

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/238731685>

Relation entre la texture de la chaussée et le bruit rayonné par le pneumatique

Article

CITATION

1

READS

58

4 authors, including:



[Philippe Klein](#)

Institut Français des Sciences et Technolog...

14 PUBLICATIONS 47 CITATIONS

SEE PROFILE



[Fabienne Anfosso Ledee](#)

Institut Français des Sciences et Technolog...

47 PUBLICATIONS 236 CITATIONS

SEE PROFILE



[Denis Duhamel](#)

Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

142 PUBLICATIONS 1,031 CITATIONS

SEE PROFILE

Relation entre la texture de la chaussée et le bruit rayonné par le pneumatique

Jean-François Hamet

Directeur de Recherches, Laboratoire Transports et Environnement, Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, Bron, France.

Philippe Klein

Ingénieur des Travaux Publics de l'Etat, Laboratoire Transports et Environnement, Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, Bron, France.

Fabienne Anfosso

Ingénieur des Travaux Publics de l'Etat, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Nantes, France

Denis Duhamel

Ingénieur des ponts et chaussées, CERMMO, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Champs-sur-Marne, France.

Ali Fadavi

Doctorant, CERMMO, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Champs-sur-Marne, France.

Bernard Béguet

Société MICROdB, Lyon, France

RESUME

Le projet PREDIT Texture & Bruit a pour objectifs de définir et de mettre en œuvre des procédures de mesure et de traitement appropriées à l'évaluation de relations entre les caractéristiques de la chaussée (profil de texture, absorption acoustique; rigidité mécanique) et l'émission acoustique du pneumatique dans le domaine des basses et moyennes fréquences. La phase préparatoire présentée ici concerne l'élaboration de modèles et d'algorithmes de calcul relatifs aux processus de contact (enveloppement) et de rayonnement (effet dièdre) dans l'interaction pneumatique/ chaussée, l'élaboration de procédures de mesures.

ABSTRACT

The main goals of the Texture & Noise PREDIT project are to define and implement measurement procedures and data processing appropriate to the evaluation of the physical relations

between the road characteristics (texture profile, acoustic absorption, mechanical stiffness) and the tyre acoustic emission in the medium and low frequency domain. The first phase presented here concerns the development of numerical and analytical models relating to the tyre road contact (envelopment) and radiation (horn effect) processes and the specifications of measurement procedures.

1 INTRODUCTION

L'importance de la composante roulement dans le bruit de trafic est reconnue. Bien que ce bruit dépende à la fois du pneumatique et de la chaussée des réductions significatives ont été obtenues ces dernières années par des actions sur le revêtement.

L'approche, en général qualitative, vise à réduire les deux principaux phénomènes mis en jeu dans la génération du bruit : l'emprisonnement de volumes d'air entre la chaussée et le pneumatique (air pumping), la mise en vibration du pneumatique par des irrégularités de la chaussée. Les chaussées "peu bruyantes" développées aujourd'hui en Europe sont pour la plupart poreuses, avec une couche de roulement en granulats fins: il est estimé qu'une forte porosité réduit les phénomènes d'air pumping et qu'une faible granulométrie réduit la mise en vibrations du pneumatique. Le bruit généré peut en outre être atténué par une absorption acoustique de la chaussée.

Si les phénomènes mis en jeu dans la génération du bruit pneumatique/chaussée sont pratiquement identifiés, ils sont loin d'être maîtrisés: les niveaux acoustiques mesurés sur une même famille de revêtements présentent une étendue importante [1]. Il devient nécessaire de pouvoir disposer d'outils métrologiques et de modèles d'interprétation permettant de maîtriser la qualité acoustique d'une chaussée et d'évaluer dans quelle mesure et de combien une optimisation d'une caractéristique de chaussée peut réduire le bruit et dans quel domaine de fréquence cette réduction est obtenue.

Le projet PREDIT "Texture & Bruit" porte sur le bruit pneumatique chaussée aux fréquences basses et moyennes. Ses objectifs sont de préciser ou définir et de mettre en œuvre des procédures de mesure et de traitement (des données) appropriées à l'évaluation de relations entre les caractéristiques de la chaussée et l'émission acoustique du pneumatique dans ce domaine de fréquences. Les mises au point de ces procédures s'appuient sur des modélisations concernant le contact pneumatique/ chaussée, le rayonnement acoustique du pneumatique et l'effet dièdre.

Le projet est financé dans le cadre du programme PREDIT 1996-2000 "bruit et nuisances sonores". Il regroupe des organismes de recherche (INRETS, LCPC, ENPC) et des industriels (COLAS S.A., Gerland-Routes, MICRODB).

2 LES CARACTERISTIQUES DE LA CHAUSSEE

Les caractéristiques de la chaussée prises en compte dans le cadre de ce projet sont : le profil de texture, l'absorption acoustique, la rigidité mécanique.

2.1 Le profil de texture de la chaussée

La mise en vibrations du pneumatique lors du roulage est associée au défilement du profil de la chaussée et donc au spectre de ce profil. Des études expérimentales effectuées dans les années 70 ont montré que pour une vitesse de 80 km/h le bruit basse fréquence est corrélé positivement à la texture dans le domaine des longueurs d'onde voisines de 80 mm (une augmentation de la profondeur de texture entraîne une augmentation du bruit) alors que le bruit haute

fréquence est corrélée négativement à la texture dans le domaine des longueurs voisines de 5 mm (une augmentation de la profondeur de texture entraîne une réduction du bruit) [2]. Des analyses quantitatives de ces corrélations ont permis à quelques auteurs de proposer des formulations permettant d'évaluer le bruit de roulement en dB(A) à partir du spectre de texture [3, 4, 5].

Les évaluations effectuées à partir de ces formulations, sur l'échantillon de chaussées considéré dans [6] pour lequel ont été effectuées des mesures SPB et des relevés de texture, sont résumées sous forme graphique (Figure 1).

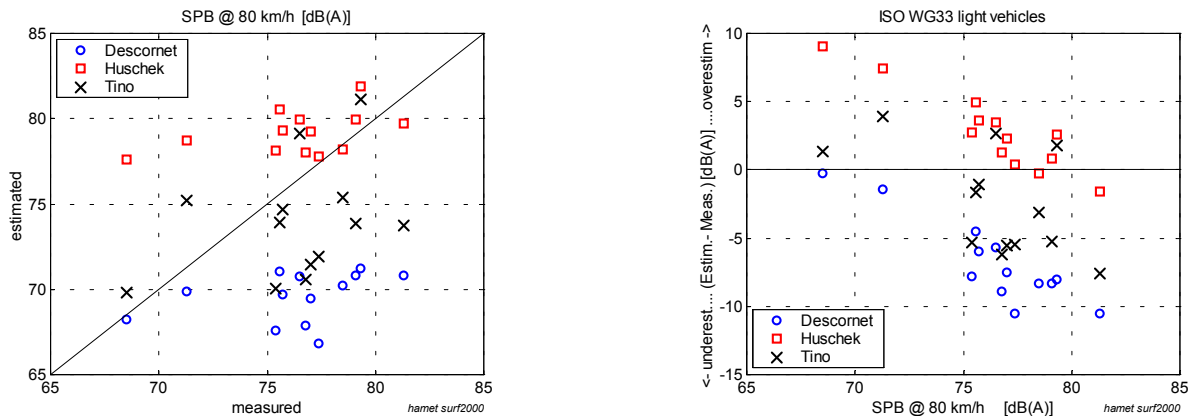


Figure 1 Estimations des niveaux SPB à partir des spectres de texture mesurés dans [6].
Gauche : estimations vs. mesures.- Droite : erreur d'estimation vs. mesure

On constate que si les prévisions vont dans le même sens que les mesures (graphique de gauche), elles ont tendance à surestimer les chaussées silencieuses et sous-estimer les chaussées bruyantes (graphique de droite).

2.1.1 L'enveloppement du pneumatique

Les tentatives de corrélation texture/ bruit, effectuées sur des revêtements poreux, se sont avérées décevantes. Les revêtements poreux ne sont d'ailleurs pas pris en compte dans la formulation la plus récente [5]. Une explication avancée est que ces revêtements présentent une texture avec des creux prononcés dont la profondeur influe sur le niveau du spectre de texture mais serait, à partir d'une certaine profondeur, sans effet sur le bruit. Pour que le spectre de texture soit représentatif de la partie du profil réellement 'vue' par le pneumatique, il faut préalablement effectuer l'enveloppement de ce profil (cf. Figure 2). Une tentative d'effectuer une sorte de lissage [7]. ne semble pas avoir donné entière satisfaction à leurs auteurs. Il apparaît nécessaire de reproduire autant que faire se peut la physique du contact.

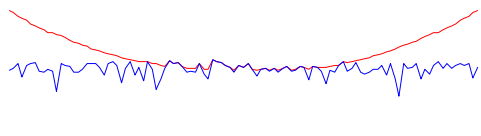


Figure 2 : illustration de l'enveloppement du profil de texture par le pneumatique

Deux approches sont considérées: une approche statique dans laquelle le pneumatique est assimilé à un massif élastique (projet PREDIT), une approche dynamique dans laquelle la carcasse du pneumatique en roulement est modélisée par une plaque sous tension et la gomme de la bande de roulement par des ressorts indépendants (projet européen SI.R.U.US.). Dans les

deux approches l'enveloppement est fonction d'un paramètre: le module d'élasticité du massif élastique ou la raideur de la gomme.

Deux exemples d'enveloppement statique sont donnés Figure 3 : l'un pour un profil relevé sur un Béton Bitumineux, l'autre pour un profil relevé sur un Enrobé Drainant. Les évaluations sont effectuées pour des modules d'élasticité de 1, 5 et 20 MN/m².

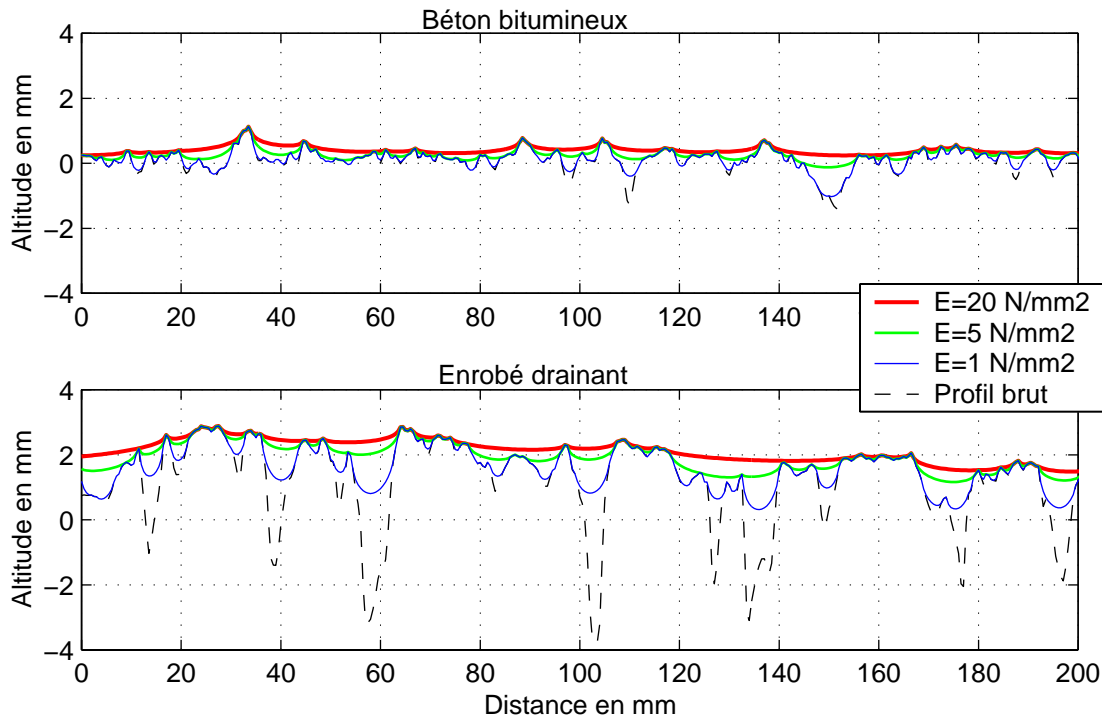


Figure 3. Exemples d'enveloppement du profil en fonction du module d'élasticité E

La valeur du module d'élasticité à retenir sera déterminée empiriquement à partir d'un large échantillon de surfaces routières: ce sera celle qui donnera les meilleures corrélations spectre de texture enveloppée/ spectre de bruit sur l'ensemble de l'échantillon.

N.B. Cette résolution "physique" de l'enveloppement permet de traiter "automatiquement" les problèmes de rejets ("drop out") rencontrés dans des mesures de texture lorsque les creux, trop prononcés, sortent de la plage de mesure du système.

2.1.2 La mesure du profil de texture

La texture de la chaussée peut être relevée en utilisant des systèmes statiques (relevés par tronçons de l'ordre du mètre) ou embarqués (relevés en continu). L'appareillage de mesure de texture a fait et fait encore l'objet de recherches mais principalement pour l'étude de la relation texture/adhérence. Une nouvelle campagne de mesure au plan mondial est en cours d'élaboration par l'AIPCR (l'acoustique ne sera pas prise en compte). Sur le plan normalisation, la situation est similaire: les travaux portent sur la caractérisation de la texture vis à vis de l'adhérence, pas vis à vis du bruit de roulement. La caractéristique principale utilisée pour l'adhérence reste la profondeur de texture (moyenne & écart type). Les tentatives de mise en relation de cette profondeur moyenne de texture avec le bruit pneumatique s'avèrent infructueuses.

L'évaluation du spectre de texture implique que l'échantillonnage soit précis et régulier. Le pas d'échantillonnage du système embarqué peut être perturbé par une variation de vitesse du véhicule. Nous avons donc retenu pour cette phase de mise au point le principe du système stati

que. L'inconvénient de ce dispositif est, par contre, sa longueur d'auscultation limitée (de l'ordre du mètre au maximum) qui ne permet pas de descendre en deçà de 0.5 m de longueur d'onde environ dans l'analyse spectrale.

2.2 L'absorption acoustique de la chaussée

Aucune recherche particulière n'est effectuée ici sur la modélisation de l'absorption acoustique de la chaussée dans le cadre de ce projet : les procédures de mesure sont aujourd'hui maîtrisées (en laboratoire et sur site), les modèles sont éprouvés (voir cependant § 3.1 L'étude de l'effet dièdre). Des mesures d'absorption sur site seront par contre systématiquement effectuées en parallèle avec les mesures de bruit. La méthode consiste analyser en intensité et en fréquence, la réflexion d'un signal impulsionnel synthétique (du type MLS ou sinus balayé en fréquence) émis par un haut parleur en incidence normale. Une description de la méthode est donnée dans [8].

2.3 La rigidité mécanique de la chaussée

Une troisième caractéristique à considérer est la rigidité mécanique de la chaussée. Son influence potentielle sur le bruit de roulement a été abordée dès les années 70 mais jamais véritablement analysée alors qu'elle est parfois mise en avant comme facteur explicatif : les chaussées en béton de ciment, seraient plus bruyantes que celles en béton bitumineux parce que plus rigides; la décroissance du bruit de roulement sur les chaussées "noires" lorsque la température augmente s'expliquerait par un ramollissement du liant; inversement, le vieillissement des liants au bitume, entraînerait une augmentation de leur rigidité et par là une augmentation du bruit de roulement. Les modèles dynamiques de l'interaction pneumatique/ chaussée peuvent incorporer une raideur locale (force/déplacement) de la chaussée. Le problème principal reste la mesure de cette raideur. Le travail, dans le cadre de ce projet, consistera dans une première phase à effectuer une étude de faisabilité puis éventuellement concevoir et mettre en œuvre une procédure de mesure adaptée.

3 LE BRUIT DE CONTACT PNEUMATIQUE CHAUSSEE

3.1 L'étude de l'effet dièdre

L'effet dièdre est fondamental dans le rayonnement acoustique du pneumatique. Un pneumatique isolé serait une source de bruit médiocre. Le bruit est important parce qu'il se produit un effet mégaphone (effet dièdre) entre les surfaces du pneumatique et de la chaussée.

3.1.1 Modélisation

La modélisation du phénomène est complexe compte tenu de la géométrie. Les démarches analytiques assimilant le pneumatique à un cylindre doivent se limiter à une modélisation à deux dimensions (pneumatique infiniment large). Une fonction de correction est cependant introduite pour tenter de tenir compte de l'effet de largeur [9]. L'effet d'absorption acoustique n'est pris en compte que de façon schématique.

La démarche suivie dans le cadre de ce projet comporte quatre phases:

- 1) Modélisation analytique 2D (cylindre) et 3D (sphéroïde) de l'effet dièdre produit par un pneumatique au dessus d'une surface parfaitement réfléchissante [10]. Cette modélisation est basée sur la décomposition du champ acoustique sur les modes de propagation extérieure :

modes cylindriques pour le 2D, modes sphériques pour le 3D. La condition de réflexion parfaite de la chaussée est satisfaite par l'introduction d'un réflecteur image (cylindre ou sphère). La source sonore est définie par une distribution de vitesse à la surface du cylindre ou de la sphère; la distribution peut être localisée (modélisation d'une source ponctuelle) ou étendue (mode vibratoire par exemple). Le champ acoustique correspondant au rayonnement du mode cylindrique d'ordre 6 à la fréquence 2000 Hz est illustré Figure 4.

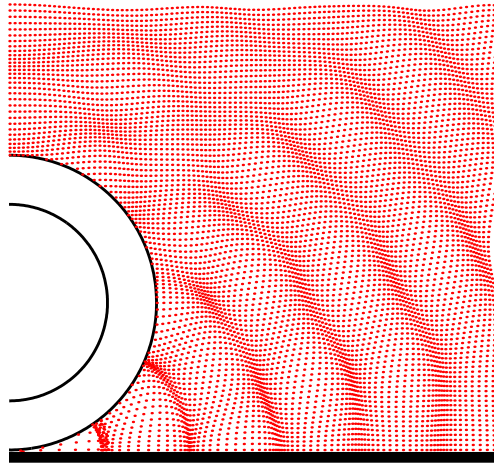


Figure 4 : Représentation du champ acoustique pour le mode de vibration d'ordre 6 d'un cylindre à 2000 Hz

Des cas types (rayonnement d'une source ponctuelle, rayonnement de la surface en vibrations) sont alors définis pour servir de cas de référence dans la mise au point et la validation des codes de calculs.

N.B. L'amplification est définie par le rapport entre la pression créée par la source en présence du dièdre et une pression créée par la source dans une condition dite de référence. Deux conditions peuvent être considérées: dans l'une, dite standard, la source est bafflée par la chaussée (surface infinie); dans l'autre, dite de Kropp, la source est bafflée par le pneumatique (surface finie). Le champ acoustique de référence, et donc l'effet d'amplification, ne sont pas les mêmes dans les deux cas [10].

2) La modélisation en 2D par méthode d'éléments finis de frontière (BEM) a été entreprise à l'aide du code CESAR-LCPC. Très schématiquement, cette méthode consiste à résoudre le problème uniquement sur les contours, par des techniques numériques classiques de discrétisation des contours, interpolation et résolution d'un système d'équation linéaires dont les inconnues sont la pression acoustique en chacun des nœuds du contour. Le niveau sonore est calculé ensuite en n'importe quel point de l'espace. Cette technique permet d'envisager des géométries quelconques (le contact entre le cylindre et la chaussée peut être ponctuel dans le cas du cylindre rigide ou linéique dans le cas du cylindre souple), mais nécessite un temps de calcul important : la taille du système est proportionnelle à la fréquence étudiée. Les propriétés d'absorption de la chaussée peuvent être prises en compte par l'introduction d'une condition aux limites spécifique (relation d'impédance acoustique). Celle-ci est établie à partir du modèle phénoménologique [11].

La comparaison entre les résultats numériques de CESAR-LCPC et les résultats du modèle analytique pour une configuration de pneumatique (cylindre) sur chaussée réfléchissante a permis, dans un premier temps, de régler les maillages et valider l'algorithme (cf. Figure 5). Des

conditions d'absorption sur la chaussée (cas des chaussées poreuses), ont ensuite été introduites pour quantifier leur influence sur l'effet dièdre. L'exemple donné Figure 5 montre qu'une chaussée absorbante peut fortement réduire l'effet dièdre au voisinage de 1 kHz, domaine de fréquence où domine en général le bruit de contact pneumatique chaussée.

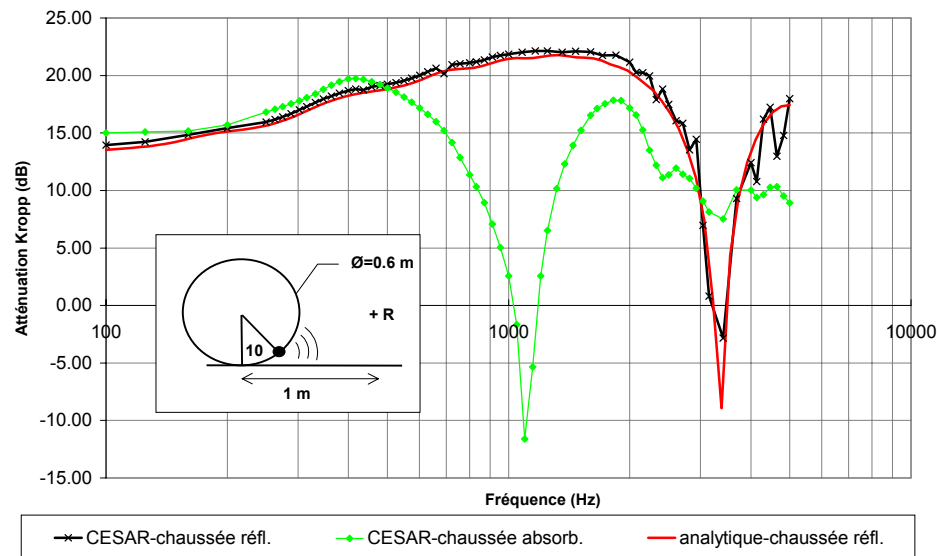


Figure 5 : effet dièdre en 2D au point R, référence de Kropp. Comparaison des modèles analytique et numérique, et introduction de l'absorption de la chaussée

3) Modélisation par code de calcul 3D (code SAMRAY de l'ENPC) sur chaussée parfaitement réfléchissante, étude de la possibilité de prise en compte de l'absorption pour cette géométrie.

La géométrie du pneumatique en dimension 2 est un cercle de rayon 0.3 m. La source est placée à 10° par rapport à la verticale passant par le centre du pneumatique. Elle est de largeur 10° . La géométrie du pneumatique en dimension 3 est une galette de même rayon et de largeur 0.1 m. La source de largeur et d'étendue 10° est placée au même endroit que dans le cas 2D. En outre, pour se rapprocher plus du cas réel, une partie des flancs à proximité de la source vibre avec la même amplitude.

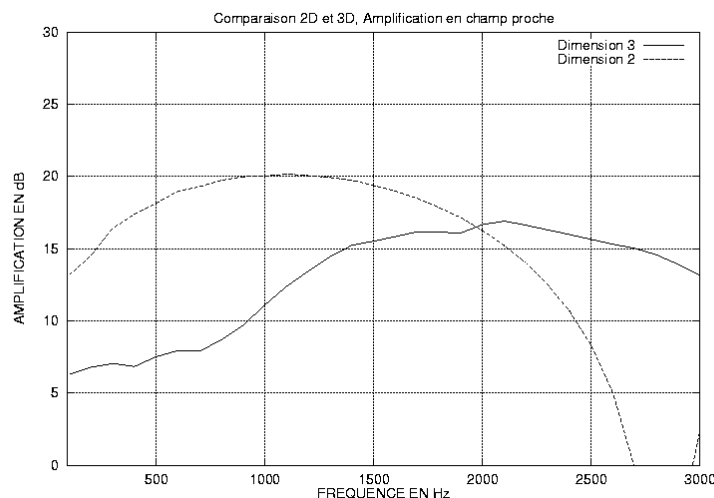


Figure 6 : Effet dièdre, référence de Kropp. Comparaison des évaluations 2D & 3D.

Sur la Figure 6 sont représentés les résultats du calcul (méthode de Kropp) de l'amplification dans la bande 0-3 KHz . L'effet dièdre en 3D diffère fortement de l'effet en 2D, principalement parce qu'en 3D le pneu ayant une largeur finie, l'onde sonore peut le contourner. L'amplification est plus faible aux basses fréquences, l'effet d'interférence aux hautes fréquences (réduction de l'amplification) est nettement moins prononcé.

4) Les résultats des codes seront ultérieurement synthétisés sous forme de fonctions de correction 2D-3D pour la modélisation analytique (mieux adaptée sur le plan opérationnel).

3.1.2 Etude expérimentale

Les vérifications expérimentales seront effectuées en laboratoire et sur site.

Les vérifications en laboratoire consisteront à mesurer l'amplification sonore par rapport à un champ libre de tout obstacle en un microphone placé à proximité d'un cylindre. Celui-ci sera obtenu à partir d'une buse en béton lisse de 5 m de long et de rayon 60 cm. Le bruit de contact pneumatique – chaussée sera remplacé par une source de bruit ponctuelle (chambre de compression) placée à proximité du contact. Le cylindre sera placé successivement sur une surface réfléchissante, puis sur une planche de section poreuse.

Les vérifications sur site utiliseront une méthode embarquée: le bruit est mesuré au voisinage d'un des pneumatiques arrières d'un véhicule. Pour la vérification de l'effet dièdre, une exploration méthodique du champ de pression acoustique au voisinage du pneumatique sera effectuée. Pour cela, un système de captation multi-microphones sera utilisé. La géométrie retenue consiste en deux ensembles de 4 microphones disposés en $\frac{1}{4}$ de cercle (Figure 7) Les signaux peuvent être pris individuellement (exploration du champ acoustique) ou moyennés, ou même configurés en antenne directive.

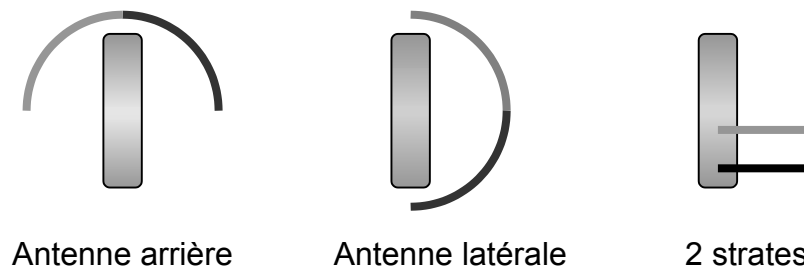


Figure 7 schématisation des utilisations possibles des systèmes $\frac{1}{4}$ cercle

La connaissance du champ acoustique au voisinage du pneumatique permettra de préciser les positions de microphones adaptées aux mesures de niveaux dans le cadre de la mise en relation texture – bruit (voir ci-après).

3.2 La mesure des niveaux de bruit

Le bruit de contact pneumatique chaussée est fonction des caractéristiques du pneumatique (largeur de la bande de roulement, répartition des motifs, raideur de la gomme, etc). Il n'est donc pas possible à priori d'obtenir des résultats représentatifs du bruit trafic si l'on utilise une seule configuration pneumatique pour caractériser expérimentalement un revêtement vis à vis du bruit de contact pneumatique chaussée. Ceci est pris en compte dans procédures normalisées ou en cours de normalisation.

La méthode SPB effectue une évaluation statistique des niveaux relevés sous trafic réel [12]. Elle distingue différentes catégories de véhicules (véhicules légers, poids lourds, ...). Cette méthode n'est pas applicable sur pistes d'essais (absence de trafic). Les configurations pneumatiques ne sont pas maîtrisables. Elle n'est donc pas adaptée aux contraintes expérimentales de cette recherche.

Deux procédures expérimentales seront mises en œuvre: des mesures au passage, des mesures embarquées.

3.2.1 La méthode vm.

Les mesures au passage seront effectuées selon la procédure décrite dans la norme [13]. mais en utilisant un seul véhicule. Ce véhicule est équipé successivement de deux montes de pneumatiques différentes. Huit passages sont effectués pour chacune des deux configurations. Chaque passage est caractérisé par le niveau de bruit maximum et la vitesse du véhicule mesurée à l'aide d'un cinémomètre. Cette dernière doit être supérieure à 50 km/h pour que le bruit de contact pneumatique – chaussée prédomine. Une régression linéaire est ensuite effectuée sur tous les relevés, permettant de définir un niveau de référence à 90 km/h. Cette procédure est voisine de celle utilisée par [2] dans la mise en relation texture – bruit. Il est à noter par ailleurs que les mêmes pneumatiques sont utilisés sur les différentes chaussées. La méthode qui est maintenant bien éprouvée, offre une garantie de résultats. Elle servira donc de référence au développement de la méthode embarquée et les doubles mesures permettront en outre d'alimenter une réflexion sur la comparabilité des deux méthodes.

3.2.2 La mesure embarquée

L'inconvénient majeur des procédures au passage est qu'elles ne caractérisent que la portion de chaussée au droit du microphone. Les mesures en embarqué sont une réponse possible à ce problème.

Le projet de norme CPX [14] est en cours d'élaboration. Deux types de véhicules peuvent être utilisés (remorque ou véhicule autopropulsé, type véhicule léger par exemple), quatre pneumatiques sont préconisés à ce jour, les niveaux de bruit sont relevés en deux emplacements.

Un des objectifs fixés dans le cadre de ce projet est de s'appuyer sur les résultats de l'analyse du champ acoustique au voisinage du pneumatique pour définir une procédure dont les résultats soient compatibles avec ceux de la méthode au passage. Ceci, en prenant en compte, autant que faire se peut, les recommandations ISO.

Les pneumatiques utilisés seront les mêmes que ceux pris pour les mesures vm. La correspondance mesure embarquée, mesure au passage sera ainsi effectuée pneumatique par pneumatique.

4 CONCLUSION

Le projet PREDIT Texture & Bruit a pour objectifs de préciser ou définir et de mettre en œuvre des procédures de mesure et de traitement appropriées à l'évaluation de relations entre les caractéristiques de la chaussée (profil de texture, absorption acoustique; rigidité mécanique) et l'émission acoustique du pneumatique dans le domaine des basses et moyennes fréquences.

Le projet est subventionné en deux phases. La première, qui porte sur la période 1999-2000. est une phase préparatoire: élaboration de modèles et d'algorithmes de calcul relatifs aux pro

cessus de contact (enveloppement) et de rayonnement (effet dièdre) dans l'interaction pneumatique/ chaussée, élaboration de procédures de mesures.

La deuxième sera consacrée aux expérimentations, sur un échantillon représentatif de revêtements, et à l'évaluation proprement dite des relations texture/ bruit, prenant en compte les phénomènes d'absorption acoustique et de rigidité mécanique.

BIBLIOGRAPHIE

1. Dulau B., Doisy S., Haettel J., "Mesures au passage du bruit de contact pneumatique chaussée : méthodologie, application à l'évaluation des performances acoustiques des revêtements routiers", *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées* **224**, 2000.
2. Sandberg U., Descornet G., "Road surface influence on tire/road noise", *Internoise, Miami*, 1980.
3. Huschek S., "Characterization of pavement surface texture and its influence on tyre/road noise", *3rd International Symposium on Pavement Surface Characteristics, Christchurch*, 1996.
4. Descornet G., et al., "Traffic noise and road surfaces : State-of-the-Art", *SI-RUUS.RPT.TE.001.01* 1999.
5. Domenichini L., et al., "Relationship between road surface characteristics and noise emission", *1° International Colloquium on Vehicle Tyre Road Interaction, Rome*, 1999.
6. Stevens H., et al., "International validation test for the "close proximity method" (CPX)", TÜV Automotive GmbH, M+P Raadgevende ingenieurs bv, 2000.
7. von Meier A., van Blokland G.J., Descornet G., "The influence of texture and sound absorption on the noise of porous road surfaces.", *Second International Symposium on Road Surface Characteristics, Berlin*, 1992.
8. ISO/DIS 13472-1 : "Acoustics - Procedure for measuring sound absorption properties of road surfaces in situ - Part 1: extended surface method". 1999.
9. Kropp W., "Ein Model zur Beschreibung des Rollgeräusches eines unprofilierten Gürtelreifens auf rauher Strassenoberfläche", PhD, T. U. Berlin 1992.
10. Klein P., "Effet dièdre : étude du modèle de Kropp", *MMA 9807*, INRETS, 1998.
11. Hamet J.-F., Bérengier M., "Acoustic characteristics of porous pavements: a new phenomenological model", *Internoise, Leuven*, 1993.
12. ISO CD 11819-1 : "Acoustics - Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1 : the Statical Pass-By method". 1997.
13. AFNOR NS. 31-119 : "Caractérisation in situ des qualités acoustiques des revêtements de chaussées. Mesurages acoustiques au passage - Procédure "Véhicules Maîtrisés". 1999.
14. ISO CD. 11819-2 : "Acoustics - Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2 : the close-proximity method". 1997.