



16<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique  
11-15 Avril 2022, Marseille

## Projet LIFE Cool & Low Noise Asphalt : suivi des performances acoustiques de revêtements de chaussée peu bruyants dans le centre- ville de Paris

M. Sineau <sup>a</sup>, C. Ribeiro <sup>a</sup>, F. Mietlicki <sup>a</sup>, J. Lefèbvre <sup>b</sup> et G. Custodi <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Bruitparif, 32 boulevard Ornano 93200 Saint-Denis, France

<sup>b</sup> Ville de Paris, LEMVP, 15 rue Jean Baptiste Berlier 75013 Paris, France

<sup>c</sup> Ville de Paris, DEVE / AEU, 103 avenue de France 75013 Paris, France



En 2012, la Ville de Paris a démarré une expérimentation sur un tronçon de 200 mètres du boulevard périphérique parisien afin de tester l'utilisation de revêtements de chaussée peu bruyants et leur pérennité acoustique et mécanique au cours du temps, dans un contexte de trafic routier intense. Bruitparif a maintenu une station permanente de mesure du bruit pour surveiller l'efficacité acoustique du revêtement de chaussée sur plusieurs années. Depuis 2017, des suivis similaires ont été mis en œuvre à proximité d'habitations riveraines de grandes infrastructures routières traversant le territoire francilien, telles que les autoroutes A4 et A6. Aujourd'hui, l'intérêt d'utiliser des revêtements de chaussée peu bruyants est démontré pour les rocade et les autoroutes avec des limitations de vitesse de circulation de 70 et 90 km/h. Il est maintenant intéressant d'étudier l'intérêt de ce type de solution dans les centres-villes avec des limitations de vitesse de 50 km/h ou 30 km/h. Dans le cadre du projet européen LIFE « Cool & Low Noise Asphalt », piloté par la Ville de Paris, dont Bruitparif est partenaire, trois formules innovantes de revêtements bitumineux sont testées pour lutter contre la pollution sonore et le réchauffement climatique sur trois sites parisiens fortement exposés au bruit routier. Les enrobés allient propriétés acoustiques, thermiques et mécaniques, notamment en termes de durabilité.

## 1 Introduction

La réduction du bruit généré par le trafic routier en milieu urbain implique la combinaison de plusieurs actions. Parmi les actions possibles, la pose de chaussées peu bruyantes apparaît comme une solution prometteuse pour résoudre le problème à la source. Diverses expertises sur le sujet sont menées en Île-de-France, sur le périphérique parisien, sur les autoroutes A4 et A6. Des projets expérimentaux plus récents combinant propriétés acoustiques et thermiques à Paris sont également en cours. Un article à ce sujet a été publié en 2021 [1]. Ce document apporte de nouveaux éléments concernant le suivi des performances acoustiques un an après.

## 2 Boulevard périphérique parisien

Sur la période 2010-2011, plusieurs éléments ont conduit la Ville de Paris à tester des revêtements de chaussée à performances acoustiques sur le boulevard périphérique parisien, dans un contexte de fortes contraintes liées au grand nombre de véhicules empruntant cette infrastructure routière (plus de 1,2 million de véhicules avec jusqu'à 270 000 véhicules par jour dans certains endroits) :

- la publication par Bruitparif des résultats de la campagne de mesure du bruit menée autour du boulevard périphérique en janvier 2010 [2] ;
- l'élaboration du Plan de Prévention du bruit dans l'Environnement (PPBE) avec une priorité immédiate de la Ville de Paris d'expérimenter un revêtement peu bruyant sur le boulevard périphérique en février 2011 ;
- un vœu au conseil du 20<sup>ème</sup> arrondissement pour une expérimentation sur le boulevard périphérique au droit des écoles et logements en mars 2011 ;
- le renouvellement du marché d'entretien et ouverture à des « produits alternatifs à caractéristiques phoniques améliorées » en juin 2011.

### 2.1 Secteur expérimental

Ainsi, dès 2012, la Ville de Paris et Bruitparif ont expérimenté ce type de solution sur une partie du boulevard périphérique parisien afin d'évaluer sa pertinence et sa

pérennité dans le temps d'un point de vue acoustique et mécanique. La portion choisie pour l'expérience est une section de 200 m située à la porte de Vincennes. Ce secteur a bénéficié d'un financement ADEME dans le cadre du traitement des points noirs de bruit. En juin 2012, la Ville de Paris et la Société Colas ont mis en œuvre un enrobé de type BBTM 0/6 et BBTM 0/4 respectivement sur les voies de circulation intérieures et extérieures du boulevard extérieur, y compris les bretelles de desserte en lieu et place des anciens revêtements âgés de 3 à 30 ans.

### 2.2 Dispositif d'évaluation du bruit à la source

Des mesures en continu du bruit de contact pneumatique/chaussée selon la méthode CPX ont été programmées régulièrement par la Ville de Paris afin de suivre l'évaluation des performances acoustiques de chaque voie de circulation.

### 2.3 Dispositif d'évaluation du bruit en façade d'habitations

Dans le cadre du projet HARMONICA [3] soutenu par le programme européen LIFE +, Bruitparif a déployé cinq stations de mesure du bruit afin de suivre l'efficacité acoustique des produits testés. Une première station a été installée sur le terreplein central (à proximité immédiate de la circulation), trois autres ont été installées en façade des bâtiments d'habitation les plus proches. La cinquième station a été positionnée à l'extérieur du périmètre expérimental afin d'être exploitée comme station de contrôle. Un accès en temps réel aux résultats du dispositif de surveillance du bruit de la porte de Vincennes est disponible sur la plateforme de consultation des données de Bruitparif, via le site Internet de Bruitparif : <https://rumeur.bruitparif.fr>. Les résultats de cette expérience ont également été publiés et partagés avec d'autres exemples de bonnes pratiques sur la base de données des actions anti-bruit disponible sur le portail Internet du projet HARMONICA [3] en ligne depuis fin 2013 : <https://www.noiseineu.eu>.

## 2.4 Performances initiales : bruit de contact pneumatique-chaussée (CPX)

L'approche CPX permet de caractériser les 8 voies indépendamment pour un suivi différencié selon le trafic supporté (voie 1 rapide et voie 4 lente). Les niveaux sonores ont été mesurés à 70 km/h et corrigés à une température de référence de 20°C. Pour évaluer les gains obtenus entre la situation initiale et la situation après la pose des revêtements de chaussée acoustiques, deux campagnes de mesures ont été réalisées : avant travaux en mars 2012 et après travaux en août 2012. Le tableau 1 présente les gains obtenus pour chaque voie.

TABLEAU 1 – Niveaux sonores en dB(A) mesurés à 70 km/h (Réf. 20°C)

Voie	Boulevard Intérieur BBTM 0/6	Boulevard Extérieur BBTM 0/4
1	-7,8	-8,3
2	-5,1	-7,0
3	-6,8	-10,1
4	-7,8	-9,5

La diminution des niveaux sonores est très importante puisqu'elle varie pour le BBTM 0/6 de -5,1 dB(A) à -7,8 dB(A) et pour le BBTM 0/4 de -7,0 dB(A) à -10,1 dB(A). Ces performances dépendent en grande partie de l'état initial des revêtements de chaussée. Aussi pour des niveaux sonores initiaux sensiblement identiques, le BBTM 0/4 est plus réducteur du bruit.

## 2.5 Performances initiales : bruit en façade d'habitations

La première évaluation a été effectuée trois mois après le changement du revêtement de chaussée [4]. La réduction du bruit à la source était en moyenne de -7,5 dB(A) pour les résultats obtenus au niveau du terreplein central (cf. figure 1). Une telle diminution du bruit est assez significative et correspond à ce qui pourrait être obtenu en divisant le trafic par six (toutes conditions égales par ailleurs).

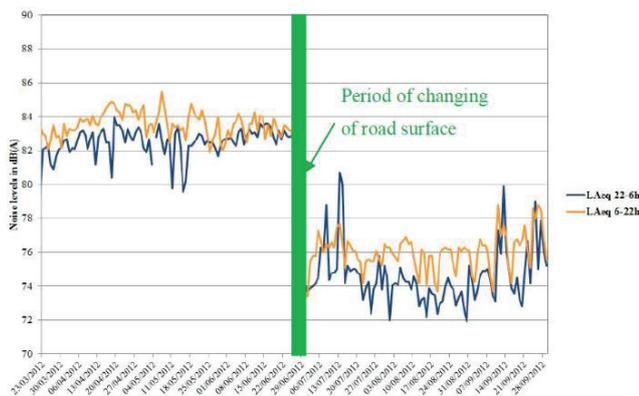


Figure 1 – Diminution des niveaux de bruit diurne et nocturne à proximité de la source (terreplein central) après le changement de revêtement de chaussée.

En façade des bâtiments d'habitation, les niveaux de bruit ont diminué de -2,2 à -4,3 dB(A) en moyenne, selon l'emplacement (cf. figure 2). Les réductions obtenues correspondent à ce qui pourrait être obtenu en réduisant le trafic de 30 à 70 %. Les bâtiments qui ont connu la plus grande amélioration sont ceux exposés principalement au bruit généré par le boulevard périphérique et situés au plus près de la section expérimentale.

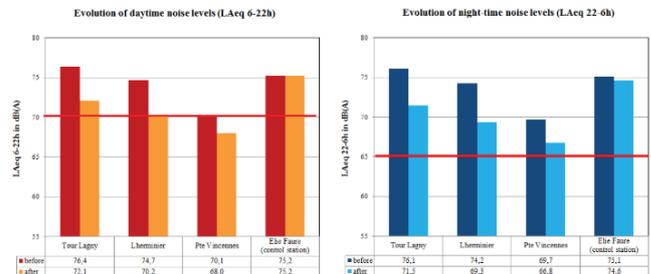


Figure 2 – Evolution des niveaux de bruit diurnes et nocturnes dans les zones résidentielles.

Malgré cette amélioration significative, la situation en termes d'exposition au bruit pour les riverains les plus proches du boulevard périphérique reste insatisfaisante. Les valeurs seuil régulières sont encore dépassées de 2 à 6 dB(A) pour les indicateurs réglementaires de nuit (le seuil réglementaire français est de 65 dB(A)). Au final, la situation est moins critique pour les niveaux diurnes puisque deux stations sur trois en façade d'habitations enregistrent désormais des niveaux L\_Aeq 6h-22h inférieurs ou très proches du seuil réglementaire français de 70 dB(A).

## 2.6 Suivi des performances : bruit de contact pneumatique-chaussée (CPX)

Le tableau 2 présente les résultats des évaluations réalisées en 2012, 2014 et 2017.

TABLEAU 2 – Niveaux sonores en dB(A) mesurés à 70 km/h (Réf. 20°C)

Voie	Boulevard Intérieur BBTM 0/6			Boulevard Extérieur BBTM 0/4		
	2012	2014	2017	2012	2014	2017
1	-7,8	-6,7	-5,0	-8,3	-7,5	-5,7
2	-5,1	-1,6	-1,6	-7,0	-4,6	-4,3
3	-6,8	-2,2	-1,2	-10,1	-4,3	-4,6
4	-7,8	-3,5	-3,5	-9,5	-4,6	-4,0

L'évolution des deux produits est comparable, cependant il y a une évolution différenciée selon les voies de circulation et donc en fonction du trafic supporté. Pour les périodes 2012 et 2014 :

- Les réductions restent importantes et varient entre -1,6 et -7,5 dB(A) ;
- Pour la voie rapide la perte de performances acoustiques est de l'ordre de +0,8 à +1,1 dB(A) (voie 1), soit une perte de l'ordre de +0,4 à +0,5 dB(A) par an. Pour les autres voies (2, 3 et 4), la perte est de

l'ordre de +4,1 à +4,3 dB(A) en moyenne, soit une dégradation de l'ordre de +2,0 à +2,2 dB(A) par an. Des expérimentations similaires menées en Belgique [5], sur d'autres types de revêtements de chaussée montrent des évolutions du bruit de roulement de l'ordre de +0,5 à +2,5 dB par an ;

- Pour une évolution identique au BBTM 0/6, les réductions restent néanmoins plus importantes pour le BBTM 0/4. Cependant, un problème de durabilité pour le BBTM 0/4 s'est vite fait remarquer avec l'apparition de gravillons en surface.

Pour les périodes 2014 et 2017 :

- La perte de performance sur la voie rapide reste du même ordre avec +1,7 à +1,8 dB(A) soit +0,6 dB(A) par an. Pour les autres voies (2, 3 et 4), nous constatons une stabilisation des performances avec une perte de l'ordre de +0,3 à +0,5 dB(A) en moyenne ;
- Les réductions sur le BBTM 0/4 restent importantes, inférieures à -4 dB(A). La détérioration s'est généralisée sur l'ensemble de la zone.

## 2.7 Suivi des performances : bruit au niveau du terreplein central

La figure 3 présente l'évolution du niveau sonore LAeq moyen annuel depuis 2012. L'évaluation annuelle permet de s'affranchir des variations liées aux conditions de trafic et des conditions météorologiques. Le 1<sup>er</sup> janvier 2014, la vitesse maximale de circulation autorisée sur le boulevard périphérique parisien est passée de 80 km/h à 70 km/h, ce qui a eu pour effet de diminuer les niveaux sonores moyens. Pour s'affranchir de ce facteur de confusion, l'évaluation des performances acoustiques des revêtements de chaussée a été réalisée à partir des données disponibles depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2014. Les résultats de la régression linéaire correspondent à une dégradation de +0,66 dB(A) par an. Des expérimentations menées en Belgique [5], reposant sur une méthode de mesure différente (mesure au passage SPB) et portant sur d'autres types de revêtements de chaussée montrent des évolutions du bruit de roulement de l'ordre de +0,4 à +1,7 dB par an.

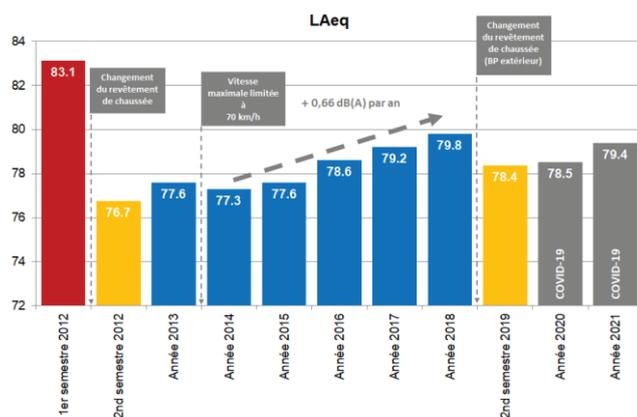


Figure 3 – Evolution du niveau sonore LAeq moyen annuel depuis 2012.

En juin 2019, le BBTM 0/4 placé sur le boulevard extérieur, endommagé mécaniquement, a été remplacé par un BBTM 0/6. Aujourd'hui, 50 % des chaussées utilisées sur le périphérique parisien sont des BBTM 0/6. Les années 2020 et 2021 ont été perturbées par les restrictions mises en œuvre dans le cadre de la crise sanitaire de la COVID-19, modifiant fortement les conditions de trafic routier usuelles.

## 3 Autoroutes A4 et A6

Des stations de mesure du bruit de classe 1 ont été déployées par Bruitparif sur des tronçons des autoroutes A4 et A6 où des revêtements de chaussée peu bruyants ont été posés en 2017. Ainsi, sur l'autoroute A4, trois stations ont été installées à proximité des voies de circulation sur des portiques PMV, deux à Charenton-le-Pont (une dans chaque sens de circulation) et une Joinville-le-Pont (cf. figure 4). Sur l'autoroute A6, deux stations ont également été implantées sur des candélabres positionnés dans chaque sens de circulation à L'Haÿ-les-Roses.



Figure 4 – Emplacement d'une station de mesure de surveillance du bruit (A4) à Joinville-le-Pont.

La figure 5 présente les diminutions observées depuis la pose des enrobés acoustiques en 2017.

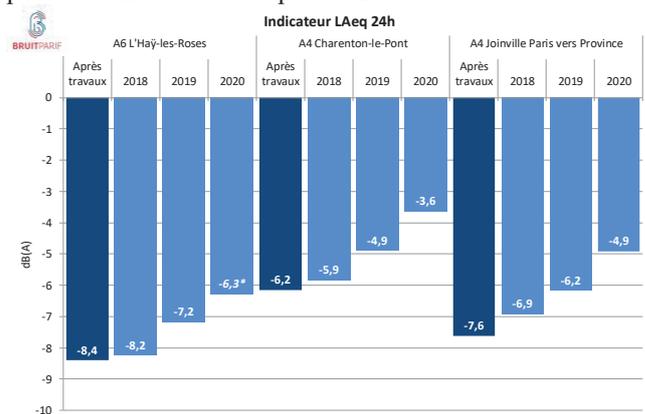


Figure 5 – Evolution annuelle de la réduction de bruit depuis la pose des enrobés acoustiques.

Trois ans après la pose des revêtements acoustiques, les résultats sont encore très positifs en termes d'efficacité de réduction du bruit apportée par de telles solutions, avec des niveaux sonores moyens réduits de -3,6 à -6,3 dB(A) en

moyenne, soit des diminutions équivalentes à ce qui pourrait être obtenu par une réduction de 57% à 77% du nombre de véhicules. Les analyses indiquent toutefois une dégradation de leurs performances acoustiques avec le temps, qui peut être estimée pour l'instant à +1,0 dB(A) par an [6]. Les stations déployées ont vocation à être maintenues pendant de nombreuses années afin de documenter l'évolution des performances acoustiques des revêtements de chaussée.

## 4 Projet LIFE Cool & Low Noise Asphalt

Dans le cadre du programme européen LIFE, la Ville de Paris, en partenariat avec les entreprises Colas, Eurovia et l'association Bruitparif, a testé trois formules innovantes de revêtement de chaussée pour lutter contre la pollution sonore et le réchauffement climatique [7]. En 2018, deux enrobés (SMaphon et Bbphon+) et un asphalte (PUMA) de chaussée rassemblant à la fois des propriétés acoustiques et thermiques, tout en conservant une durabilité mécanique acceptable, ont été développés [8-10]. A partir de 2018, 1200 mètres de chaussée ont été revêtus d'enrobés neufs aux propriétés acoustiques, thermiques et mécaniques. Ces nouvelles formules sont testées sur trois sites pilotes de 400 mètres de long chacun, trois sites parisiens fortement exposés au bruit routier : rue Frémicourt, rue Lecourbe et rue de Courcelles. Chaque site est équipé de différents capteurs et est revêtu pour moitié d'une solution innovante et pour l'autre moitié de la solution standard parisienne (cf. figures 6 et 7).

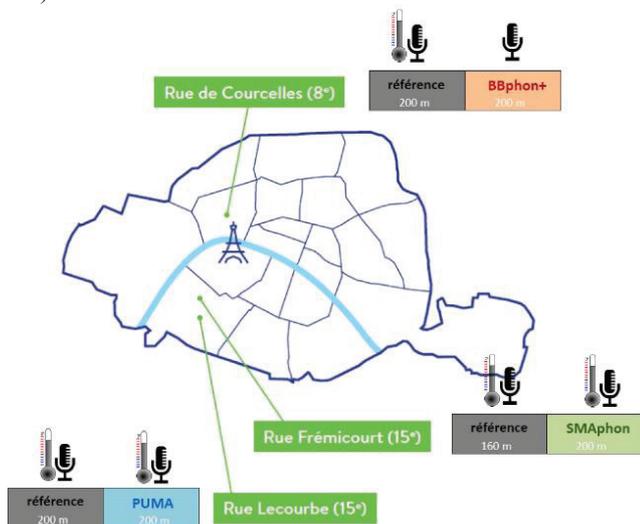


Figure 6 – Sites pilotes.

Les nouveaux types d'enrobés sont testés sur des tronçons routiers d'environ 200 m et comparés à la solution standard déployée par la Ville de Paris sur les voiries parisiennes : ACR 0/10 AC2 et BBMA 0/10. Aussi, des sections d'environ 200 m de ces enrobés standards ont également été posées sur les trois sites expérimentaux. Pour l'évaluation thermique, une troisième section conservant l'asphalte d'origine est utilisée comme section « témoin ».



Figure 7 – Rue Frémicourt ; Pose SMaphon, Octobre 2018.

### 4.1 Dispositif de suivi des performances

14 stations de mesures permanentes ont été installées pour évaluer les performances acoustiques et thermiques des nouveaux types d'enrobés et les comparer aux solutions standards : 6 stations acoustiques et 8 stations thermiques, stations positionnées entre la chaussée et la façade des bâtiments. Des enregistrements audionumériques en bord de route et des mesures de bruit de ProXimité en Continu (CPX), consistant à mesurer le bruit émis à proximité d'un pneumatique d'essai en roulement, complètent le dispositif d'évaluation acoustique (cf. figure 8).



Figure 8 – Dispositif de mesure CPX (Ville de Paris).



Figure 9 – Stations acoustique et thermique ; Rue Frémicourt 75015 Paris (SMaphon).

Des mesures de microrugosité de durabilité mécanique (testeur d'adhérence : SRT), de macrotexture (profondeur moyenne de texture : PMT) et de relevé in situ des petites dégradations sont réalisées périodiquement. Côté bruit, l'objectif prioritaire est de réduire les nuisances sonores générées par le trafic routier sur les voies urbaines grâce à ces nouvelles chaussées, en réduisant le bruit émis par le contact des pneumatiques des véhicules avec la chaussée (bruit de roulement). Sur la façade d'un bâtiment, les réductions du bruit de roulement sont clairement observables lors du passage nocturne de véhicules isolés, lorsque les vitesses de circulation routière sont relativement plus élevées et les autres sources de bruit réduites (travaux, activité humaine, etc.). Ainsi, l'indicateur LA10 22h-6h reflète bien la réduction liée au bruit de roulement (cf. figure 10). Pour les autres périodes de la journée, les indicateurs acoustiques montrent un bénéfice réduit voire nul.

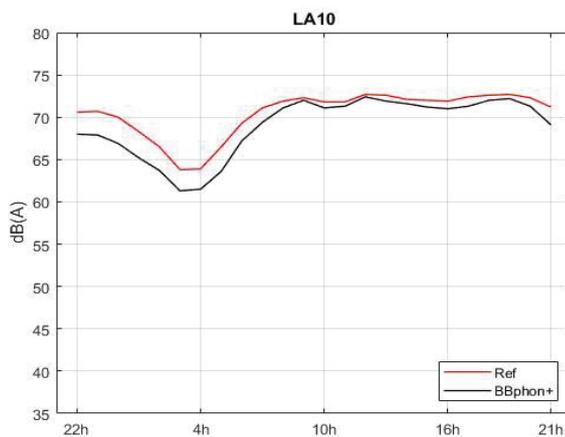


Figure 10 – Rue de Courcelles (Bbphon+) ; Indicateur LA10.

## 4.2 Performances par rapport aux solutions standard

Les objectifs du projet en termes de réduction du bruit de roulement par rapport aux solutions standards sont atteints pour le SMAphon et le Bbphon+ (cf. tableaux 3 et 4). Pour le PUMA, une référence (ACR 0/10 AC2) non représentative de la réalité n'a pas permis d'évaluer les performances de la nouvelle chaussée avant l'été 2020. Les résultats de la méthode CPX sont désormais disponibles pour les trois nouveaux enrobés depuis l'année 2020.

TABLEAU 3 – Réduction du bruit de roulement en dB(A) au moyen des solutions innovantes (CPX)

$\Delta$ CPX	Par rapport à la référence					
	2019		2020		2021	
V (km/h)	30	50	30	50	30	50
Objectif	-	-3,0	-	-2,0	-	-2,0
SMAphon	-2,9	-3,5	-1,8	-2,2	-1,7	-2,1
Bbphon+	-2,3	-3,3	-0,6	-1,5	-0,8	-1,3
PUMA	-	-	0,3	0,3	1,0	1,6

Pour les résultats en façade, l'analyse pour l'année 2020 correspond à la période avant le 16 mars, période non impactée par les restrictions de circulation liées à la crise sanitaire du COVID-19. L'analyse de l'année 2021 est en cours.

TABLEAU 4 – Réduction du bruit de roulement en dB(A) au moyen des solutions innovantes (Façade)

$\Delta$ LA10 22h-6h Façade	Par rapport à la référence			
	2018	2019	2020	2021
Objectif	-2,0		-1,0	
SMAphon	-2,3	-1,8	-1,2	
Bbphon+	-2,8	-2,6	-2,4	
PUMA	-	-	-	

Le tableau 5 présente les résultats toutes sources de bruit confondues en période nocturne. Sur cette période, la réduction du bruit reste importante : autour de -1 dB(A).

TABLEAU 5 – Réduction du bruit global en dB(A) (toutes sources confondues) au moyen des solutions innovantes (Façade)

$\Delta$ LAeq 22h-6h Façade	Par rapport à la référence			
	2018	2019	2020	2021
SMAphon	-1,3	-1,1	-0,7	
Bbphon+	-1,4	-1,1	-1,1	
PUMA	-	-	-	

## 4.3 Performance par rapport à l'existant

Les objectifs du projet en termes de réduction du bruit de roulement par rapport à l'existant sont quasiment atteints pour le SMAphon et le Bbphon+ (cf. tableaux 6 et 7).

TABLEAU 6 – Réduction du bruit de roulement en dB(A) au moyen des solutions innovantes (CPX)

$\Delta$ CPX	Par rapport à l'existant					
	2019		2020		2021	
V (km/h)	30	50	30	50	30	50
Objectif	-	-5,0	-	-3,0	-	-3,0
SMAphon	-3,6	-4,4	-1,8	-2,3	-1,7	-2,0
Bbphon+	-4,2	-4,7	-1,8	-2,4	-1,7	-1,8
PUMA	-2,8	-2,1	-2,4	-1,9	-2,1	-1,5

Moins efficace en termes de réduction du bruit après installation, les performances du PUMA semblent se maintenir dans le temps.

TABLEAU 7 – Réduction du bruit de roulement en dB(A) au moyen des solutions innovantes avec correction de température 0,1 dB/°C (Façade)

$\Delta$ LA10 22h-6h Façade	Par rapport à l'existant			
	2018	2019	2020	2021
Objectif	-3,0		-2,0	
SMAphon	-4,3	-3,9	-2,9	
Bbphon+	-3,5	-2,7	-2,1	
PUMA	-1,2	-1,1	-1,1	

## 4.4 Ressenti des riverains et usagers

Les premiers résultats montrent une réduction significative des niveaux sonores associés au bruit de contact pneumatique/chaussée en période nocturne. Cependant, la capacité à distinguer les sources de bruit par l'oreille humaine, peut permettre de ressentir le bénéfice apporté par les enrobés innovants. Une enquête auprès des usagers et

riverains des sites pilotes a permis de répondre à cette question (<https://www.life-asphalt.eu>). L'enquête menée rue Frémicourt en octobre 2019 montre que 63 % des personnes interrogées ont constaté une diminution du bruit routier suite au changement de revêtement de la chaussée. Parmi elles, 67% considèrent cette réduction comme moyenne ou importante. Ces éléments qualitatifs supplémentaires en termes de ressenti sont intéressants dans l'évaluation du projet.

#### 4.5 Aspects thermique et durabilité

Sur le plan thermique, l'objectif est d'atténuer l'effet des Îlots de Chaleur Urbains (ICU), en testant les capacités de rétention de l'eau en surface, les impacts microclimatiques générés par l'arrosage avec de l'eau non potable en période de canicule, et les effets de leur couleur (albédo) sur la restitution de la chaleur. Les nouveaux revêtements testés présentent une micro-granularité permettant de retenir un film d'eau qui rafraîchit l'air en s'évaporant [11-13]. Sur les aspects de durabilité, l'objectif est de renforcer la durabilité de ces revêtements au niveau de leurs propriétés phoniques, mécaniques et thermiques tout en limitant leur surcoût par rapport aux revêtements classiques (inférieur à 10%), afin de favoriser la diffusion de ces solutions en milieu urbain. Le suivi à long terme permettra de documenter l'évolution des performances acoustiques et thermiques dans le temps.

## 5 Conclusion

Aujourd'hui, l'utilisation de revêtements acoustiques est courante sur les routes dont la vitesse limite autorisée est supérieure à 70 km/h. L'utilisation de ces solutions en centre-ville pour des vitesses inférieures à 50 km/h est moins courante. Pour les trois contextes étudiés : autoroutes A4 et A6, périphérique parisien et voirie du centre-ville de Paris, les évaluations précoces des chaussées peu bruyantes fournissent des résultats très encourageants en termes d'efficacité à réduire l'exposition au bruit des populations riveraines des infrastructures routières. Les premiers résultats sur la voirie du centre-ville de Paris montrent une réduction significative des niveaux sonores liés au bruit de contact pneumatique/chaussée en période nocturne. Une enquête auprès des usagers et riverains de la rue Frémicourt montre que 63 % des personnes interrogées ont constaté une diminution du bruit routier suite au changement de revêtement de la chaussée. La pérennité des performances dans le temps reste un sujet d'étude. Aussi, une surveillance à long terme doit être menée afin d'étudier la durabilité des performances acoustiques et les qualités mécaniques des chaussées acoustiques dans un contexte de trafic routier urbain dense. Pour le périphérique parisien, dix ans après le début de l'expérimentation, les niveaux sonores restent inférieurs aux niveaux initiaux sur la portion du périphérique parisien étudiée.

## Remerciements



Les partenaires du projet LIFE Cool & Low Noise Asphalt remercient la Commission européenne pour sa confiance et son soutien financier. Bruitparif remercie également la Direction des Routes Île-de-France (DiRIF) pour leur collaboration dans le cadre de la documentation de l'environnement sonore des autoroutes A4 et A6, plus globalement, le Conseil Régional de l'Île-de-France, la Ville de Paris ainsi que l'ensemble des membres de Bruitparif pour leur confiance et leur soutien.

## Références

- [1] C. Ribeiro, J. Martini, J. Lefebvre, G. Custodi, F. Mietlicki, LIFE project Cool & Low Noise Asphalt: Monitoring the acoustic performance of low noise pavements. Proceedings of EuroNoise 2021, Funchal, Portugal (2021).
- [2] Bruitparif, Campagne de Mesure du bruit autour du boulevard périphérique parisien, Rapport Bruitparif, Disponible sur <https://www.bruitparif.fr/publications/> (2010).
- [3] Harmonica: LIFE Harmonica project. <https://www.harmonica-project.eu/fr> (2011-2016).
- [4] Bruitparif. Mesure du bruit - Bd Périphérique Pte Vincennes - Bilan à 3 mois de l'effet de la mise en œuvre des nouveaux revêtements de chaussée, Rapport Bruitparif, Disponible sur <https://www.bruitparif.fr/publications> (2012).
- [5] C. Vuye, A. Bergiers, B. Vanhooreweder, The acoustical durability of thin noise reducing asphalt layers. Coatings, 6,21; doi: 10.3390 / coatings 6020021 (2016).
- [6] Bruitparif, Suivi des performances acoustiques des enrobés phoniques sur des sections très circulées d'autoroutes franciliennes: A4 Charenton-le-Pont et Joinville-le-Pont - A6 L'Haÿ-les-Roses - Bilan annuel 2020. Rapport Bruitparif, Disponible sur <https://www.bruitparif.fr/publications> (2021).
- [7] Cool & Low Noise Asphalt: LIFE Cool & Low Noise project. <https://www.life-asphalt.eu> (2017-2022).
- [8] E. Godard, O. Chrétien, K. Ibtaten, A. Lemée, J. Lefebvre, L. Grin, C. Ribeiro, S. Parison, Cool & Low Noise Asphalt: des revêtements innovants pour l'environnement à Paris. RGRA N°960, pp. 066-073 (2019).
- [9] E. Godard, O. Christian, J. Lefebvre, M. Sineau, L. Grin, C. Ribeiro, Life Project: Cool & Low Noise Asphalt Project in Paris. Proceedings of 26th World Road Congress, Abu Dhabi, United Arab Emirates (2019).
- [10] E. Godard, O. Chrétien, J. Lefebvre, M. Sineau, L. Grin, Cool & Low Noise Asphalt Project in Paris. Proceedings of E&E 2020, Madrid, Spain (2020).
- [11] S. Parison, M. Hendel, L. Royon, In situ assessment of cooling effects of pavement-watering: application to Cool & Low Noise Asphalt, Proceedings of IC2UHI 2019, Hyderabad, India (2019).
- [12] S. Parison, M. Hendel, A. Grados, L. Royon, Comportement thermique de revêtements innovants à Paris pour le projet Cool & Low Noise Asphalt. Proceedings of CIFQ 2019, Québec, Canada (2019).
- [13] M. Chaniel, S. Parison, M. Hendel, L. Royon, Etude du comportement thermique et micro-climatique de revêtements innovants pour le projet Life Cool & Low Noise Asphalt. Proceedings of AIC 2020, Rennes, France (2020).