

# Vers une pérennité accrue des performances acoustiques des revêtements routiers

## Towards a longer lasting acoustical behaviour of road surface layers

**Jean-Luc Gautier,**  
 Directeur de projets,  
 COLAS SA,  
 4, rue Jean Mermoz,  
 78772 Magny les Hameaux,  
 Tél. : + 33 1 39 30 94 07,  
 Fax : + 33 1 39 30 94 19,  
 e-mail : gautier@ced.colas.fr

*Afin de maîtriser les différents phénomènes responsables de la génération, de l'amplification et de la propagation du bruit de contact pneumatique/chaussée, les laboratoires des sociétés routières ont mis au point divers types de revêtements routiers en variant les paramètres de texture, de porosité et d'impédance mécanique. Si les enrobés drainants se révèlent les plus performants au jeune âge, leur bas niveau de bruit ne se maintient pas, en raison d'un colmatage progressif de leur porosité, contre lequel il n'existe à l'heure actuelle pas de solution économiquement viable. Les revêtements fermés à faible granularité, issus de procédés d'entreprise offrent une autre alternative, qui semble actuellement plus pérenne. Outre le suivi sur plusieurs années de ces performances, les axes de recherche des entreprises routières passeront nécessairement par la mise au point de liants plus résistants, pour accompagner le développement de produits intrinsèquement moins bruyants, au jeune âge comme dans la durée.*

*In order to control the different phenomena responsible for generation, amplification and propagation of tyre – road noise, road contractors' laboratories designed various types of road surface layers, by adjusting different parameters such as texture, porosity and mechanical impedance.*

*Although porous asphalt layers appear to be the most effective material at an early stage, they do not keep their low noise level, due to a progressive clogging of their porosity, which no economical solution can prevent so far.*

*Closed texture layers with a small granularity, which were born within contractors' laboratories, are another option, which seems to be a better lasting one.*

*Beside a monitoring over several years of these characteristics, contractors research goals will integrate the development of more resistant binders, which is one of the key factors for the design of longer lasting low noise surfaces.*

### Rappels des mécanismes responsables du bruit de contact pneumatique/chaussée

Les mécanismes responsables du bruit de contact pneumatique /chaussée ont fait depuis plus de vingt ans l'objet de nombreux travaux, et l'on peut considérer qu'ils sont bien identifiés, même si le détail des phénomènes échappe encore à des modélisations fines.

Ces mécanismes peuvent être regroupés en trois catégories de phénomènes, selon leur position dans la chaîne qui conduira du point de contact entre le pavé de gomme et les gravillons de la chaussée jusqu'à la façade du riverain ou l'oreille de l'automobiliste, soit :

- génération, qui combine plusieurs origines dont les contributions sont inégales,
- amplification,
- et propagation, en champ proche, où les caractéristiques de la chaussée ont prépondérantes, et en champ lointain, où d'autres paramètres notamment de configuration de terrain, et de conditions atmosphériques entrent en jeu.

### Génération

Parmi les nombreux phénomènes contribuant à la génération de bruit résultant du contact entre le pneumatique et la chaussée, on distingue en particulier :

#### **Les mécanismes vibratoires du pneumatique**

Ils sont de deux ordres :

- **Impact** entre les pavés de la bande de roulement du pneumatique et les éléments composant la texture de la chaussée aspérités de la chaussée,
- **Déformation** du pneumatique en roulement lors du passage dans l'aire de contact.

Dans les deux cas apparaissent des vibrations radiales de la ceinture du pneumatique, qui elle-même met ensuite l'air environnant en vibrations. Ce phénomène intervient principalement dans une gamme de fréquences inférieures à 1 000 Hz.

### Les mécanismes vibratoires de l'air

- Le **pompage d'air**, ou «air pumping», provenant de la fermeture puis de l'ouverture de cavités délimitées par la rugosité de la chaussée et couverte par le pavé de gomme, ce qui génère une compression suivie d'une dilatation à grande vitesse de l'air ainsi emprisonné,
- et des **résonances** de type tuyau d'orgue de l'air emprisonné dans ces mêmes cavités.

Ces phénomènes interviennent plus précisément dans une gamme de fréquences comprises entre 1 000 et 2 000 Hz.

Deux autres phénomènes sont par ailleurs cités, qui mettent en jeu cette fois-ci les forces résultant du contact intime entre la gomme et la surface de la chaussée, mais dont la portée ne fait pas l'objet d'un consensus :

- Les mécanismes «stick-slip» c'est-à-dire des cycles successifs d'adhérence/rupture, qui génèrent des vibrations tangentielles dues au **glissement contrarié** par l'adhérence des pavés du pneumatique sur la chaussée.
- L'effet de **ventouse** «stick-snap», qui génère des vibrations radiales dues au phénomène d'adhésion des pavés du pneumatique sur la chaussée puis à l'effort d'arrachement.

### Amplification

De par la géométrie particulière de la roue au contact d'une surface plane, les bruits émis, dont on situe l'origine en moyenne à quelques centimètres au-dessus de l'aire de contact, vont faire l'objet d'une amplification très importante dans la corne située en avant et en arrière de cette aire de contact. Cet effet, appelé **effet dièdre** ou encore effet de corne (horn-effect), affecte particulièrement les gammes de fréquences autour de 1 000 Hz, avec toutefois des différences sensibles de comportement selon la nature plus ou moins poreuse de la chaussée.

### Propagation

Entre l'environnement immédiat de la roue (au sortir de la zone du dièdre), et le sonomètre ou l'oreille du riverain situés à quelques mètres ou quelques centaines de mètres, vont ensuite intervenir les **phénomènes propagatifs** :

- Sur les premiers mètres, la surface de la chaussée, et notamment sa capacité d'absorption de l'énergie sonore vont être le facteur déterminant,
- Au-delà, la configuration géométrique du terrain, sa nature et les conditions atmosphériques conditionnent la propagation de l'énergie sonore, et même si le spectre d'origine a une influence sur le résultat final, ce domaine sort du champ de cet article.

### Les réponses proposées

#### Les paramètres à maîtriser

Si la compréhension, et plus encore la modélisation complète des phénomènes mentionnés, doivent encore faire l'objet de recherches importantes, les principaux paramètres sur lesquels les laboratoires des sociétés routières doivent

agir sont maintenant bien identifiés. Deux d'entre eux sont généralement cités : le profil de texture et la porosité du matériau.

#### Le profil de texture

Le profil de texture a son importance :

- tant du point de vue de l'excitation de la ceinture du pneumatique, avec une corrélation manifeste entre spectre de texture et émission sonore, qui a été mise en évidence depuis plus de vingt ans pour les chaussées dites à texture «positive» (enrobés fermés, revêtements superficiels),
- que du point de vue des vibrations de l'air, puisque le phénomène de pompage d'air est d'autant plus important que le dessin de la sculpture comporte des «culs de sac» et que le revêtement routier est lisse et étanche, car l'air s'échappe moins facilement avant la sortie de l'aire de contact.

Un des paramètres agissant sur ce profil de texture est la taille des granulats composant le revêtement de la chaussée, qui a un impact direct en tant qu'aspérité sur la déformation du pavé de gomme rentrant à son contact, et en tant que surface de contact dans l'emprisonnement d'air à l'origine du mécanisme de pompage d'air.

Pour une même famille de revêtements, on constate ainsi que les revêtements les plus performants sont ceux dont le diamètre maximal des agrégats est minimal (type 0/6 mm par exemple).

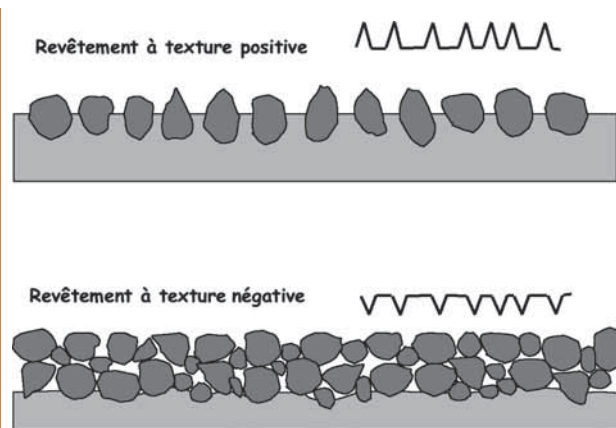


Fig. 1 : Comparaison entre des revêtements à texture positive et des revêtements à texture négative

La maîtrise des conditions de mise en œuvre est aussi fondamentale pour obtenir une texture donnée. En particulier, les conditions de compactage et le type de matériel utilisé lors de la mise en œuvre d'enrobés à chaud, qui déterminent la position des granulats et la présence d'aspérités plus ou moins importantes, correspondant aux angles des cailloux ou au contraire à leurs faces planes.

#### La porosité du matériau

La porosité du matériau de la ou des couches de chaussée, qu'elle soit une porosité inter granulaire, dans la majorité des revêtements, ou une porosité intragranulaire dans le cas de certains procédés spéciaux d'entreprises est le deuxième paramètre influent.

Cette porosité a un double rôle :

- Elle permet l'absorption de l'énergie acoustique aux moyennes et hautes fréquences, par dissipation visqueuse et thermique dans les cavités internes,
- et, d'autre part, elle assure une réduction des phénomènes de pompage d'air, par mise en communication des conduits intergranulaires permettant une meilleure répartition des pics de pression.

Reste enfin à citer l'impédance mécanique de la chaussée, qui va influencer sur les transferts d'énergie entre la chaussée et la gomme du pneumatique, par amplification de l'impact des pavés de la bande de roulement sur une chaussée plus rigide, ou au contraire une atténuation sur une chaussée plus souple. Ce sujet est évoqué depuis plusieurs années, mais n'a pas jusqu'à présent fait l'objet de travaux approfondis.

### Les enrobés drainants

La première réponse apportée à grande échelle par les entrepreneurs routiers résulte d'une découverte quelque peu «fortuite» des propriétés phoniques des enrobés drainants. Conçus au milieu des années 80 pour réduire les projections d'eau et les risques d'aquaplanage sous la pluie, ces enrobés présentent une forte teneur en vides, et particulièrement en vides communicants permettant l'absorption de l'eau dans la masse du revêtement, puis son drainage sous l'effet de la pente en travers du profil et son évacuation latérale.



Photo 2 : Réduction des projections d'eau sur chaussée revêtue par des enrobés drainants

Cette forte porosité permet par voie de conséquence une bonne dissipation de l'énergie acoustique par temps sec. De nombreux travaux de recherche ont permis une bonne modélisation de cette absorption (dont le modèle phénoménologique de JF Hamet, INRETS), maintenant bien maîtrisée, même dans des configurations complexes. Ces modèles font intervenir la teneur en vides communicants, le facteur de forme de ces vides, la résistance au passage de l'air du revêtement et enfin l'épaisseur de la ou des couches de matériau.

Au jeune âge, ces revêtements drainants, dans leur faible granularité 0/6 mm sont les moins bruyants de la base de données sur le bruit du trafic routier gérée par le LRPC de Strasbourg, avec des niveaux moyens de bruit au passage, selon la méthode «Véhicules Isolés» à 90 km/heure de

71 dB (A), contre 78 dB (A) en moyenne pour le revêtement bitumineux généralement considéré comme la référence sur les routes françaises, à savoir le Béton Bitumineux Semi-Grenu (BBSG 0/10 mm).

### Les enrobés fermés à faible granularité et les procédés d'entreprise

En raison des difficultés rencontrées dans l'entretien des enrobés drainants, point qui sera abordé au paragraphe suivant, et qui réduisent le domaine d'application de cette technique, les constructeurs routiers ont, à la fin des années 80, entrepris des recherches qui ont abouti, vers le milieu des années 90, à la mise sur le marché d'une gamme de produits de conception différente.

Mis en œuvre en faible épaisseur, entre 15 et 30 mm, ce qui permet leur application en ville sans générer d'importants travaux annexes, avec des faibles granularités, 0/10 ou 0/6, voire récemment 0/4, et des courbes granulométriques présentant des discontinuités, ces matériaux présentent des porosités plus faibles, de l'ordre de 15 à 25 % de vides à 25 girations sur la presse à cisaillement giratoire.

Leur drainabilité superficielle et leur bon comportement en termes d'adhérence sont assurés grâce à une macrorugosité importante, caractérisée par des hauteurs au sable comprises entre 0,7 et 1,2 mm HSv.

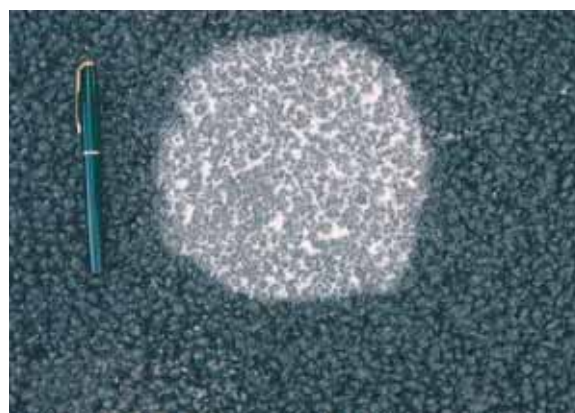


Photo 3 : Essai de hauteur au sable et texture d'un revêtement Miniphone

Les procédés développés par les différentes entreprises font appel à des liants à forte cohésion, généralement modifiés avec des polymères ou ajout de fibres, et sont complétés par l'adjonction de matériaux particuliers, destinés à influencer sur les principaux paramètres mentionnés précédemment, à savoir en particulier :

- Absorption autre qu'intergranulaire,
- Réduction des vibrations,
- Impédance mécanique.

Ces produits sont par exemple de la poudre de caoutchouc de granulométrie contrôlée tels que le Colsoft développé par COLAS, ou des matériaux vacuolaires (pouzzolane, matériaux issus de la sidérurgie) employés dans le Microville de SCREG ou le Miniphone de SACER.

Ces produits, pour lesquels nous disposons maintenant d'un recul de plusieurs années quant à leur comportement mécanique, permettent en général d'obtenir des gains de l'ordre de 5 dB (A) en mesure au passage par rapport à la référence BBSG 0/10.

Les différentes filiales du Groupe COLAS ont ainsi été récompensées pour leurs travaux dans le domaine, par l'attribution du Décibel d'Or 1992 à SCREG pour l'enrobé Microville, et du Décibel d'Or 1995 à COLAS pour le Colsoft.



Photo 4 : Nancy 1991 : premier chantier où du Microville est mis en œuvre par SCREG



Photo 5 : Décibel d'Or attribué à COLAS en 1995 pour le Colsoft



Photo 6 : Mise en œuvre de Miniphone sur l'autoroute A 480 à Grenoble, août 2000



Photo 7 : Mise en œuvre de Colsoft à Poznan (Pologne) en 2000

## Les connaissances actuelles sur la pérennité de ces solutions

### Le manque de données sur l'évolution des performances acoustiques

Il y a encore peu de données disponibles relatives à l'évolution des performances acoustiques dans le temps, et elles ne permettent pas de quantifier un effet vieillissement de manière suffisamment précise pour prédire l'évolution des niveaux sonores.

La base de données du LRPC de Strasbourg commence à se densifier, avec une proportion de revêtements plus anciens qui s'accroît régulièrement. De plus, certains revêtements font maintenant l'objet d'un suivi étalé sur plusieurs années, ce qui va donner des résultats exploitables statistiquement.

Cela permettra d'estimer plus précisément un phénomène observé, mais encore difficilement quantifiable, et de répondre aux questions suivantes : à quel rythme ? jusqu'à revenir aux niveaux antérieurs ? valable pour tous les matériaux ? évolution de la dispersion des mesures ?

Cela répondra à l'attente de tous les acteurs concernés, tant les donneurs d'ordres, que les entreprises pour qui ces données seront autant de sources de progrès.

### Admettre le principe d'une dégradation

Les chaussées sont soumises à l'agression du trafic, et s'usent en conséquence. L'usure des granulats, la réduction de la rugosité du revêtement réduisent l'adhérence. Les déformations du support modifient la qualité de l'uni. La succession des charges engendre la fatigue des couches de structure. Dans ce cadre, il est évident que les caractéristiques acoustiques sont amenées à évoluer elles aussi.

L'objectif à se fixer en termes de pérennité est donc plutôt d'harmoniser l'évolution des performances acoustiques avec la durée de vie d'une couche de roulement, soit 7 à 12 ans selon les trafics concernés.

### Le colmatage des enrobés drainants

Comme indiqué précédemment, les enrobés drainants de granulométrie 0/6 sont actuellement, au jeune âge, les revêtements les moins bruyants de la base LRPC.

Mais on constate que cette efficacité est temporaire, en raison d'un colmatage des vides, qui peut être dû soit à la pollution chronique (poussières, gomme des pneumatiques), soit à des déversements accidentels.

On observe alors, après une éventuelle période de latence qui dure au maximum un à deux ans, une augmentation de l'ordre de 1 dB (A) par an, avec en particulier une perte d'absorption dans les aigus, dont la modélisation du colmatage rend d'ailleurs très bien compte.

Si la vitesse et la densité d'un trafic autoroutier permettent un décolmatage naturel et relativement efficace, il n'en est pas de même pour des chaussées moins rapides, en particulier en milieu urbain ou péri urbain.

D'autre part, les diverses tentatives de décolmatage par eau sous pression et aspiration ont une efficacité toute relative du point de vue hydraulique, et négligeable du point de vue sonore, et cela à des coûts en général prohibitifs.

L'utilisation des enrobés drainants et le maintien de leurs qualités tant hydrauliques que phoniques sont donc soumis à des contraintes importantes quant à leur localisation, qui, comme évoqué précédemment, ont conduit les entreprises routières à rechercher d'autres solutions phoniques.

#### L'évolution des enrobés fermés à faible granularité

Les résultats sur ce type de revêtements sont encore moins nombreux que pour les enrobés drainants, et pour l'instant ne permettent pas de détecter une évolution significative.



Photo 8 : Dégradation des enrobés drainants sur une voie rapide

Ces revêtements sont peu sensibles au colmatage, leur texture évolue peu, et l'on constate même parfois une mise à plat et un polissage des granulats de surface qui engendre une diminution de l'énergie dans la partie basse du spectre.

Ainsi, si les niveaux d'émission évoluent avec le temps, ils tendent plutôt à converger, et l'on remarque que l'étendue des mesures par type de revêtement est plus faible après quelques années.

#### Les dégradations mécaniques

Pour terminer ce chapitre « évolution », mentionnons deux sources de dégradations des chaussées qui se traduisent de manière indirecte par une réduction de leurs performances acoustiques :

- Le vieillissement mécanique de la couche de roulement, qui se traduit par des arrachements, notamment pour des revêtements à porosité élevée, une fissuration, et un désenrobage éventuellement accentué par l'emploi de produits de deverglage, et qui en modifiant la texture du revêtement conduit à une excitation accrue du pneumatique,
- Et les interventions sur chaussées, qui laissent des cicatrices plus ou moins bien effectuées, génératrices de signaux ponctuels non négligeables.

#### Conclusion : les axes de travail

Outre la nécessité de compléter les connaissances sur l'évolution à long terme des performances acoustiques, les principaux axes de recherche dans lesquels les entreprises routières sont engagées sont les suivants :

#### Le renforcement des performances intrinsèques

Le premier axe vise à poursuivre l'amélioration des performances au jeune âge :

- Dans le cadre de procédés d'entreprise, avec l'incorporation d'ajouts plus performants en terme d'absorption et de réduction des vibrations engendrées,
- D'autre part, la poursuite de la réduction de la taille granulométrique, dans des conditions compatibles avec les contraintes du marché des granulats, tout en conservant la nécessité d'établir un compromis avec les autres caractéristiques de surface que les usagers attendent telles que le confort et la sécurité, qui se traduisent en termes d'adhérence ou d'uni.

De nombreuses recherches en cours, en entreprises, mais aussi dans le cadre de programmes plus vastes, tels que le Programme SIRUUS, qui autour d'AUTOSTRADe et SACER a regroupé sept partenaires européens représentant des laboratoires, des centres de recherche, et des entreprises.

#### Les drainants bicouche

Afin de pallier le phénomène de colmatage, les recherches s'orientent maintenant vers la mise au point d'enrobés drainants bicouche : deux couches d'enrobés drainants superposés, avec des granulométries différentes, faible en surface, plus grossière en sous-couche, ce qui permet

d'assurer une lutte contre le phénomène de colmatage, en piégeant les salissures dans la première couche, une faible excitation tirant parti de la taille réduite des granulats au contact du pneumatique et une extension de la plage de fréquences absorbées.

Ces travaux, qui ont débuté il y a quelques années aux Pays-Bas et en Allemagne donnent maintenant de premiers résultats concluants et prometteurs.

### Des liants plus musclés

Avec une taille maximale des granulats de plus en plus réduite, et l'introduction de discontinuités granulométriques étendues, les enrobés bitumineux sont de plus en plus soumis à des sollicitations en cisaillement pour lesquelles il est nécessaire de développer des liants plus résistants et présentant une meilleure cohésion.

De même, des solutions innovantes dont l'origine est à rechercher dans d'autres secteurs de l'acoustique existent, avec des performances exceptionnelles. Mais il s'agit de

traduire en produits routiers, et là aussi se pose le problème de l'efficacité et de la résistance des liants.

Ce problème n'est pas propre aux enrobés phoniques, mais c'est assurément le point d'achoppement sur lequel convergent toutes les recherches actuelles.

### Références bibliographiques

Kuijpers A, Van Blokland G, Tyre/road noise models in the last two decades : a critical evaluation, M + P noise & vibration consultants, Netherlands, Internoise 2001

Bendtsen H. et al., Two layer drainage asphalt noise reduction and clogging, Danish transport research institute, Internoise 2001

Hamet J.-F., Modélisation acoustique d'un enrobé drainant, Rapport INRETS n° 159, octobre 1992

Influence de la couche de roulement de la chaussée sur le bruit du trafic routier, Note d'information CFTR, mars 2001

Dulau B. et al., Mesures «au passage» du bruit de contact pneumatique chaussée : méthodologie, application à l'évaluation des performances acoustiques des revêtements routiers, Bulletin de liaison du LCPC n° 224, janv/ fév. 2000.