Cette méthode nécessite la mesure du bruit au passage d'au moins 80 véhicules pour chaque classe. Des corrections de température sont appliquées. Angst (2008) confirme l'efficacité et la pertinence de ces corrections.

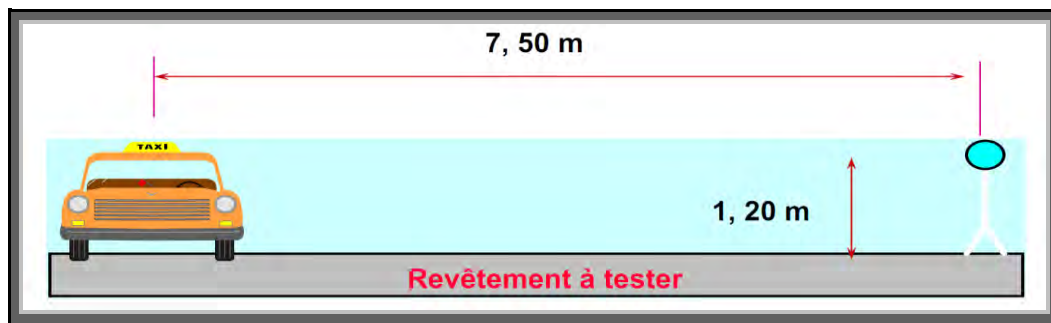


Figure 7 : Procédure de mesure « au passage » (NF S 31-119-2)

1.1.4.2. Procédure de mesure « en continu » ou en champ proche

Des mesures de bruits émis par un ou plusieurs pneus d'essai sur des véhicules en mouvement sont réalisées en champ proche de la roue (figure 8). Les mesures sont effectuées continuellement le long du tronçon de route à caractériser. Ainsi l'homogénéité de l'itinéraire peut être apprécié.

Selon la norme ISO 11819 - 2, les principales exigences à respecter sont les suivantes :

- ❖ mesure du bruit en simultanée par deux microphones ;
- ❖ roue d'essai (roue du véhicule ou roue montée sur la remorque) ;
- ❖ vitesse stabilisée ;
- ❖ niveau sonore et vitesse sont échantillonnés de façon continue ;
- ❖ plusieurs passages peuvent être effectués ;
- ❖ niveau sonore de l'échantillon recalé en fonction de la vitesse et pour une vitesse de référence donnée ;
- ❖ calcul du niveau sonore moyen du tronçon de route considérée et de la dispersion autour de cette moyenne.

Le résultat d'une mesure est la moyenne des niveaux sonores enregistrés par les deux microphones.

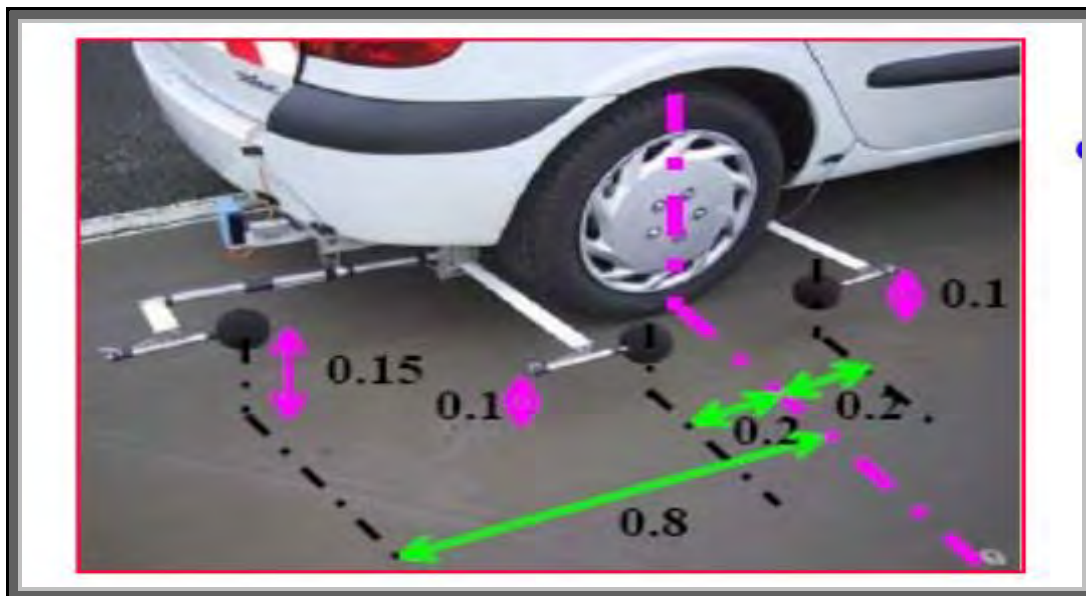


Figure 8 : Procédure de mesure « en continu » (ISO 11819-2)

1.2. Les enrobés phoniques utilisés en France

1.2.1. Définition

Dans leur ouvrage de base, Sandberg et Ejsmont (2002) définissent un revêtement silencieux (enrobés phoniques) comme un revêtement de chaussée qui lorsqu'un pneumatique roule dessus, génère un bruit inférieur d'au moins 3 dB(A) à celui des types de revêtements usuels (bétons bitumineux classiques).

1.2.2. Caractéristiques des enrobés phoniques

Les caractéristiques des revêtements de chaussée jouent un rôle essentiel dans les phénomènes liés au bruit. Pour que des enrobés puissent offrir de bonnes performances acoustiques, il faut agir sur l'ensemble des caractéristiques influant significativement sur le bruit de roulement :

- ❖ le revêtement doit comporter une structure de surface homogène et avoir le minimum d'irrégularités de grande dimension afin d'éviter les phénomènes de vibrations des pneumatiques ;
- ❖ les surfaces cylindrées (compactées au rouleau) sont significativement moins bruyantes que les surfaces comportant un gravillonnage superficiel ;

- ❖ le revêtement ne doit pas être lisse mais au contraire présenter des aspérités de taille horizontale inférieure à 1 cm en quantité suffisante. La granularité doit être fine, si possible inférieure à 8 mm. La texture ouverte favorise la propagation de l'air ;
- ❖ le revêtement doit avoir également une bonne porosité pour disposer d'une capacité d'absorption acoustique significative. L'absorption augmente avec l'épaisseur ;
- ❖ les revêtements possédant de bonnes propriétés viscoélastiques (par adjonction de polymères) permettent d'amortir les vibrations du pneu et donc d'absorber le bruit de façon mécanique.
- ❖ les couches inférieures doivent présenter une bonne stabilité bien que le bruit de roulement soit dû au contact entre les pneumatiques et la couche supérieure de la chaussée. Si l'assise est instable, la couche supérieure ne tardera pas à se fissurer puis à se fragmenter, produisant ainsi un bruit de roulement excessif.

Afin de pérenniser les performances acoustiques, certaines mesures doivent être prises :

- ❖ introduction de filler spécial à fort pouvoir rigidifiant pour éviter les déformations plastiques d'origine mécanique ou thermique ;
- ❖ introduction de liant à fort pouvoir cohésif pour parer à l'arrachement de granulats et ainsi maintenir dans la durée la rugosité de surface.

1.2.3. Genèse et évolution

La plupart des revêtements de chaussée sont de l'un des types : bétons bitumineux, bétons de ciment, pavés, enduits superficiels. En France, les bétons bitumineux sont majoritairement utilisés. Il est possible de citer le SMA, les enrobés drainants mono ou bicouches, les bétons bitumineux minces, très minces et ultra minces qui sont très développés pour lutter contre les bruits de la circulation routière. Ces matériaux de revêtement présentent des performances acoustiques respectivement croissantes.

1.2.3.1. Le SMA

Le SMA (Stone Mastic Asphalt), littéralement « pierres enrobées d'un mastic bitumineux » est un compromis entre le béton bitumineux dense et le béton bitumineux drainant. Il s'agit d'enrobé bitumineux, à granularité discontinue avec un fort pourcentage de granulats et un

fort taux de filler. L'adjonction d'un mortier bitumineux (fines+sable+fibres+bitume) aux granulats forme le SMA (figure 9).

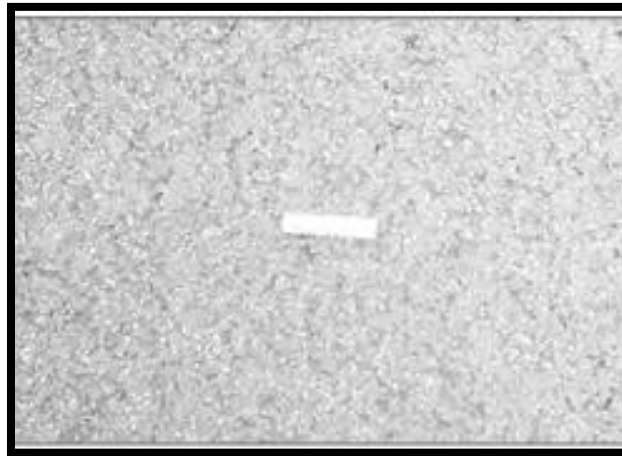


Figure 9 : SMA (Brosseaud et Lede-Vienne, 2004)

Les granulats et les fines sont choisis de façon à ce que le matériau ne soit pas poreux, mais à ce que la couche supérieure vue de dessus ait la même apparence que le béton bitumineux grenu. Son épaisseur varie de 25 à 40 mm et sa surface présente beaucoup de vides autour des granulats relativement gros, mais la structure n'est pas ouverte. Par rapport aux enrobés classiques (denses), le SMA fournit une réduction du niveau sonore de 2 dB(A) en milieu urbain.

1.2.3.2. Béton bitumineux drainant (BBDr)

Ces enrobés d'une épaisseur minimale de 40 mm présentent un fort pourcentage de vides reliés entre eux, au moins de 20 %. Cette porosité est générée par le fort pourcentage de granulats à granularité discontinue. Par exemple, il est possible d'avoir 0/14 discontinu 2/7. Cette forte porosité leur confère outre une grande capacité d'absorption et de drainage de l'eau, de bonnes propriétés d'absorption acoustique de 3 à 9 dB(A) par rapport au béton bitumineux dense selon les contextes (figure 10). Après la pose, le BBDr doit être compacté par vibration ou au rouleau. Il faut également prévoir une couche étanche sous la couche supérieure en BBDr, afin de protéger les couches inférieures de la route contre l'infiltration d'eau.

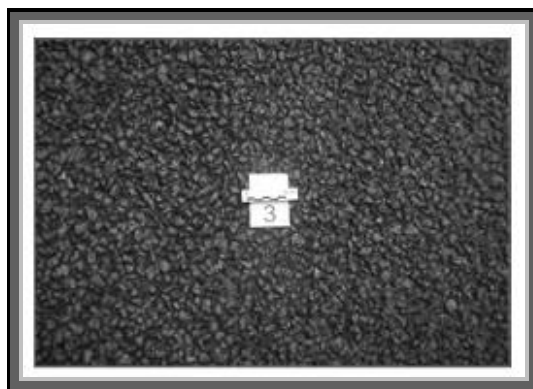


Figure 10 : Béton bitumineux drainant (Brosseaud et Lede-Vienne, 2004)

Il convient de distinguer deux types de BBDr :

- ❖ BBDr monocouche (figure 11 a)
- ❖ BBDr bicouche (figure 11 b), consistant à appliquer une couche de BBDr de petite granularité sur une couche de BBDr de granularité plus élevée. La couche supérieure plus fine est destinée à lutter contre le colmatage de celle d'en bas, elle minimise aussi les vibrations des pneumatiques, ce qui accroît son potentiel de réduction du bruit.

Toutefois, la pose de la couche supérieure exige un grand savoir-faire technique de la part des exécutants.

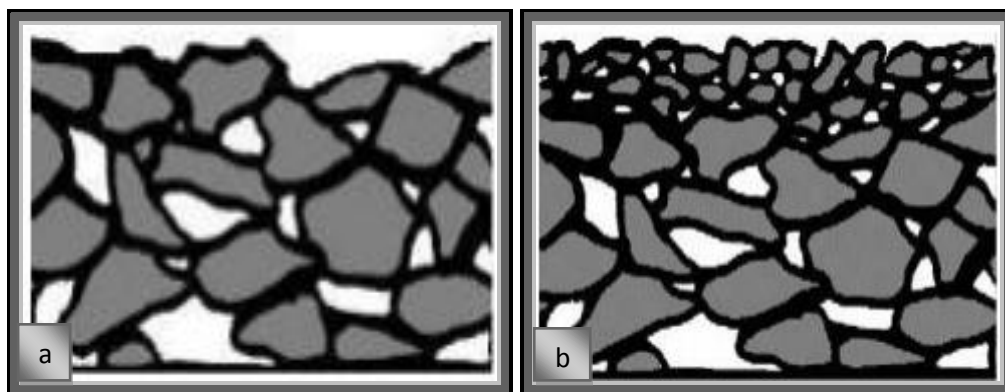


Figure 11 : BBDr monocouche(a) et BBDr bicouche (b) (Bruitparif, 2011)

1.2.3.3. Béton bitumineux mince (BBM), très mince (BBTM) et ultra mince (BBUM)

Parallèlement au béton bitumineux mince traditionnel, fermé, utilisé pour des réparations partielles ou totales de revêtements routiers, il existe des variantes modernes ouvertes disposant de propriétés acoustiques intéressantes.

Mis au point en 1983 d'après le rapport de Bruitparif de 2011, le béton bitumineux très mince est conçu pour obtenir une bonne adhérence, ce qui est fonction essentiellement de sa composition granulaire. Actuellement, en France, les revêtements en couches minces et très minces sont très réalisés pour le réseau urbain. Leur performance acoustique et leur faible épaisseur (moins onéreuse) en expliquent la raison.

Le béton bitumineux mince à texture ouverte est une couche de 2 à 5 cm présentant un pourcentage élevé de gravillons ; il est posé à chaud et compacté au rouleau. Le plus souvent des gravillons à granularité réduite sont utilisés pour réaliser le béton bitumineux mince ou très mince. Il peut avoir une granularité de 0/10 et être dépourvu de gravillons 2/6 d'où l'appellation «discontinu». L'absence d'une classe granulaire permet de diminuer l'épaisseur du revêtement et de favoriser la création d'interstices, améliorant ainsi la porosité et donc les performances acoustiques. En outre, l'intégration dans le liant d'élastomères ou de fibres de cellulose permet de conserver de bonnes propriétés mécaniques, malgré la minceur de la couche.

Selon l'épaisseur, les dénominations sont données dans le tableau II :

**Tableau II : Nomenclature des revêtements minces en béton bitumineux
(Bruitparitif, 2011)**

Catégorie	Epaisseur (mm)
BBM (béton bitumineux mince)	25 à 50
BBTM (béton bitumineux mince très)	20 à 25
BBUM (béton bitumineux ultra-mince)	12 à 18
Microcouche de béton bitumineux	6 à 12

Les performances acoustiques des bétons bitumineux minces varient sensiblement de 3 à 6 dB(A) selon les techniques de pose et les matériaux. Des gains supplémentaires peuvent être obtenus en cas d'utilisation de produits dans lesquels ont été ajoutés des polymères ou des matériaux poreux. La principale différence entre BBTM et BBUM réside sur la notion de dosage moyen au m², plus sélectif qu'un critère d'épaisseur. Le BBUM est moins riche en sable (figure 12).

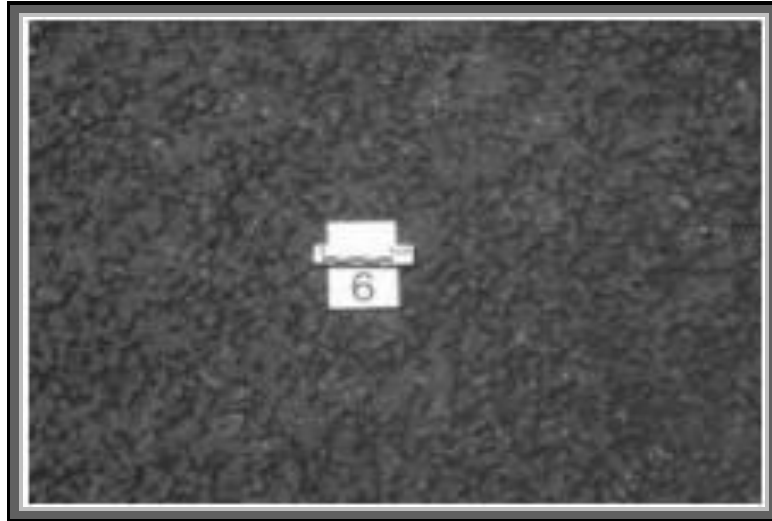


Figure 12 : Béton bitumineux ultra mince (Bruitparif, 2011)

Divers autres produits de dernière génération existent et présentent une absorption acoustique importante. Ils utilisent des granulats de tailles extrêmement réduites. Cette nouvelle génération de produits est récente pour disposer d'un nombre conséquent de mesures concernant les performances. Cependant les formulations de ces nouveaux produits sont développées à partir de l'expérience acquise avec les matériaux des générations précédentes comme les BBTM.

1.2.3.4. Inconvénients des SMA, BBD_r, BBM, BBTM et BBUM

- ❖ Pour le SMA, la formulation est très pointue, la pose demande davantage de soins et son coût est plus élevé.
- ❖ Pour le BBD_r :
 - les pores tendent à se fermer à cause de la boue, de la poussière, des matières huileuses,..., ce qui impacte négativement sur les performances acoustiques et drainantes. En cas de gel, l'eau contenue dans les pores rend le revêtement plus glissant.
 - la résistance des BBD_r aux contraintes tangentielles est plus faible par référence à celle d'une chaussée classique. Ils sont donc inappropriés aux carrefours, au niveau des ronds-points, aux virages serrés,...
 - la mise en œuvre est assez délicate lors de la réfection ponctuelle d'une chaussée.
- ❖ Les bétons bitumineux minces, très minces et ultraminces sont eux aussi inadéquats aux carrefours, aux ronds-points et aux virages serrés du fait de leur faible résistance

aux contraintes tangentielles. De plus, le passage sur une chaussée existante classique en revêtement en couche mince nécessite de réaliser une couche de liaison en plus de la couche de roulement.

Conclusion partielle

La présentation de l'origine des bruits de la circulation routière et de l'impact de l'interaction pneumatique-chaussée, justifie le recours aux enrobés phoniques (comme en France) pour réduire significativement les nuisances sonores engendrées par la circulation routière. La formulation des enrobés phoniques du revêtement routier exige l'étude des granulats, des liants et des additifs adéquats.