MESURE EN CONTINU DU BRUIT PNEU-CHAUSSÉE SUR LE RÉSEAU ROUTIER DU MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC

Par

Nadia Pouliot, Ministère des transports du Québec Alan Carter, École de technologie supérieure Pierre Langlois, Ministère des transports du Québec

Communication préparée pour la séance Chaussées silencieuses : réduction des niveaux de bruit et vibrations

Congrès annuel de l'Association des transports du Canada Charlottetown, Île-du-Prince-Edouard 17 au 20 septembre 2006

RÉSUMÉ: Le Ministère des transports du Québec (MTQ) a conçu au printemps 2005 un audiomètre routier dynamique (ARD) afin de mesurer par la méthode en continu (*close-proximity method* ou CPX) le bruit généré par l'action du pneu d'un véhicule sur la chaussée. Une campagne d'auscultation, dont une partie a été réalisée simultanément avec l'appareil de mesure en continu NCAT-CPX en collaboration avec l'université d'Auburn en Alabama, a été entreprise avec l'ARD sur plusieurs types de revêtement. Les relevés de niveau sonore avaient pour but d'évaluer la qualité des mesures de l'ARD et de comparer les résultats sur diverses textures de chaussées en béton de ciment et sur des enrobés bitumineux d'âges différents.

Pour les revêtements âgés de 5 ans et moins, on note que les chaussées en béton de ciment sont plus bruyantes que les chaussées en enrobé. Le type de texture utilisée sur les chaussées en béton de ciment influence significativement le bruit pneu-chaussée généré. Malgré un niveau sonore semblable dans certains cas, le grenaillage, le dénudage chimique et le rainurage longitudinal semblent diminuer ou éliminer les pics de fréquences discrètes autour de 1000 Hz associés au rainurage transversal et présumées être plus dérangeantes pour les riverains. Ceci met en lumière l'importance d'une analyse du niveau sonore par spectre de fréquence. Des mesures réalisées sur un revêtement en béton de ciment avec rainurage transversal profond et bruyant montrent également une diminution du bruit pneu-chaussée de 3,7 dB(A) suite à son resurfaçage en enrobé bitumineux.

1. INTRODUCTION

Le Ministère des transports du Québec (MTQ) a conçu au printemps 2005 un audiomètre routier dynamique (ARD) afin de mesurer par la méthode en continu (*close-proximity method* ou CPX) le bruit généré par l'action du pneu d'un véhicule sur la chaussée. Une campagne d'auscultation a été entreprise avec l'ARD sur le réseau routier québécois, dont une partie a été réalisée simultanément avec l'appareil de mesure en continu du *National Center for Asphalt Technology* (la remorque NCAT-CPX) en collaboration avec le *Highway Research Center* (HRC) de l'université d'Auburn en Alabama.

Les relevés de niveau sonore avaient pour but d'évaluer la qualité des mesures de l'ARD dont les microphones sont à l'air libre en les comparant aux mesures prises par la remorque NCAT-CPX dont les microphones sont isolés dans une enceinte acoustique. Les relevés avaient aussi pour objectif de mesurer le bruit sur des sections en béton de ciment avec diverses textures de même que sur des enrobés avec des granulométries et des âges différents. À partir de ces relevés de niveau sonore, une analyse par spectre de fréquence a permis de montrer l'influence du vent, de la température et de la texture de surface du béton de ciment sur le niveau sonore par fréquence. Le spectre de fréquence d'une chaussée en béton de ciment bruyante recouverte d'enrobé bitumineux a également été analysé.

2. BRUIT PNEU-CHAUSSÉE

Le son est produit par une variation de pression atmosphérique qui génère des ondes longitudinales de compression et de dilatation avec une amplitude et une fréquence données [1]. Pour mesurer l'amplitude d'un son, ou le niveau sonore (sound pressure level ou SPL), on utilise généralement une échelle logarithmique appelée décibel (dB). L'oreille humaine entend les sons compris entre 0 et 120 dB. Pour tenir compte du fait que l'oreille humaine n'a pas la même sensibilité en fonction de la fréquence, les niveaux de chaque bande de fréquence sont pondérés par le filtre A, noté dB(A). Cette échelle est couramment utilisée pour les mesures de bruit lié au trafic.

Ainsi mesurées, les sources de bruit ne sont pas simplement additionnées. Par exemple, l'addition de deux sources de bruit ponctuelles de 70 dB(A) chacune équivaut à 73 dB(A). Pour une source linéaire de bruit comme le trafic routier, le son est atténué d'environ 3 dB(A) lorsque l'on double la distance de réception. Par ailleurs, doubler le volume de trafic équivaut à augmenter d'environ 3 dB(A) le bruit mesuré aux abords d'une route.

À une vitesse élevée, le bruit causé par l'interaction du pneu et de la chaussée domine les bruits d'origine mécanique. Les mécanismes associés au bruit pneu-chaussée sont complexes et sont divisés comme suit : les vibrations radiales, les vibrations tangentielles, la succion et le pompage de l'air [1]. Les vibrations radiales sont causées par l'impact du pneu sur les irrégularités du revêtement. Les vibrations tangentielles sont dues à l'adhérence et au glissement du pneu sur la chaussée. Le bruit de succion est créé lorsque l'adhérence du pneu à la chaussée est brisée. Enfin, la compression et le relâchement de l'air piégé dans les cavités du pneu créent le pompage de l'air. Ces phénomènes de vibration et d'aérodynamisme génèrent des sons de différentes fréquences.

Le bruit généré par l'interaction pneu-chaussée est amplifié par la réflexion du son dans la cavité formée entre la surface du pneu en mouvement et la chaussée (horn effect) [1]. La résonance de l'air emprisonné à l'intérieur du pneu et dans les cavités du pneu (Helmhotz resonance) peut également amplifier le son. À l'inverse, un revêtement de chaussée poreux avec des vides interconnectés réduit la quantité d'air emprisonné et permet une meilleure absorption ainsi qu'une meilleure dispersion du son.

Il est reconnu que le spectre de fréquence associé au bruit pneu-chaussée montre un pic prononcé entre 700 et 1300 Hz [1, 2, 3]. Plusieurs facteurs qui agissent sur ces fréquences peuvent expliquer ce pic : le filtre A, le patron de rainures des pneus, les vibrations radiales et tangentielles, les mécanismes d'amplification, la texture de surface de la route, etc. Le pic est plus proéminent pour une automobile que pour un camion lourd [2]. De plus, pour un large éventail de types de pneu et de types de surface, la forme du spectre de fréquence est similaire et le bruit pneu-chaussée est souvent concentré autour du pic de 800-1000 Hz.

On note que les fréquences affectées par le vent sont inférieures à 1000 Hz. Malgré que le bruit pneu-chaussée affecte particulièrement la plage de fréquence de 315 à 4000 Hz, le vent influence tout de même significativement de 315 à 1000 Hz [1]. À l'opposé, l'effet de la température du revêtement sur la mesure du bruit pneu-chaussée se fait le plus sentir pour les hautes fréquences entre 1000 et 4000 Hz.

Lorsque le spectre de fréquence est présenté en bandes fines (1/12 bandes d'octave par exemple), on peut observer que ce pic n'est pas causé par une seule tonalité mais par plusieurs tonalités ou petits pics concentrés au même endroit [2]. Ceci est typique d'une géométrie aléatoire du patron de rainures des pneus. Enfin, le passage d'un pneu d'une surface bruyante à une surface poreuse plus silencieuse provoque souvent un déplacement du pic de 1000 Hz vers 600-800 Hz et entraîne une diminution du niveau sonore de ce pic [2].

3. MÉTHODOLOGIE

En accord avec la proposition de norme ISO/CD 11819-2 sur la mesure en continu du bruit pneuchaussée [4], trois microphones disposés à des angles de 45, 90 et 135° par rapport à la direction de roulement sont placés sur un véhicule de type mini fourgonnette près du contact pneuchaussée pour mesurer le niveau sonore en conditions réelles de roulement (figures 1 et 2). La méthode en continu est bien adaptée à la comparaison des différentes textures de revêtement. De plus, elle est rapide et offre une bonne répétabilité.

Contrairement aux méthodes de mesure « au passage » réalisées aux abords de la route, la méthode en continu ne tient pas compte de la propagation du son dans le milieu environnant et représente le bruit généré par les pneus d'un véhicule de référence plutôt que d'un véhicule lourd. La mesure est relative car les capteurs sonores sont à l'air libre et non dans un environnement contrôlé exempt de bruit extérieur.



Figure 1 – L'audiomètre routier dynamique (ARD)



Figure 2 – Position des microphones de l'ARD (pneu Uniroyal Tiger Paw 4-saisons; profondeur des rainures :6 mm; pression de gonflement :16 Pa)

Seules les fréquences situées entre 315 Hz et 4000 Hz sont conservées pour l'analyse. Pour appliquer les facteurs de pondération associés au filtre A, le signal d'origine est décomposé en bandes de fréquence normalisées (tiers d'octave).

La somme des tiers d'octave permet d'obtenir la valeur en dB(A) du segment ausculté. La valeur moyenne pour chacun des signaux numériques (44 100 valeurs par seconde) est calculée selon un pas de mesure de 20 m comme le suggère la proposition de norme ISO. On applique ensuite une correction pour tenir compte d'une légère variation de la vitesse du véhicule (référence : 100 km/h) ainsi que de la température du revêtement (référence : 20 °C), tel que recommandé dans la proposition de norme. L'étape suivante consiste à faire la moyenne arithmétique des données enregistrées par les trois microphones, puis la moyenne de tous les segments sur le tronçon à l'étude pour obtenir une valeur moyenne de niveau sonore en dB(A). Pour obtenir le spectre de

fréquence à partir du signal d'origine en fonction du temps, l'algorithme utilisé est une transformée de Fourier (FFT).

En 2005, le niveau sonore de plus de 30 sections de chaussées souples et de chaussées rigides a été évalué avec l'ARD sur le réseau routier du MTQ. Ces sections, de longueurs variant de 500 m à plus de 6 km, comprenaient des revêtements en béton de ciment récents (5 ans et moins) avec différentes textures de surface (rainurage transversal, rainurage longitudinal, grenaillage, dénudage chimique) et des revêtements en enrobé bitumineux âgés de 0 à 10 ans (enrobé mince et ultramince, enrobé à matrice de pierre, enrobé posé à chaud). Au moins deux passages ont été systématiquement effectués sur chaque section d'essai.

Une partie de ces relevés a été effectuée simultanément avec la remorque NCAT-CPX en collaboration avec l'université d'Auburn dans le but de comparer les mesures à l'air libre et les mesures dans une enceinte acoustique. Les caractéristiques de la remorque NCAT-CPX sont décrites aux références [5, 6]. Le niveau sonore d'une autoroute à 6 voies en béton de ciment texturée par rainurage transversal profond et considérée bruyante pour les riverains a aussi été évalué avant et après son resurfaçage en enrobé bitumineux.

4. RÉSULTATS

Les relevés de bruit effectués sur chaussées en enrobé bitumineux et sur chaussées en béton de ciment sont présentés au tableau 1 et 2 respectivement, en ordre décroissant de niveau sonore. Certains relevés qui ont été effectués lorsque la vitesse du vent excédait 20 km/h portent la mention « rafales de vent ». Ces résultats sont à prendre avec discernement car la proposition de norme ISO recommande de ne pas faire d'essai lorsque les microphones sont à l'air libre et que la vitesse du vent excède 15 km/h. Il en sera question plus en détails à la section 5.3. Les sites ombragés dans le tableau 2 montrent un niveau sonore trop élevé d'après les relevés antérieurs effectués en 2004 par la remorque NCAT-CPX [5] et ne sont pas pris en compte dans l'analyse globale mais ils seront plutôt traités séparément à la section 5.5.

Tableau 1 – Comparaison du niveau sonore des différents <u>enrobés bitumineux</u> (en ordre décroissant de niveau sonore)

No	Localisation	Type de revêtement et de texture	Année de réalisation	Temp. de surface (°C)	Niveau sonore moyen (dBA)	Écart type
C1	A-20 St-Jean-Port Joli	Enrobé ultramince 15 mm d'épaisseur, fissuration avec présence de scellement, fissures transversales en dépression créant des ondulations.	1998	21	109,9	0,24
C3	A-20 Berthier-sur- mer	Enrobé à matrice de pierre (SMA). Présence de scellement de fissures.	2002	21	109,8	0,35
B4	A-15 Montréal	Enrobé bitumineux âgé en bon état sur dalles courtes en béton.	1994- 1995	30	109,3	0,38
C2	A-20 Cap-St- Ignace	Enrobé de type EGA-10. Pas de défaut de surface.	2004	21	108,2	0,21
C12	R-112 Bury	Enrobé à matrice de pierre (SMA), aucune fissures. Rafales de vent.	2004	15	108,0	0,44
A2	A-50 Mirabel	Enrobé de type EG-10 (46 mm) sur EB- 10C (29 mm)	2004	40 10 (vent)	107,8 (108,7)	0,44 (0,40)
A3	A-640 St-Eustache	Enrobé mince grenu 25-30 mm d'épaisseur. Contrat de performance.	2004	38	107,8	0,47
A6	A-15 Décarie	Enrobé de type EG-10 avec scories d'acier (50 mm) sur EB-10C (25 mm) sur dalles courtes en béton.	2003	17	107,4	0,34
C7	A-15 Boisbriand ⁽¹⁾	Enrobé de type EG-10 (50 mm) sur dalles courtes avec rainurage transversal très bruyant.	2005	14	107,3	0,32
A4	A-15 Laval	Enrobé de type EG-10.	2004	14	107,0	0,61
A5	A-13 Dorval	Enrobé de type EG-10 (50 mm) sur dalles courtes en béton de ciment	2004	33	106,3	0,28
A1	A-50 Lachute	Enrobé EG-10 (42 mm) sur EB-20 (50 mm)	2004	48	105,1	0,42

⁽¹⁾ Moyenne de 6 voies complètent de roulement sur 6 km.

Tableau 2 – Comparaison du niveau sonore des différentes chaussées en béton de ciment (en ordre décroissant de niveau sonore)

No	Localisation	Type de revêtement et de texture	Année de réalisation	Temp. surface (°C)	Niveau sonore (dBA) (2)	Écart type
C16	A-40 Ouest Montréal	Rainurage transversal aléatoire à angle sur béton armé continu (BAC). Prof 6 mm. Contrat #1. Rafales de vent.	2004	10	112,5	0,61
C13	A-40 Ouest Montréal	Rainurage transversal aléatoire à angle sur BAC. Prof 6 mm. Contrat #2. Rafales de vent.	2004	10	112,2	1,0
C9	A-40 Anjou	Grenaillage par billes d'acier sur dalles courtes. Granulats type cyénite. Rafales de vent.	2005	11	112,1	0,45
C10	A-40 Anjou	Grenaillage par billes d'acier sur dalles courtes. Granulats granitiques. Rafales de vent.	2005	11	111,7	0,41
B2	A-20 Boucherville	Rainurage transversal aléatoire à angle sur dalles courtes. Prof 10 mm.	2002	28	111,4	0,77
B5a	A-15 Boisbriand ⁽¹⁾	Rainurage transversal aléatoire à angle sur dalles courtes. Prof 10 mm. Problème de bruit pour les riverains.	2002	16	111,0	0,87
C15	A-40 Ouest Montréal	Dénudage chimique granulats 5-20 mm sur BAC. Contrat #1. Rafales de vent.	2004	10	110,5	0,29
B1	A-15/132 La Prairie	Rainurage transversal aléatoire à angle sur dalles courtes. Prof 6 mm. Présence de courtes sections meulées.	2002-2004	38 10 (vent)	110,1 (112,0)	1,3 (1,2)
В6	A-40 Anjou	Grenaillage par billes d'acier sur dalles courtes.	2005	29	109,9	0,54
C14	A-40 Ouest Montréal	Dénudage chimique granulats 5-14 mm sur BAC. Contrat #2. Rafales de vent.	2004	10	109,9	0,37
C4	A-15 Montréal	Grenaillage par billes d'acier âgé de 1 à 2 semaines sur dalles courtes.	2005	15	109,7	0,43
В3	A-13 Laval	Rainurage transversal aléatoire perpendiculaire sur dalles courtes, usure avancée des rainures	2000	31	109,4	0,50
B5b	A-15 Boisbriand	Micromeulage sur rainurage transversal très profond (10 mm) sur dalles courtes (dernier km de la voie 1 nord)	2005	14	109,4	0,51
C12	A-40 Ouest Montréal	Rainurage longitudinal sur BAC. Contrat #2. Rafales de vent .	2004	10	109,3	0,42
C6	A-40 Saint- Laurent	Rainurage transversal aléatoire à angle sur BAC neuf 2005. Prof 3 mm Rafales de vent.	2005	12	109,1	0,69
C8	A-10 Brossard	Rainurage transversal aléatoire à angle sur BAC. Prof 3 mm.	2005	14	108,9	0,45
C5	A-40 Saint- Laurent	Grenaillage par billes d'acier sur BAC neuf 2005. Rafales de vent.	2005	12	108,8	0,47

⁽¹⁾ Moyenne des 7 voies de roulement moins le viaduc en enrobé bitumineux, sauf V1 sud, passage 2 éliminé.
(2) Les relevés ombragés ne sont pas pris en compte dans l'analyse globale à cause de l'effet trop marqué du vent.

5. ANALYSE

5.1 Chaussée rigide versus chaussée souple

À partir des résultats présentés aux tableaux 1 et 2 (excluant les relevés en ombragés réalisés avec une vitesse des vents excédant 15 km/h), on note que pour les revêtements récents, les sites en béton de ciment sont plus bruyants que les sites en enrobé. Pour les sites en béton de ciment de 5 ans et moins, le niveau sonore se situe entre 108,8 et 111,4 dB(A). Pour les sites en enrobé de 2 ans et moins, le niveau sonore se situe entre 105,1 et 108,2 dB(A). Des enrobés âgés de 7 à 10 ans présentent des niveaux sonores variant de 109,3 à 109,9 dB(A). Il est reconnu que le bruit augmente avec le temps pour un enrobé bitumineux à cause du colmatage de la porosité de surface et de l'apparition de fissures. Pour le béton de ciment, l'usure de la texture avec le temps contribue à diminuer le bruit pneu-chaussée. Ces aspects restent à évaluer dans le contexte québécois par des relevés périodiques dans les prochaines années.

5.2 Comparaison NCAT-CPX et ARD

Tel que discuté précédemment, une partie des relevés a été réalisée simultanément par la remorque de mesure en continu NCAT-CPX et l'ARD lors de la campagne 2005, c'est-à-dire dans les mêmes conditions atmosphériques et de bruit ambiant.

Bien que les deux appareils répondent au projet de norme ISO sur la méthode de mesure en continu (*close-proximity method* ou CPX), il existe des différences entre les deux. La différence la plus importante se situe au niveau du contrôle du bruit ambiant à l'extérieur du véhicule. Les microphones de la remorque NCAT-CPX sont isolés dans une chambre acoustique installée sur une remorque, ce qui permet d'éliminer les bruits extérieurs qui ne sont pas causés par le contact pneu-chaussée. [5, 6].

Les microphones de l'ARD sont montés à proximité de la roue arrière gauche du véhicule, à l'air libre et non dans un environnement clos exempt de bruit extérieur (figure 1). Ces microphones sont toutefois unidirectionnels ; ils captent les sons qui sont produits directement dans l'alignement du microphone. Ils sont peu sensibles aux sons provenant des côtés et une mousse de protection permet de limiter le bruit causé par le vent. La proposition de norme ISO stipule toutefois que le bruit extérieur causé par le véhicule ou par la circulation environnante ne doit pas dépasser 6 dB dans la plage de fréquences 500-4000 Hz en bandes de tiers d'octave et 4 dB dans la plage 315-400 Hz [4]. Ceci correspond à environ 10 dB(A) sur la valeur moyenne globale incluant toutes les bandes d'octave.

La figure 3 compare les niveaux sonores mesurés simultanément par l'ARD et par la remorque NCAT-CPX. Bien que les valeurs ne puissent pas être comparées d'un appareil à l'autre, l'ordre des sites d'essai du plus bruyant au moins bruyant est semblable à celui obtenu avec l'ARD. On retrouve les chaussées en béton avec rainurage transversal profond en tête de liste. Les chaussées mixtes, soit des dalles courtes en béton de ciment recouvertes d'enrobé bitumineux (B4 et A6), sont plus bruyantes selon le NCAT-CPX relativement aux autres sections en chaussées souples. Toutes les chaussées souples en enrobé se situent au bas de la liste avec des niveaux sonores variant de 97,4 à 95,3 dBA, la moins bruyante étant l'enrobé EG-10 sur l'A-50 à Lachute (A1). Cette dernière est également la plus silencieuse selon les relevés de l'ARD.

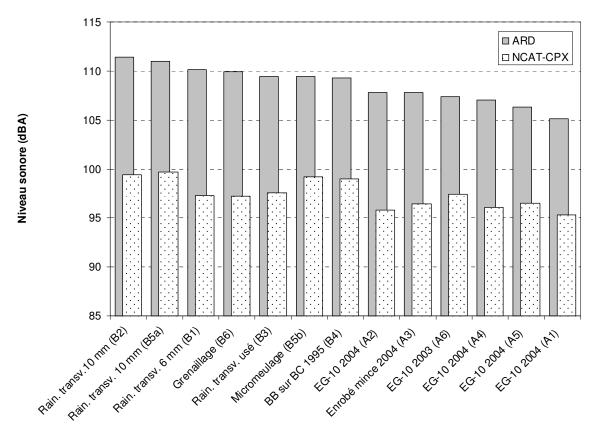


Figure 3 – Comparaison des niveaux sonores avec enceinte acoustique avec la remorque NCAT-CPX et à l'air libre avec l'ARD. Différence moyenne : 11 dB(A)

La différence entre le niveau sonore mesuré par la remorque NCAT-CPX et par l'ARD varie de 10 à 12,8 dBA, ce qui représente en bonne partie le bruit ambiant pris en compte par l'ARD. Ceci semble en accord avec la valeur de 10 dBA prescrite par le projet de norme ISO comme étant acceptable pour le bruit ambiant lorsque aucune enceinte acoustique n'est pas utilisée.

D'autres facteurs peuvent expliquer dans une moindre mesure l'écart de niveau sonore mesuré par les deux appareils. Le pas de mesure de la remorque NCAT-CPX est de 50 m comparé à 20 m pour l'ARD. En effectuant une moyenne du bruit sur une plus grande distance, l'influence des défauts de surface ponctuels comme les fissures est atténuée. La forme et la profondeur des rainures du pneu de référence diffère aussi d'un appareil à l'autre.

5.3 Influence du vent

Les nombreux relevés effectués sur la section C7 après le resurfaçage en enrobé des dalles en béton de ciment ont entre autre mis en évidence l'influence du vent sur la mesure du niveau sonore. Les données d'environnement Canada ont révélé que la vitesse du vent (sur une base horaire) était supérieure à 20 km/h au moment de certains des relevés sur le nouvel enrobé. La norme ISO recommande de ne pas faire d'essai lorsque les microphones sont à l'air libre et que la vitesse du vent excède 15 km/h.

Dépendant de la voie et de la direction du relevé, on a remarqué qu'un vent supérieur à 20 km/h pouvait augmenter le niveau sonore moyen de 1,5 dBA (voie 2 nord) ou le diminuer de 0,5 dBA (voie 3 sud) par rapport à un relevé sans vent.

La figure 4 présente le spectre de fréquence moyen des relevés effectués dans la voie 3 sud (vent de dos) et dans la voie 2 nord (vent de face). Ces deux voies ayant des revêtements identiques, la différence de spectre de fréquence est uniquement due au bruit causé par le vent sur les microphones. On note que les fréquences les plus affectées par le vent sont inférieures à 1000 Hz. Ceci est en accord avec les résultats présentés à la référence [1]. Il est donc important, dans la mesure du possible, d'effectuer les relevés lorsque la vitesse du vent est inférieure à 15 km/h.

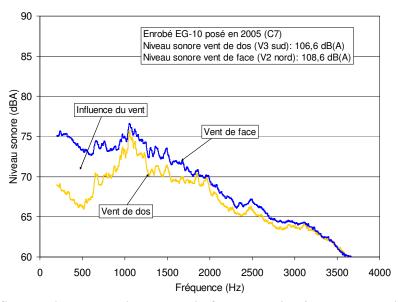


Figure 4 – Influence du vent sur le spectre de fréquence du niveau sonore d'un enrobé EG-10

5.4 Influence de la température

Les mécanismes qui expliquent l'influence de la température du revêtement sur la mesure du niveau sonore sont peu maîtrisés [1]. De plus, les équations de correction retrouvées dans la documentation sont très variables. De façon générale, la relation entre le niveau sonore et la température est linéaire. Les textures rugueuses sont plus influencées par les variations de température que les textures lisses, avec une diminution de 2 à 4 dBA pour une augmentation de 30°C. Le type de pneu utilisé influence aussi la relation.

Pour les sections B1 en béton de ciment et A2 en enrobé, des relevés ont été effectués à deux températures de revêtement extrêmes, soit 40° et 10 °C. Ceci avait pour but de valider la correction du niveau sonore pour une température de 20°C, tel que représentée par l'équation suivante [1] :

$$Lcorr (\theta ref) = Lmoy(\theta) + K(\theta ref - \theta)$$
 (1)

où : Lcorr (θref) : lecture corrigée en dBA

Lmoy (θ) : lecture moyenne en dBA θ : température du revêtement en °C θ ref: température de référence, 20°C

K : coefficient de température, véhicule de promenade (passenger car)

où: $K = -0.03 \text{ dBA/°C}, \text{ si } \theta > 20 \text{°C}$ $K = -0.06 \text{ dBA/°C}, \text{ si } \theta < 20 \text{°C}$

Le tableau 3 présente les résultats de niveau sonore. Le ratio de la différence de niveau sonore sur la différence de température obtenu pour le béton de ciment (-0,11 dBA/°C) et pour l'enrobé bitumineux (-0,078 dBA/°C) est élevé en comparaison avec la documentation [1]. Les auteurs mentionnent que le ratio devrait se situer entre -0,03 et -0,09 dBA/°C pour des pneus d'automobile. On note un ratio plus élevé pour le béton de ciment qui possède une texture plus rugueuse. Notons également que des bourrasques de vent ont été notées lors des relevés à 10° et 13°C, ce qui a pu faire augmenter le niveau sonore.

Tableau 3 – Effet de la température du revêtement sur le niveau sonore

	Température (°C)	Niveau sonore (dBA)	Différence
Béton de ciment	38	109,5	ΔT=28
(section B1)	10	112,7	$\Delta dBA=3,2$
	(bourrasques de vent)		-0,11 dBA/°C
Enrobé EG-10	40	107,0	ΔT=27
(section A1)	13	109,1	$\Delta dBA=2,1$
	(bourrasques de vent)		-0,078 dBA/°C

L'effet de la température se fait le plus sentir pour les hautes fréquences entre 1000 et 4000 Hz [1]. Les spectres de fréquences des sections B1 en béton de ciment et A2 en enrobé bitumineux illustrés aux figures 5 et 6 vont dans le même sens.

À la lumière de ces premières constatations concernant l'influence de la température du revêtement, l'équation 1 suggérée dans le projet de norme ISO ne semble pas refléter les conditions propres au Québec. Des relevés supplémentaires seront effectués en 2006 pour obtenir une relation plus appropriée.

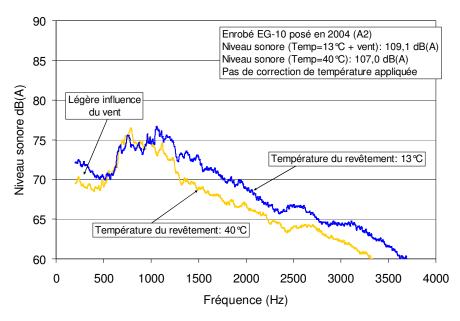


Figure 5 – Influence de la température du revêtement sur le spectre de fréquence d'un enrobé bitumineux (section A2)

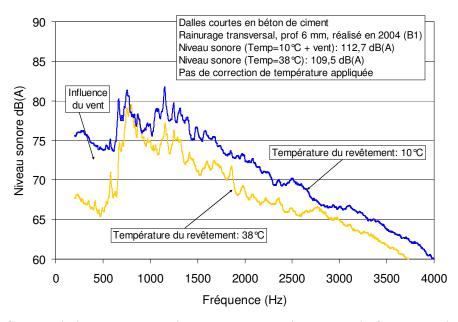


Figure 6- Influence de la température du revêtement sur le spectre de fréquence d'un béton de ciment (section B1)

5.5 Texture du béton de ciment

Le MTQ utilise couramment la technique de texturisation du béton frais par rainurage transversal espacé de façon aléatoire, perpendiculaire ou à angle par rapport au trafic [7]. La texturisation du béton durci par meulage au diamant ou par grenaillage (projection de billes d'acier) est aussi utilisé afin de corriger l'uni ou de restaurer une perte d'adhérence. Les techniques de dénudage chimique des granulats en surface et de rainurage longitudinal ont été utilisées à titre expérimental en 2003 et 2004 et sont actuellement en cours d'évaluation.

Il est reconnu que le rainurage transversal produit des niveaux élevés de bruit lorsque les rainures sont larges, profondes et espacées uniformément [3]. Le rainurage transversal réalisé au MTQ en 2002 et 2003 était espacé aléatoirement mais très profond (environ 10 mm). À partir de 2004, on a réduit la profondeur des rainures pour être conforme au devis qui stipule une largeur de 3 mm et une profondeur entre 3 et 6 mm. Pour les routes construites en 2005, les rainures ont plutôt une largeur de 3 mm et une profondeur de 3 mm.

<u>Si on exclut les relevés avec vitesse du vent supérieure à 15 km/h au tableau 2</u>, on note que le rainurage transversal profond effectué entre 2002 et 2003 est la texture la plus bruyante avec des valeurs de 111,0 et 111,4 dBA. À partir de 2004, sur le rainurage transversal peu profond, les valeurs varient de 107,9 à 110,1 dBA. Les sections avec grenaillage ont des niveaux sonores variant de 108,4 à 109,9 dBA. En comparaison, le rainurage longitudinal montre un niveau sonore de 109,3 dBA, le dénudage chimique avec granulats 5/20 mm un niveau sonore de 110,5 dBA et le dénudage chimique 5/14 mm un niveau sonore de 109,9 dBA. Ces différences sont en accord avec les relevés effectués sur ces sections par la remorque NCAT-CPX en 2005 et présentés à la figure 3.

La figure 7 compare les spectres de fréquence de toutes les sections avec rainurage transversal, en fonction de la profondeur moyenne des rainures. On note des pics significatifs de tonalité pour toutes les sections entre 700 et 1000 Hz. Plus les rainures sont profondes, plus les pics sont élevés et plus le niveau sonore moyen est élevé.

On a également comparé les sections contiguës d'une même route en béton de ciment texturée par grenaillage (C5) et par rainurage transversal (C6) puisque les conditions ambiantes lors du relevé sont identiques (figure 8). Ce rainurage transversal réalisé en 2005 est plutôt fin avec une profondeur des rainures autour de 3 mm. Bien que le niveau sonore moyen soit semblable pour les deux techniques, on note la présence d'un petit pic localisé à 1000 Hz dans le cas du rainurage transversal par rapport à l'absence de pic à cette fréquence pour le grenaillage.

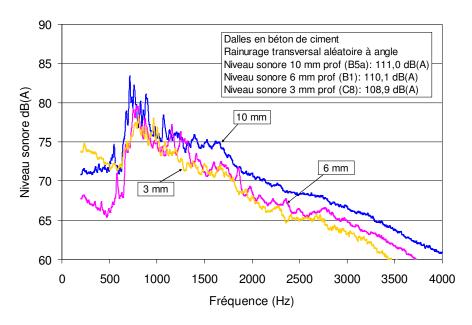


Figure 7 – Influence de la profondeur des rainures transversales d'une chaussée en béton de ciment sur le spectre de fréquence

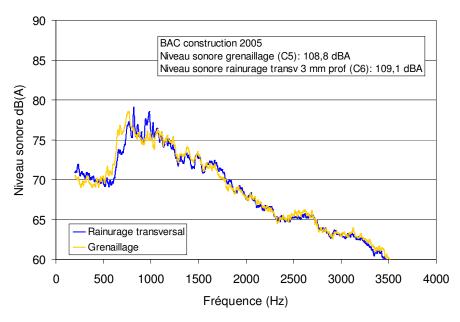


Figure 8 – Comparaison du spectre de fréquence du grenaillage et du rainurage transversal sur deux sections de route contiguës

Des mesures de bruit pneu-chausssée ont aussi été réalisées sur une chaussée en béton armé continu texturée de façon expérimentale par dénudage chimique (ou granulats exposés) et par rainurage longitudinal. Une section avec rainurage transversal adjacente permet la comparaison des niveaux sonores dans les mêmes conditions de relevé. Le spectre de fréquence associé à chaque texture est présenté à la figure 9. On note la forme similaire du spectre et l'absence de pic localisé à 1000 Hz pour le dénudage chimique et le rainurage longitudinal. La différence de

niveau sonore entre le rainurage transversal et le dénudage chimique est de 2,3 dB(A) et de 2,9 dB(A) avec le rainurage longitudinal.

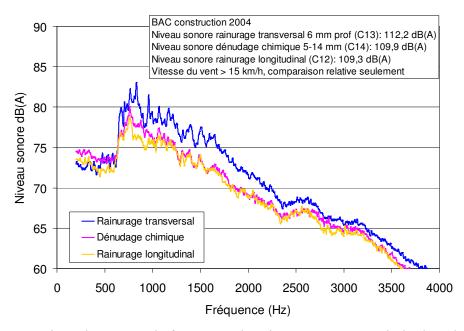


Figure 9 – Comparaison du spectre de fréquence du rainurage transversal, du dénudage chimique et du rainurage longitudinal sur trois sections de route contiguës

La texture des sections en béton de ciment auscultées par la remorque NCAT-CPX a également été mesurée à l'aide d'un point laser unique à haute fréquence monté sur le véhicule « ARAN » de l'Université d'Auburn. Ces mesures ont été effectuées dans la piste de roue droite. La relation entre la mesure de la texture du béton de ciment (profondeur moyenne du profil) et le niveau sonore est montrée à la figure 10. Ce graphique comprend également les revêtements en béton de ciment du MTQ auscultés par la remorque NCAT-CPX en 2004 [5]. On note que pour un revêtement en béton de ciment, plus la profondeur de la texture augmente, plus le niveau sonore augmente.

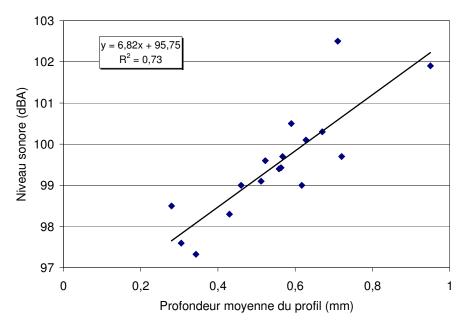


Figure 10 – Relation entre le niveau sonore et la texture des revêtements en béton de ciment

5.6 Caractéristiques des enrobés

Il est reconnu que les caractéristiques granulométriques d'un enrobé bitumineux influencent significativement le bruit pneu-chaussée. Les revêtements drainant qui présentent une granulométrie fortement discontinues et dont les vides en surface sont nombreux et interconnectés sont moins bruyants. L'air comprimé par les pneus des véhicules en mouvement s'échappe plus facilement et de ce fait, les pneus subissent moins de contraintes, vibrent moins et génèrent moins de bruit [1]. L'âge du revêtement constitue également un facteur important en ce qui a trait au bruit. Avec les années, les pores deviennent obstrués et des dégradations de surface apparaissent (fissures, arrachement des granulats, etc.).

Les courbes granulométriques de 9 des 12 enrobés testés sont illustrées à la figure 11. Pour ces enrobés, les niveaux sonores varient de 105,1 à 109,9 dBA. Ces enrobés sont tous âgés de un an sauf l'enrobé ultramince âgé de sept ans qui présente de nombreuses fissures transversales et l'enrobé grenu de type EG-10 mis en place en 2005 quelques semaines avant la prise des mesures de bruit.

Tous les revêtements bitumineux testés ont une texture dite négative. Dans le cas de textures négatives, les surfaces des revêtements compactées au rouleau d'acier lisse présentent des granulats qui sont tous au même niveau contrairement aux surfaces dites positives où les surfaces sont irrégulières tels les traitements de surface. Également, les enrobés testée sont tous composés de granulats dont la dimension nominale maximale est de 10 mm. Les pourcentages de granulats passant le tamis 5 mm varient de 32% à 50%.

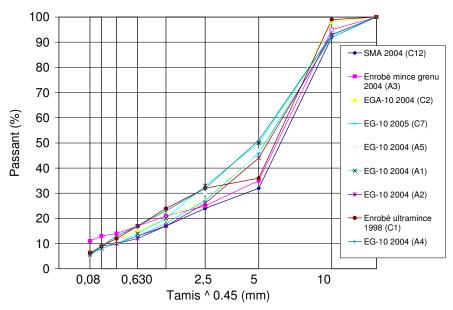


Figure 11 – Courbes granulométriques de 9 des 12 sections en enrobé

Dans un premier temps, afin d'expliquer les écarts de bruit au contact pneu-chaussée entre les enrobés bitumineux testés, le niveau sonore en fonction du rapport des gros granulats (RGG) est présenté à la figure 12. Le RGG est utilisé pour caractériser le degré de blocage des gros granulats et les vides dans le squelette des gros granulats. Pour les enrobés ayant des granulats de grosseur maximale de 10 mm, le RGG est défini selon la méthode Bailey d'optimisation des granulométries d'enrobés [8] par l'équation suivante :

RGG =
$$(\%passant tamis 5mm-\%passant tamis 2,5mm) / (100 - \%passant tamis 5mm)$$
 (2)

Plus le rapport RGG est faible, plus l'enrobé est ouvert et drainant, plus sa courbe granulométrique est discontinue et plus sa porosité est élevée. Donc, théoriquement, un RGG faible devrait conduire à des valeurs de bruit mesurées plus faibles que pour les enrobés ayant des valeurs de RGG élevées. La figure 12 ne présente pas cette tendance. L'échantillonnage restreint des enrobés testés, la présence de deux enrobés additionnés de fibres (EGA-10 et SMA-10) ayant une teneur en mastic élevée pouvant obstruer les pores du revêtement et un enrobé ultramince fortement fissuré contribuent à fausser une tendance possible. Également, plusieurs facteurs peuvent influencer le niveau de bruit mesuré. L'uni de surface du revêtement, la forme des gros granulats, leur disposition à la surface du revêtement et le niveau de compacité. Ces facteurs seront pris en compte dans la poursuite de cette étude.

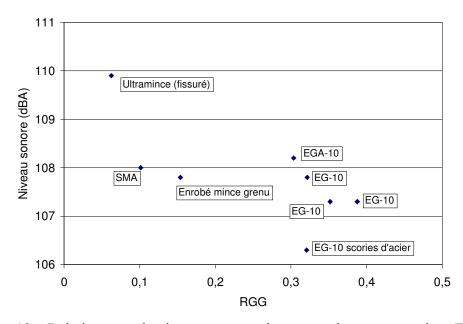


Figure 12 – Relation entre le niveau sonore et le rapport des gros granulats (RGG)

5.7 Resurfaçage en enrobé d'une chaussée en béton de ciment bruyante

Des mesures de bruit avec l'ARD ont été effectuées sur l'autoroute 15 à Boisbriand/Sainte-Thérèse. Ces relevés avaient pour but d'évaluer la différence de niveau sonore avant et après le recouvrement bitumineux de la chaussée en béton de ciment texturée par rainurage transversal profond (sections B5a, B5b et C7).

Avant le resurfaçage en enrobé, les rainures transversales avaient a été meulées au diamant sur une faible épaisseur afin de diminuer le bruit perçu par les riverains sur une section d'environ 1 km située dans la voie lente en direction nord. Ce micromeulage n'avait toutefois pas éliminé complètement les rainures transversales. Les relevés effectués avec l'ARD ont montré que les pics de fréquences caractéristiques des rainures transversales étaient toujours présents (figure 13) et que le niveau sonore n'avait diminué que de 1,6 dB(A) (figure 14). Cette amélioration n'étant pas suffisante, on a procédé au resurfaçage en enrobé EG-10 de la totalité du revêtement en béton de ciment. Cela a éliminé complètement les pics et réduit le niveau sonore moyen au contact pneu-chaussée de 3,7 dB(A) par rapport au rainurage transversal profond et de 2,1 dB(A) par rapport au micromeulage.

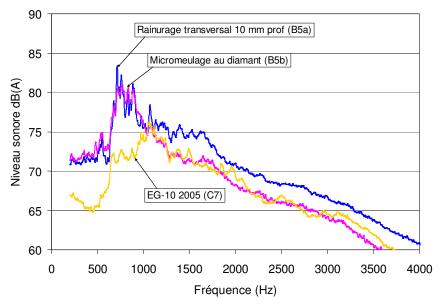


Figure 13 – Spectres de fréquence sur l'autoroute 15 avant et après resurfaçage du revêtement en béton bruyant

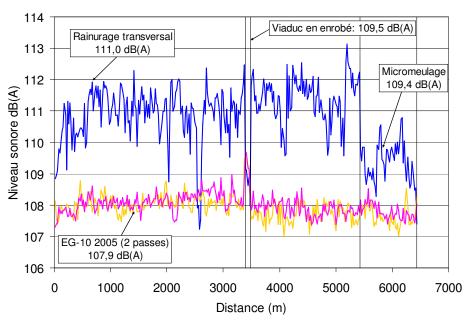


Figure 14 – Niveau sonore, voie 1 nord de l'autoroute 15 avant et après resurfaçage du revêtement en béton bruyant

6. CONCLUSION

Un audiomètre routier dynamique (ARD) a été développé par le Ministère des transports du Québec au printemps 2005, en accord avec la proposition de norme ISO/CD 11819-2 sur la méthode de mesure en continu du bruit pneu-chaussée. Une campagne de relevés, dont une partie a été réalisée en collaboration avec l'université d'Auburn et la remorque NCAT-CPX, a permis de mesurer le niveau sonore de plusieurs types de revêtement sur le réseau routier québécois. Malgré la courte expérience du MTQ en matière de mesure en continu du bruit pneu-chaussée, les points suivants ont pu être constatés :

- De façon générale, <u>pour les revêtements récents</u>, on note que les sites en béton de ciment sont plus bruyants que les sites en enrobé. Pour les sites en béton de 5 ans et moins, le niveau sonore se situe entre 108,8 et 111,4 dBA. Pour les sites en enrobé posés en 2004 et 2005, le niveau sonore se situe entre 105,1 et 108,2 dBA.
- D'après les résultats fournis par la remorque NCAT-CPX pour la campagne de 2005, l'ordre sonore des sections de même que les écarts de niveau sonore sont comparables aux résultats de l'ARD. Ceci confirme la qualité des mesures de l'ARD. L'écart du niveau sonore mesuré par les microphones à l'air libre de l'ARD et les microphones dans une enceinte acoustique du NCAT-CPX est de 10 à 12,8 dB(A).
- Pour une vitesse horaire du vent de 20 km/h, le bruit pneu-chaussée mesuré avec l'ARD peut être augmenté artificiellement de 1,5 dB(A) ou diminué de 0,5 dB(A) dépendant de la direction de la mesure. Il est très important d'effectuer les relevés seulement lorsque la vitesse du vent est inférieure à 15 km/h.
- À la lumière des premières constatations concernant l'influence de la température du revêtement, l'équation 1 suggérée dans la proposition de norme ISO ne semble pas refléter les conditions propres au Québec.
- Tous les revêtements en béton de ciment texturés par rainurage transversal montrent des pics significatifs de tonalité entre 700 et 1000 Hz. Plus les rainures sont profondes, plus l'amplitude des pics est élevée, et plus le niveau sonore moyen sur la section de mesure est élevé.
- Les revêtements en béton de ciment texturés par grenaillage, dénudage chimique, rainurage longitudinal et rainurage transversal fin (3 mm de profondeur) tendent à être plus silencieux que le rainurage transversal profond (6 à 10 mm de profondeur) utilisé en 2002 et 2003. De plus, ces textures semblent atténuer les pics de fréquence qui sont présumés dérangeants pour les riverains.
- Il n'a pas été possible d'établir une relation claire entre le rapport des gros granulats (RGG) caractérisant les vides du squelette des gros granulats et le bruit mesuré sur enrobé. Théoriquement, un RGG faible sur un enrobé ouvert devrait conduire à un bruit généré plus faible.
- Le micromeulage réalisé sur une autoroute en béton de ciment bruyante texturée par rainurage transversal profond (environ 10 mm) n'a pas permis d'éliminer complètement les rainures transversales, ce qui fait que les pics de fréquence caractéristiques du rainurage transversal sont toujours présents et que le niveau sonore n'a diminué que de 1,6 dB(A). Le resurfaçage en EG-10 des dalles en béton a permis d'éliminer complètement ces pics et de réduire le niveau sonore moyen de 3,7 dB(A).

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier MM. Gilles Brillant, Stéphane Genest, Denis Thébeau, Benoit Petitclerc et toute son équipe de soutien technique pour leur contribution au développement de l'appareil ARD, à la réalisation des relevés et à l'analyse des données de bruit pneu-chaussée.

RÉFÉRENCES

- [1] Sandberg, U., Ejsmont, J.A. (2002) Tyre/road noise reference book. Published by Informex, Sweden, 616 pages.
- [2] Sandberg, U. (2003) The multi-coincidence peak around 1000 Hz in tyre/road noise spectra. Paper presented at Euronoise 2003, Naples, Italy, Paper ID 498, 8 pages.
- [3] Hoerner, T.E., Smith, K.D., Larson, R.M., Swanlund, M.E. (2003) Current practice of PCC pavement texturing. Paper presented at the 82nd Annual Meeting of the TRB, January 12-16 2003, Washington, D.C., 19 pages.
- [4] International Organization for Standardization (2000) Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise—Part 2: The close-proximity method, Draft Standard ISO/CD 11819-2, Geneva, Switzerland: ISO/TC 43/SC 1/WG 33, December 2000.
- [5] Carter, A., Stroup-Gardiner, M. (2005) Field noise and texture evaluation of different pavement surface. Final report for phase I. Prepared for MTQ by Highway Research Center, Harbert Engineering Center, Auburn University, Alabama, February 8, 2005, 50 pages.
- [6] Bennert, T., Hanson, D., Maher, A., Vitillo, N. (2005) Influence of pavement surface type on tire/pavement generated noise. Journal of Testing and Evaluation, March 2005, No. 2, ASTM publication, 7 pages.
- [7] Thébeau, D. (2005) Techniques de texturisation des chaussées en béton de ciment. Bulletin d'information technique InfoDLC, Vol. 10, nº 10, octobre 2005, Direction du laboratoire des chaussées, Ministère des transports du Québec, 2 pages. http://www1.mtg.gouv.gc.ca/fr/publications/reseau/infodlc/index.asp
- [8] TRB (2002) Bailey Method for Gradation Selection in Hot-Mix Asphalt Mixture Design, Transportation Research Circular No E-C044, October 2002, 39 pages. http://gulliver.trb.org/publications/circulars/ec044.pdf