

COOL & LOW NOISE ASPHALT PROJET LIFE

—
LAYMAN'S REPORT
RETOUR SUR 5 ANS
D'INNOVATION POUR
AMÉLIORER LA VIE DES
PARISIEN·NES

CARTE D'IDENTITÉ DU PROJET

Localisation du projet :

Paris - 3 sites pilotes
(rue Frémicourt, rue Lecourbe et
rue de Courcelles)

Date de début du projet :

2017

Date de fin du projet :

2023

Budget total :

2,3 M€ investis dont 1,3 M€
de financements européens

Partenaires financiers :

Ce projet est financé par le fonds
européen LIFE
LIFE16/ENV/FR/000384
et la Ville de Paris

Bénéficiaires immédiats du projet :

1000 parisien·nes impacté·es

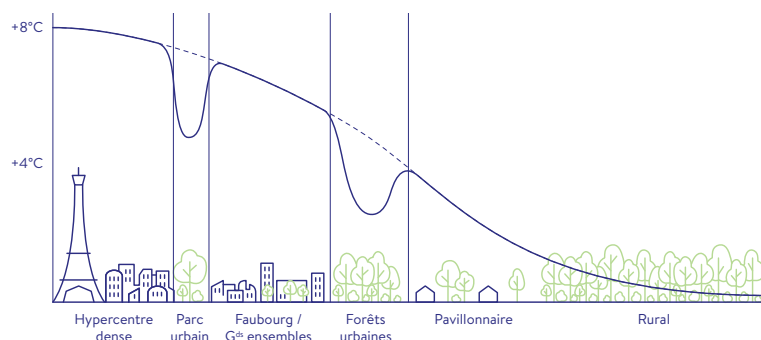
AVANT-PROPOS

Dans les grandes villes européennes, 37 millions de personnes sont exposées à des niveaux de bruit dangereux pour la santé. À Paris, c'est 22 % de la population qui est concernée. En parallèle de ce problème de pollution sonore, des études ont montré l'augmentation de l'intensité et de la durée des vagues de chaleur en Europe depuis 30 ans. Ces épisodes sont amplifiés par le phénomène des Îlots de Chaleur Urbains (ICU) caractérisé, dans les secteurs urbanisés, par des températures de l'air et des surfaces supérieures à celles des zones rurales. Ces deux phénomènes, d'autant plus lorsqu'ils sont couplés, sont néfastes pour la santé des habitant·es de ces zones urbaines.

Co-financé par l'Union Européenne dans le cadre du fonds LIFE et la Ville de Paris, le projet COOL & LOW NOISE ASPHALT bénéficie d'un partenariat avec le centre d'évaluation technique de l'environnement sonore en Ile-de-France (Bruitparif), les entreprises Colas et Eurovia, l'université Paris Cité (LIED PIERI). Il met en œuvre de nouveaux revêtements routiers bitumeux sur 3 sites pilotes parisiens. Leurs propriétés phoniques et thermiques innovantes seront évaluées jusqu'en 2028.

Objectifs : réduire les émissions de chaleur et de bruit, développer progressivement l'opération dans toute la Ville de Paris, puis à l'échelle européenne. Cette ambition s'inscrit dans l'adoption par la Ville de Paris d'un panel de solutions innovantes pour lutter contre les effets du réchauffement climatique et de la densification urbaine :

- incitation aux modes doux et à la motorisation électrique,
- végétalisation,
- amélioration des propriétés phoniques et thermiques des matériaux utilisés sur la voirie.



Courbe de température en fonction de l'urbanisation

© Julie Roussel - DTEC - Ville de Paris



SOMMAIRE

01. PRÉSENTATION DU PROJET

1. Qu'est-ce que le projet LIFE COOL & LOW NOISE ASPHALT ? p.4
2. La temporalité du projet p.5
3. Les objectifs fixés en 2017 p.6

02. MÉTHODES ET TECHNIQUES :

1. 2018 :
la formulation des enrobés innovants p.7
2. Septembre - Octobre 2018 :
Le chantier et l'inauguration p.9
3. Les méthodologies de mesures p.10

03. ANIMATION ET COMMUNICATION

1. 2018-2022 :
L'animation du projet p.13
2. Automnes 2021 et 2022 : « points info » riverains :
à l'écoute des parisiens p.14

04. RÉSULTATS DES CAMPAGNES DE RELEVÉS 2019-2023

1. Les relevés thermiques p.16
2. Les relevés acoustiques P.19

05. 2023 - 2028 : LES ACTIONS AFTER-LIFE

1. Les actions p.22
2. La communication p.23





2,3 M€

investis dont 1,3 M€
de financement européen.



3

sites pilotes



600 m

de revêtement posés



1000

Parisien·nes impacté·es



3

revêtements innovants



2

entreprises de travaux publics



1

observatoire sur le bruit



1

université

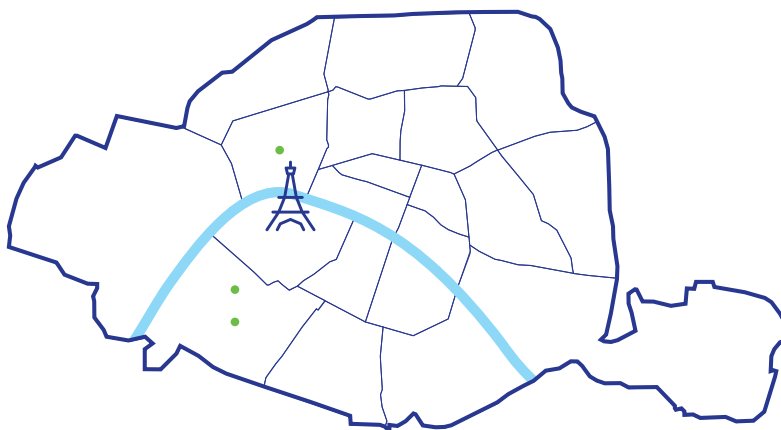
01

PRÉSENTATION DU PROJET

1. QU'EST-CE QUE LE PROJET LIFE COOL & LOW NOISE ASPHALT ?

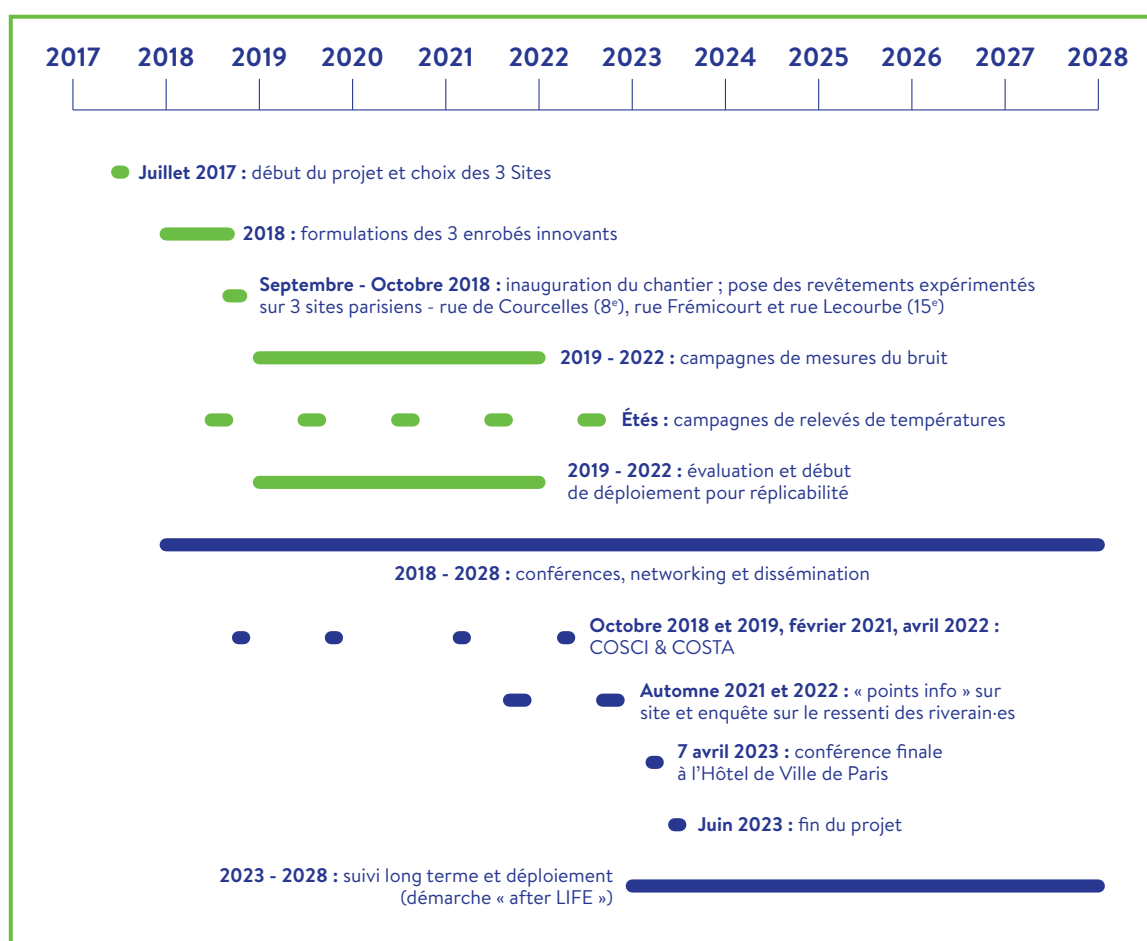
Le projet LIFE COOL & LOW NOISE ASPHALT a eu pour ambition de réduire le bruit issu du trafic routier en ville (bruit de roulement) et d'atténuer l'intensité des ICU en développant des formules innovantes d'enrobés bitumineux qui possèdent des propriétés phoniques et thermiques, tout en conservant une bonne durabilité mécanique.

Les résultats des évaluations montrent que les objectifs identifiés en début du projet ont été atteints dans la majorité des cas, et que les solutions LIFE COOL & LOW NOISE ASPHALT peuvent être inscrites parmi les réponses possibles d'adaptation environnementale et de réduction du bruit, dans une approche intégrée pour améliorer la qualité de vie de toutes et tous en milieu urbain.





2. LA TEMPORALITÉ DU PROJET



EXPÉRIMENTATION
ET EVALUATION

ANIMATION ET
COMMUNICATION



Réduire la pollution sonore générée par le trafic routier sur les axes urbains à 50 km/h



Atténuer l'effet des ICU grâce à une aspersion d'eau non potable, retenue en surface par les différents revêtements



Utiliser des granulats clairs pour limiter l'absorption de chaleur



Faciliter la pose et l'entretien des revêtements proposés



Limiter les surcoûts à 10 % maximum par rapport à un enrobé classique

3. LES OBJECTIFS FIXÉS EN 2017

	OBJECTIFS		
	2018 - juste après la pose	2021 - dernière campagne de mesure avant la fin du projet	2027 - 5 ans après la fin du projet
Performance phonique			
Diminution du bruit de roulement (Lr) par rapport à l'existant (Lri)	< = - 5 dB (A)	< = - 3 dB (A)	< = - 1 dB (A)
Diminution du bruit de roulement (Lr) par rapport au revêtement de référence (ref)	< = - 3 dB (A)	< = - 2 dB (A)	< = - 1 dB (A)
Diminution du bruit en façade (Lf) des riverains par rapport à l'existant (Lfi)	< = - 3 dB (A)	< = - 2 dB (A)	< = - 1 dB (A)
Diminution du bruit en façade (Lf) des riverains par rapport au revêtement de référence (ref)	< = - 2 dB (A)	< = - 1 dB (A)	< = - 0,5 dB (A)
Performance thermique (variations selon conditions climatiques)			
Diminution de la température de l'air à 1,5 m de haut (hauteur piéton) grâce à l'arrosage par rapport à la chaussée existante sèche	- 1,5 à - 2,5 °C	- 0,5 à - 1,5 °C	- 0,5 à - 1,5 °C
Diminution de la température ressentie à 1,5 m de haut (hauteur piéton) grâce à l'arrosage par rapport à la chaussée existante sèche	- 2,5 à - 3,5 °C	- 1,5 à - 2,5 °C	- 1,5 à - 2,5 °C
Diminution de la température de l'air à 1,5 m de haut (hauteur piéton) en période estivale par effet d'albédo par rapport à l'existant et au revêtement de référence	- 1 à - 2 °C	- 1 à - 3 °C	- 1 à - 3 °C
Diminution de la température ressentie à 1,5 m de haut (hauteur piéton) en période estivale par effet d'albédo par rapport à l'existant et au revêtement de référence	- 2 à - 3 °C	- 2 à - 4 °C	- 2 à - 4 °C
Durabilité physique et géométrique (microrugosité et macrorugosité)			
Enrobé SMA et BB phonique	VEP > 65 PMT > 1,4	VEP > 50 PMT > 1,0	VEP > 50 PMT > 0,8
Enrobé coulé	VEP > 65 PMT > 0,7	VEP > 50 PMT > 0,5	VEP > 50 PMT > 0,5

4. LES ACTEURS DU PROJET

Partenaires mobilisés :

- > Ville de Paris
- > Bruitparif
- > Mairie du 8e
- > Mairie du 15e
- > Université Paris Cité Lied Pieri
- > Colas
- > Eurovia



02

MÉTHODES ET TECHNIQUES

1. 2018 : LA FORMULATION DES ENROBÉS INNOVANTS



LA FORMULATION DÉVELOPPÉE PAR EUROVIA : PUMA

Dans le cadre de ce projet, EUROVIA a développé une formule innovante de revêtement routier de type asphalte coulé à chaud.

► **La formulation du produit a été menée sur le revêtement asphalte PUMA. Mais l'étude mécanique a été réalisée sur le complexe enrobé de liaison / asphalte PUMA afin de répondre aux contraintes du site pilote trouvé (mise en œuvre d'une couche mince d'enrobé puis du revêtement PUMA sans reprise de la fondation).**

D'un point de vue économique, le surcoût maximal vis-à-vis de la technique de référence ne doit pas dépasser 10 %.

Pour répondre aux objectifs phoniques et thermiques, il a été fait le choix d'associer les propriétés d'albédo d'un granulat clair et de porosité de granulats légers. Avec pour principe que les granulats clairs limitent l'absorption de l'énergie solaire tandis que les granulats poreux vont permettre d'avoir une rétention d'eau et une absorption du bruit de roulement. Pour garantir un effet immédiat du produit il

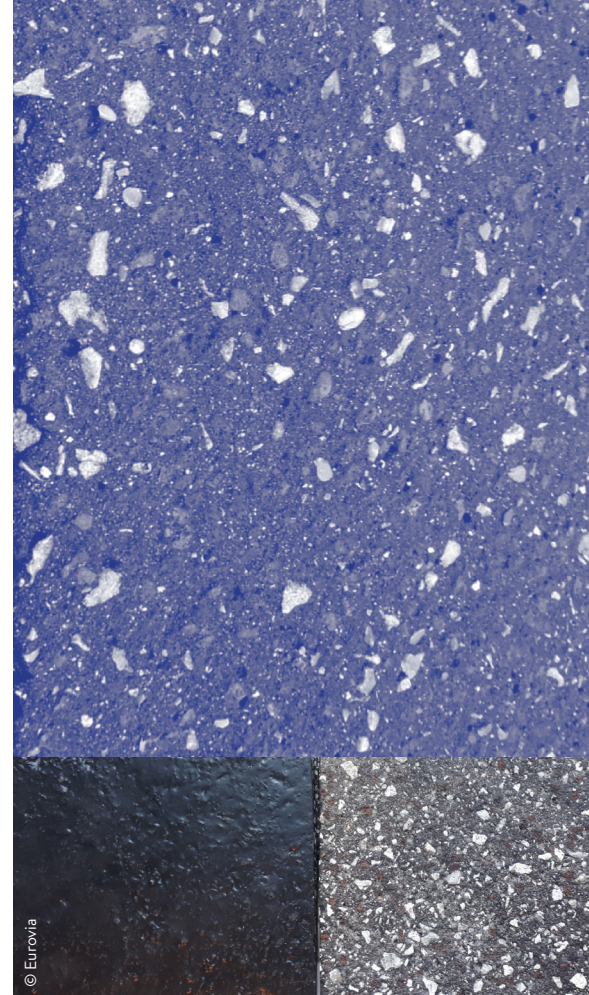
a été fait le choix de réaliser un traitement de surface par grenailage en suivant des travaux.

À travers cette étude des choix concernant les matériaux poreux et les matériaux clairs ont été réalisés. Onze formulations différentes ont été réalisées en faisant varier la nature des constituants ainsi que leurs proportions.

Les différentes formulations ont été caractérisées sur les aspects mécaniques, phoniques et thermiques à travers une grande batterie de test, afin de les classer et de sélectionner la formule PUMA optimale.

Le comportement mécanique du produit a été étudié à l'aide de cinq essais en laboratoire.

L'indentation a été mesurée pour vérifier le bon comportement au poinçonnement du produit. Il a également été regardé la maniabilité au sceau du PUMA pour vérifier sa possible mise en œuvre mécanique et manuelle. Un grenailage étant réalisé sur le produit il a été nécessaire de vérifier que l'éprouvette subissant le traitement de surface ne présente pas de dégradation. Nous avons également caractérisé le produit d'un point de vue adhérence avec la détermination de la profondeur moyenne de la macrotexture de surface Enfin, étant donné la circulation et la présence d'un couloir Bus sur le site pilote, nous avons vérifié sa durabilité et sa résistance à l'orniérage à travers l'essai d'Hamburg test.



Le comportement phonique

a été appréhendé à travers deux essais. Le Tube de Kundt qui permet la mesure du coefficient d'absorption et de l'impédance de surface de matériaux acoustiques. Ainsi que la quantification surfacique des granulats poreux à travers une méthode par traitement d'image permettant de déterminer leurs concentrations à la surface du revêtement.

Le comportement thermique

a été évalué deux grandeurs, la colorimétrie et l'albédo. La colorimétrie d'un enrobé correspond à la sensibilité de l'œil à l'intensité lumineuse (L*) et aux nuances de couleurs a* (vert <-> rouge) et b* (bleu <-> jaune). L'albédo (a) d'une surface mesure l'importance avec laquelle une surface recevant de la lumière, réfléchit cette lumière : il s'agit en fait du pouvoir réfléchissant d'une surface.

LES 2 FORMULATIONS DÉVELOPPÉES PAR COLAS: BBPHON+ ET SMAPHON

COLAS



© COLAS - Joachim Bertrand

COLAS a mis tout son savoir-faire à développer deux formulations d'enrobés innovantes en optimisant des formulations classiques pour leur adjoindre de nouvelles performances d'acoustiques, de durabilité, de baisse des effets ICU et à des coûts maîtrisés.

L'objectif étant à la fois de répondre aux problématiques de durabilité des enrobés en milieux urbains comme aux attentes des riverains en termes de confort phonique et thermique.

Ces produits novateurs prennent les noms de :

➤ **BBphon+ (BB 0/6)** à grande qualité acoustique. Cette formule a été développée dans le but de baisser significativement le niveau de bruit de la circulation.

➤ **SMAphon (BB 0/10)** permet un gain acoustique dans les zones urbaines les plus contraignantes.

Les granulats clairs employés à la conception de ces deux revêtements contribuent à la réduction de l'absorption du rayonnement solaire incident. Le décapage du liant bitumineux noir dû au trafic laisse apparaître la couleur naturelle des granulats.

Ces formules d'enrobés ont été validées dans les conditions les plus sévères utilisées à ce jour au niveau européen.

L'ESSAI AU TUBE D'IMPÉDANCE POUR LA DÉTERMINATION DE LA PERFORMANCE ACOUSTIQUE

L'essai au tube d'impédance à deux microphones permet de déterminer le coefficient d'absorption α d'un enrobé.

À une extrémité du tube, un haut-parleur génère une onde sonore incidente. À l'autre extrémité du tube, l'éprouvette cylindrique testée d'une épaisseur définie (fabriquée à l'aide de la Gyropac) est placée dans un porte-échantillon. L'onde incidente est partiellement réfléchie par l'éprouvette, ce qui forme une onde stationnaire. Le signal est décomposé en une composante incidente et une composante réfléchie. Celles-ci sont déterminées à partir de la relation entre les pressions acoustiques mesurées à deux emplacements par les microphones.

Le coefficient d'absorption est calculé à partir des fonctions de transfert du signal, de sa partie incidente et de sa partie réfléchie.

L'ESSAI CANTABRO MODIFIÉ POUR MESURER LA RÉSISTANCE AUX CHOCs

Cet essai non normalisé donne une indication de la résistance globale de l'enrobé aux sollicitations de surface qu'il est susceptible de subir.

Dans le cadre du protocole mis au point par le Core Center de Colas, quatre éprouvettes sont confectionnées à l'aide de la méthode de moulage de type Duriez normal (moule de 80 mm de diamètre, masse introduite de 1000 g). Une fois démoulée, l'éprouvette est mesurée et pesée à 0,1g près dans les mêmes conditions que pour l'essai de sensibilité à l'eau. On peut ainsi déterminer le pourcentage de vide moyen de la série d'éprouvettes.



Dans le cadre du projet LIFE COOL & LOW NOISE ASPHALT, les éprouvettes sont mises en température dans une enceinte à -10 °C pendant au moins six heures. Elles sont ensuite placées une par une dans un tambour Los Angeles sans charge abrasive et subissent une usure de 500 tours. Après l'essai, l'éprouvette est récupérée et pesée de nouveau à 0,1g près. La perte à l'usure Cantabro modifiée est la perte de masse ramenée à la masse initiale, exprimée en %.

$$P = 100 \times \frac{(M_1 - M_2)}{M_1}$$

La perte de masse finale est la moyenne des quatre valeurs obtenues. Les résultats sont interprétés de manière comparative entre les différentes formules testées.



© COLAS - Joachim Bertrand

Éprouvette Duriez après essai Cantabro (500 tours de tambour Los Angeles)

L'ESSAI DE PLUMAGE (DARMSTADT SCUFFING DEVICE) POUR MESURER LA RÉSISTANCE AUX CISAILLEMENTS

L'essai simule un « plumage », terme désignant l'arrachement de granulats en surface d'une plaque d'enrobé bitumineux, causé par le passage cisailant d'un pneu (pression de 3 bars). Celui-ci est descendu sur la plaque avec une force statique définie. La plaque exécute un mouvement combiné de rotation et de va-et-vient dans le sens horizontal, ce qui entraîne des forces sous le pneu simulant l'effet du trafic tangentiel.



© COLAS - Adrien Daste



Machine de plumage du Core Center de Colas

Deux procédures différentes sont appliquées une par une sur chaque plaque :

- La procédure du CRR (Centre de Recherche Routière belge) SB250 v3.1, est réalisée à 25°C, avec une force d'appui de 1000 N et 10 cycles (cinq séries de deux cycles). Un cycle correspond à un demi-tour de plaque dans le sens horaire puis un demi-tour dans le sens antihoraire, et à cinq allers-retours du plateau, simultanément. Après chaque série de cycles, les granulats arrachés sont récupérés à l'aide de l'aspirateur intégré à la machine, dans le bac de collecte. La perte de masse est déterminée par pesée de ces granulats récupérés.
- La deuxième procédure est « sévérée ». À 25°C, la machine réalise 50 cycles (cinq séries de dix cycles) avec une force d'appui de **2000 N**.

Le résultat exprimé en g/m² (perte de masse/surface endommagée) est la moyenne sur quatre plaques de 26x26x5 cm³.

LA COLORIMÉTRIE POUR CONNAÎTRE LA CLARTÉ DES GRANULATS

Au cours de l'étude de formulation, des mesures de clarté ont été faites sur différents granulats, à l'aide d'un colorimètre de géométrie 45/0 utilisant un illuminant D65 sous un angle de 10° pour l'observateur, selon un protocole mis au point par le LEM-VP (Laboratoire de l'espace public de la Ville de Paris).

Les composantes trichromatiques CIE 1976 au sens de la norme NF X 08-000, L*, a* et b* sont mesurées. Les mesures sont réalisées sur un lit épais de granulats 6/10, préalablement lavés et séchés, correspondant à une prise d'essai de 4-5 kg. (50 mesures : répétitions de 5 mesures puis mélange des granulats).

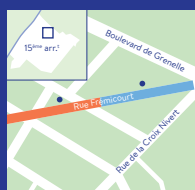
2. SEPTEMBRE - OCTOBRE 2018 : LE CHANTIER ET L'INAUGURATION

LES 3 SITES D'EXPÉRIMENTATION

Schéma des trois sites pilotes d'expérimentation des revêtements bitumeux

De gauche à droite :

rue Frémicourt, rue Lecourbe et rue de Courcelles



- Zone témoin non arrosée
- Zone de référence arrosée
- Zone innovante arrosée

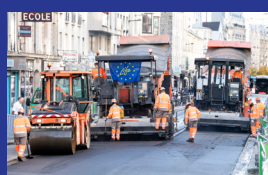
© DTEC - Ville de Paris



BALADE INAUGURALE DU 16 OCTOBRE 2018



Rue de Courcelles
© COLAS - Joachim Bertrand



Rue de Frémicourt
© COLAS - Joachim Bertrand



© Eurovia



© Eurovia

3. LES MÉTHODOLOGIES DE MESURES

A. THERMIQUES

MESURE DE FLUX THERMIQUE ET DE TEMPÉRATURE, D'EFFET ALBÉDO DU REVÊTEMENT, DE L'ARROSAGE

S'appuyant sur l'existence d'un réseau d'eau non potable, véritable atout pour la ville dans le cadre de son adaptation au changement climatique, le projet LIFE COOL & LOW NOISE ASPHALT a permis la mise en place d'un protocole expérimental d'arrosage des rues pendant les jours de forte chaleur. Le protocole est déclenché en fonction des prévisions météorologiques, le matin de 7h à 11h30, avec une aspersion toutes les 1h30, et l'après-midi de 14h à 18h30, toutes les 30 minutes.

Chacune des portions considérées (albédo ou arrosée) par site de mesure est équipée d'une station météo en son centre. Ces stations mesurent tous les paramètres nécessaires à l'estimation du confort thermique des piétons :

- À 1,5 m : température et humidité relative de l'air, température de globe noir.
- À 4 m : température et humidité relative de l'air, vitesse de vent et rayonnement net.



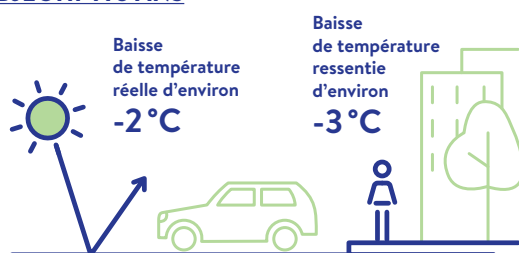
Capteurs thermiques chaussée

La température de globe noir permet de quantifier l'ambiance rayonnante sur le confort (une sorte de température « au soleil » par opposition à la température « à l'ombre »).

L'indicateur UTCI est un indicateur de confort thermique extérieur qui prend en compte divers facteurs : la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse de vent et la température moyenne de rayonnement (qui permet de caractériser le milieu radiatif environnant). Certaines hypothèses sont aussi faites sur l'habillement, le métabolisme, etc. afin de pouvoir calculer une température de l'air équivalente pour des conditions de référence.

En ce qui concerne l'évaluation des flux thermiques dans le matériau de chaussée, chacune des portions est équipée d'un capteur de température et de flux de chaleur en face de la station, à environ 5 cm de profondeur.

OBJECTIF À 3 ANS



5 capteurs de mesure de flux thermique et de température ont été posés sous le revêtement en enrobé :

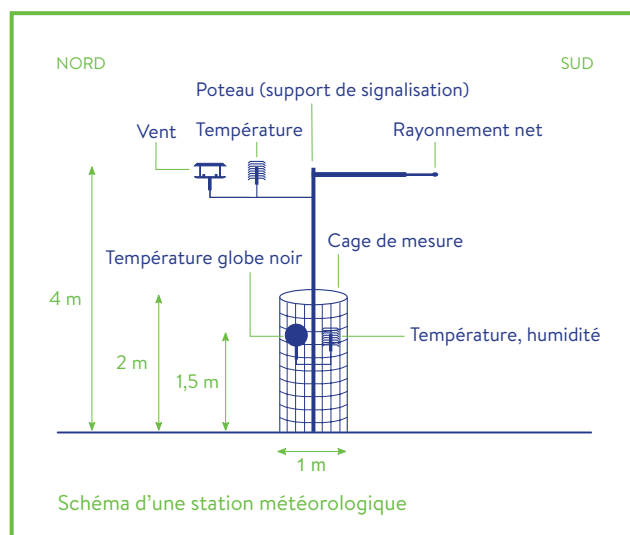
- 2 rue de Courcelles
- 2 rue Lecourbe
- 1 rue Frémicourt

LES PÉRIODES D'ARROSAGE

Renforcer la présence d'eau en ville a des bénéfices immédiats pour le rafraîchissement du corps humain. S'appuyant sur l'existence d'un réseau d'eau non potable, véritable atout pour la ville dans le cadre de son adaptation au changement climatique, le projet LIFE COOL & LOW NOISE ASPHALT a permis la mise en place d'un protocole expérimental d'arrosage des rues pendant les jours de forte chaleur. Le rafraîchissement des rues par arrosage d'eau non potable cible naturellement les périodes de canicules. À Paris, le critère de canicule correspond à une température minimale supérieure à 21 °C et à une température maximale supérieure à 31 °C, en moyenne sur 3 jours consécutifs. Afin d'augmenter le nombre de tests, l'arrosage est déclenché dès que les températures estivales moyennes ($T_{min} \geq 16$ °C et $T_{max} \geq 25$ °C) sont dépassées par temps calme et ciel clair. Le protocole est déclenché en fonction des prévisions météorologiques, le matin de 7h à 11h30, avec une aspersion toutes les 1h30, et l'après-midi de 14h à 18h30, toutes les 30 minutes.



Niveau d'alerte canicule	Critères d'arrosage des chaussées
$T_{air, max} > 31$ °C	$T_{air, max} > 25$ °C
$T_{air, min} > 21$ °C	$T_{air, min} > 16$ °C
	Vitesse du vent < 10 km/h
	Couverture nuageuse : ensoleillée





B. ACOUSTIQUES

LA MÉTHODE CPX

Le principe de la méthode en champ proche CPX est de mesurer en continu et à vitesse constante le niveau sonore LV_{Réf} et l'homogénéité acoustique τ V_{Réf} d'un revêtement de chaussée par la mesure du bruit de contact entre le pneu et la chaussée et ainsi évaluer ses performances acoustiques. Elle se fera conformément à la procédure technique du LEMVP : PTE.17.ESM.v01.

Elle repose sur trois acquisitions simultanées : l'indicateur Leq du bruit de contact pneumatique-chaussée, la vitesse du véhicule d'essai et la distance parcourue sur la zone d'essai. La mesure du Leq est réalisée à l'aide de trois microphones placés à proximité du pneumatique. La mesure de la vitesse instantanée du véhicule est réalisée par un capteur optique qui permet également d'évaluer la distance parcourue.

Le système de mesure est un ensemble composé d'un véhicule d'essai équipé d'un montage spécifique pour la chaîne d'acquisition acoustique couplé à un capteur optique et d'une station météorologique. Le véhicule est une Renault ZOÉ life. Cette voiture électrique nous permet de nous acquitter du bruit d'un moteur thermique. Avant les essais nous devons l'équiper du jeu de pneus de mesure car ce pneumatique doit être stocké pour limiter l'évolution de ses caractéristiques. La barre permet de fixer les microphones aux positions de mesure en limitant son bruit aérodynamique. Les microphones sont reliés à la carte d'acquisition située à l'intérieur du véhicule. Le capteur optique est aussi relié à la carte d'acquisition et est placé à l'arrière du véhicule. Il permet la mesure de la vitesse instantanée et de la distance parcourue lors de l'essai.

Les mesures sont réalisées tous les ans durant la période estivale.

LES MESURES DU BRUIT EN FAÇADE

Les mesures continues sont réalisées au moyen de stations permanentes équipées de sonomètres classe 1 de marque RION modèle NL52. Ces stations sont disposées sur des supports tels que des poteaux d'éclairage, des poteaux spécifiques ou temporaires ou sur tout élément de façade susceptible d'accueillir un système de mesure pour une longue durée.

Les emplacements de mesure sont choisis pour éviter au maximum d'être déplacés au cours du temps. Les microphones sont positionnés à 4 mètres de hauteur par rapport au sol. On veille à ce que ces emplacements soient représentatifs d'une circulation plutôt continue en s'éloignant des zones d'accélération potentielle des véhicules, ainsi les stations de mesure sont autant que possible éloignées des feux tricolores ou des arrêts de bus. On veille également à ce que les stations soient peu impactées par des bruits autres que ceux générés par la circulation routière. On évite ainsi de se positionner à proximité directe d'activités bruyantes (garage automobile, discothèque...).

Une attention particulière est portée au positionnement des microphones par rapport aux voies de circulation.

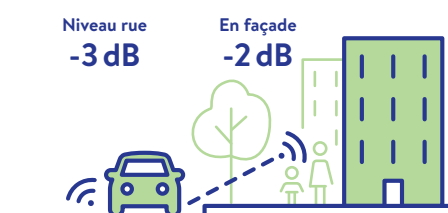
Pour un site donné, les microphones sont positionnés à la même distance de la voie de circulation et du même côté de la voie. En fonction de la distance microphone / façade du bâtiment le plus proche, des mesures complémentaires de courte durée sont réalisées afin de pouvoir redresser les niveaux sonores à un équivalent « 2 mètres en avant de la façade », correspondant aux conditions de mesure préconisées dans la norme NF S 31 185 relative au mesurage du bruit routier, et permettant de comparer les résultats des indicateurs de bruit routier sur les périodes jour (6 h - 22 h) et nuit (22 h - 6 h) par rapport aux valeurs limites réglementaires fixées par la France qui sont respectivement de 70 dB (A) et de 65 dB (A).

Afin de documenter les trois sites expérimentaux prévus, 6 sonomètres sont mobilisés :

- 2 pour le site de la rue Frémicourt (planche de référence, planche avec revêtement acoustique)
- 2 pour le site de la rue Lecourbe (planche de référence, planche avec revêtement acoustique)
- 2 pour le 3^e site de la rue de Courcelles (planche de référence, planche avec revêtement acoustique)

Les sonomètres sont placés au milieu de chacune des planches, de manière que le bruit mesuré provienne quasi exclusivement du bruit généré par le passage des véhicules sur la planche concernée. Les sonomètres sont étalonnés tous les 24 mois par un laboratoire accrédité par le Cofrac. En complément, des auto-vérifications intermédiaires sont assurées sur site par le laboratoire de Bruitparif tous les 8 mois.

OBJECTIF À 3 ANS



Deux types de mesures acoustiques sont réalisés. Les premières visent à comparer les niveaux sonores en façade d'immeuble, entre les revêtements innovants et de référence. Il s'agit de mesures en continu, qui font l'objet de bilans annuels. Les secondes concernent directement le bruit du pneu sur la chaussée (aussi appelées "mesures CPX"). Il s'agit d'un système d'acquisition acoustique installé sur une voiture électrique.

Ce sont des mesures ponctuelles réalisées une fois par an, pendant la nuit. Leur objectif est de connaître les performances intrinsèques des revêtements et de suivre leur évolution sur plusieurs années, afin d'étudier la durabilité de leur performance.

Les résultats montrent une diminution significative des niveaux sonores sur 2 des 3 sites pilotes.



03

ANIMATION ET COMMUNICATION

1. 2018 - 2022 : L'ANIMATION DU PROJET

COSCI & COSTA (OCTOBRE 2018 ET 2019, FÉVRIER 2021, AVRIL 2022)

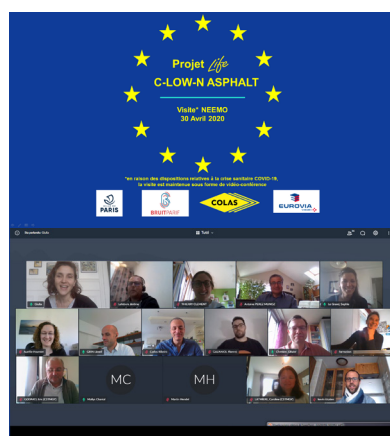
Depuis 2018, l'évènement annuel COSCI & COSTA a été l'occasion d'échanger autour des résultats du projet avec les partenaires du comité scientifique (COSCI) et du comité des parties prenantes ou Stakeholders (COSTA).

En 2019 l'évènement a permis d'échanger sur les méthodes et les premiers résultats de mesures, tandis qu'en 2022, ce sont les résultats consolidés du projet qui ont été présentés. Il a également été une occasion précieuse de partage d'expérience avec de nombreux projets européens et internationaux (Italie, Espagne et États-Unis).

Annulé en 2020 en raison du Covid, le comité s'est réuni en 2021 sous format de visioconférence. En 2022, il a permis de sensibiliser et informer un large public de professionnels: de nombreuses administrations, européennes et internationales étaient présentes, ainsi que des entreprises du génie civil; et des laboratoires de recherche.

VISITES NEEMO

L'organisme NEEMO agit en tant qu'auditeur externe pour vérifier l'avancement des actions du projet, et fournit un lien de communication entre le bénéficiaire principal du financement (la Ville de Paris) et CINEA, l'agence de la commission européenne pour le climat, les infrastructures et l'environnement. Ses visites annuelles sont l'occasion de faire le bilan de ce qui a été fait et ce qui reste à faire, et d'éclaircir tant les aspects techniques que financiers du projet.



2. AUTOMNES 2021 ET 2022 : « POINTS INFO » RIVERAINS : À L'ÉCOUTE DES PARISIEN·NES

L'équipe LIFE ASPHALT a rencontré sur place les habitantes des rues concernées par l'expérimentation, avec des points d'information organisés à deux reprises sur chaque site en 2021 et 2022. Un formulaire d'enquête a également été distribué en 2021 pour recueillir plus largement

le ressenti des personnes du secteur (habitantes, mais aussi commerçants et usagers de l'espace public).

Le retour d'expérience est fortement positif, avec plusieurs témoignages d'une perception d'amélioration de la qualité de l'environnement.

TROIS STANDS POUR COMMUNIQUER LES RÉSULTATS ET RECUEILLIR LE RESENTI



18 SEPTEMBRE 2021 : RUE FRÉMICOURT



25 SEPTEMBRE 2021 : RUE LECOURBE



2 OCTOBRE 2021 : RUE DE COURCELLES

ENQUÊTE DE SATISFACTION*

Depuis le changement du revêtement
de chaussée au dernier trimestre 2018

63% des personnes interrogées
ont noté une **diminution**
du bruit routier.

PARMI ELLES

32%
jugent cette
réduction faible

44%
la jugent
moyenne

23%
la jugent
importante

82%
attribuent cette réduction
à la composante
« **Bruit de roulement** »

6%
l'attribuent
à la composante
« **Bruit moteur** »

* Une enquête de satisfaction portant sur le ressenti du bruit routier a été mise en œuvre in situ en octobre 2019 auprès des usager·ères et riverain·es de la rue Frémicourt. Le questionnaire est disponible sur le site Internet.

BÉNÉFICES ET RESENTI

- 3 décibels
équivalent à
diviser le trafic routier **par 2**

04

RÉSULTATS DES CAMPAGNES DE RELEVÉS 2019-2023

1. LES RELEVÉS THERMIQUES

On constate que renforcer la présence d'eau en ville a des bénéfices immédiats pour le rafraîchissement du corps humain. Les résultats intermédiaires montrent des tendances intéressantes de réduction de la température ressentie au niveau du trottoir. Cependant, les conclusions consolidées de l'étude en juin 2023 montrent que **les revêtements n'ont pas atteint les résultats espérés**. Il restera à évaluer dans 5 ans, à la fin de la période d'évaluation dite After life, si les propriétés thermiques des matériaux auront subi des améliorations.



LES MESURES THERMIQUES

Impact de l'arrosage dans les trois sites pilotes en 2019, 2020 et 2021 cumulés © DTEC – Ville de Paris
Objectifs LIFE : -1.5 à 2.5 Effet max en 2021

RUE FRÉMICOURT ⁽¹⁾				
	Impact de l'arrosage sur la zone innovante			
	Température de l'air à 1,5 m		UTCI ⁽²⁾ à 1,5 m	
Réduction max.	- 0,8 °C		- 2,4 °C	
Effet moyen	- 0,3 °C		- 0,7 °C	
RUE LE COURBE				
	Impact de l'arrosage sur la zone innovante		Impact de l'arrosage sur la zone de référence	
	Température de l'air à 1,5 m	UTCI ⁽²⁾ à 1,5 m	Température de l'air à 1,5 m	UTCI ⁽²⁾ à 1,5 m
Réduction max.	- 0,8 °C	- 2,1 °C	- 0,5 °C	- 1,4 °C
Effet moyen	- 0,5 °C	- 0,9 °C	- 0,3 °C	- 0,6 °C
RUE DE COURCELLES				
	Impact de l'arrosage sur la zone innovante		Impact de l'arrosage sur la zone de référence	
	Température de l'air à 1,5 m	UTCI ⁽²⁾ à 1,5 m	Température de l'air à 1,5 m	UTCI ⁽²⁾ à 1,5 m
Réduction max.	- 0,8 °C	- 1,9 °C	- 0,6 °C	- 2,1 °C
Effet moyen	- 0,4 °C	- 0,7 °C	- 0,3 °C	- 0,7 °C

⁽¹⁾ Pour rue Frémicourt, la zone de référence n'a pas pu être réalisée en raison des contraintes de chantier

⁽²⁾ **UTCI** : L'indice universel du climat thermique (en anglais Universal Thermal Climate Index) est un indicateur de mesure créé par la Société internationale de biométéorologie. Il permet de calculer le stress thermique ressenti par l'homme en combinant plusieurs paramètres (activité métabolique, habillement, température de l'air, vitesse du vent, humidité...)



Dans l'ensemble les résultats sont atteints en termes de réduction de la température de l'air et approximativement sur le stress thermique avec des réductions respectives de l'ordre de 1°C et 2-3°C UTCI.

L'effet du nouveau revêtement seul posé rue de Courcelles (BBphon+) indique une dégradation des conditions microclimatiques. *A priori*, cette dégradation est attribuée à l'albédo de ce matériau, potentiellement plus faible que le revêtement pré-existant.

Dans l'ensemble, les revêtements innovants présentent un albédo faible, que ce soit mesuré sur le terrain ou en laboratoire, y compris sur échantillons sablés. Le sablage visant à décaper la couche superficielle de bitume, cela indique que les granulats utilisés ne sont pas réfléchissants.

Les essais en laboratoire permettent de projeter la performance microclimatique du SMAphon et PUMA. D'après ces essais, le SMAphon dégraderait le stress thermique sans contribuer à lutter contre l'îlot de chaleur urbain. Pour sa part, le PUMA aurait un impact positif sur la température de l'air sans contrepartie négative sur la radiativité.

Dans l'ensemble il n'y a pas de phénomène de vieillissement visible pour les résultats microclimatiques de l'arrosage ou du nouveau matériau posé rue de Courcelles. Le temps de séchage des revêtements innovants tend quant à lui à augmenter au cours des années. Il est légèrement supérieur pour le PUMA que l'asphalte rue

Lecourbe, tandis qu'il est comparable rue de Courcelles.

Les résultats font l'objet d'une évaluation socio-économique pour comparer les coûts et les avantages, qui a été finalisée en juin 2023. Dans un contexte de raréfaction des ressources en eau, les conclusions de l'étude devraient orienter vers un usage très ciblé des pratiques d'arrosage.

IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUE DES RÉSULTATS THERMIQUES

Sur la base de ces résultats et de la littérature existante, nous pouvons affirmer que les impacts socio-économiques de l'arrosage de rue sont nuls ou extrêmement faibles. La littérature scientifique que nous avons examinée et les témoignages que nous avons pu recueillir s'accordent sur le fait que les bénéfices de cette technique sont extrêmement limités. Ils ne compensent pas l'investissement initial (réseau d'arrosage, revêtement, etc.) et ne justifient pas l'importance des ressources mobilisées (eau).

La végétalisation reste l'action prioritaire pour rafraîchir les espaces urbains mais d'autres dispositifs palliatifs sont à l'étude aux endroits où les dispositions du sous-sol ne permettent pas de végétaliser. Des ombrières, par exemple, seront expérimentées sur plusieurs sites du 12^e arrondissement pour réduire la sensation de chaleur au cours de l'été 2023.

LA TECHNIQUE D'ARROSAGE EN PERSPECTIVE

Il importe de conclure sur le fait que l'utilisation de l'eau potable ou douce est devenue un sujet de préoccupation majeure après les graves épisodes de sécheresses des années 2022 et 2023 en France. Les préoccupations relatives à la sécheresse et à l'eau sont désormais partagées par une majorité de Français et sont au cœur de décisions politiques importantes⁽³⁾.

L'arrosage des revêtements n'est cependant pas une stratégie de rafraîchissement qui devrait être abandonnée. Il existe de très nombreuses pistes pour améliorer cette technique. Traditionnellement, l'arrosage des rues a été utilisé par les habitants dans de nombreuses villes pour améliorer le confort thermique en cas de vague de chaleur. Au Japon, l'uchimizu (l'arrosage rituel des rues avec un seau et une louche) était pratiqué pour laver les poussières des rues et rafraîchir. **Dans le quartier du Vieux-Nice, l'arrosage des rues en début de soirée était encore utilisé au début du XX^e siècle pour améliorer la ventilation et rafraîchir les habitants durant la nuit (Figure ci-dessous).** L'arrosage permettait de réduire la température de l'air au rez-de-chaussée. L'air chauffé était évacué grâce aux verrières de la cour intérieure, aux toitures et aux persiennes surchauffées durant la journée : l'air rafraîchi de la rue était alors aspiré, passait à

travers les impostes et s'élevait vers les différents étages grâce au tirage thermique. Les habitants pouvaient alors bénéficier d'un air rafraîchi et d'une ventilation naturelle pour le confort nocturne. Dans le Vieux-Nice, l'arrosage des rues était réalisé par les services de la ville tandis que les cours étaient arrosées par les habitants.

On peut faire l'hypothèse que l'arrosage en fin de soirée des rues étroites et des cours intérieures pourrait contribuer à améliorer le confort thermique intérieur nocturne des bâtiments adjacents ventilés naturellement à Paris. L'idée serait de s'inspirer des stratégies de rafraîchissement du Vieux-Nice pour les appliquer dans les quartiers où les rues sont les plus étroites et où l'on trouve encore des bâtiments ventilés naturellement (les HBM de Paris sont encore largement ventilés naturellement, mais le recours à la ventilation mécanique est systématisé par la ville de Paris). Dans ce cas, une réflexion plus générale sur la conception et la rénovation du cadre bâti parisien devrait être mise en œuvre, afin de favoriser les stratégies de rafraîchissement passives et bioclimatiques.

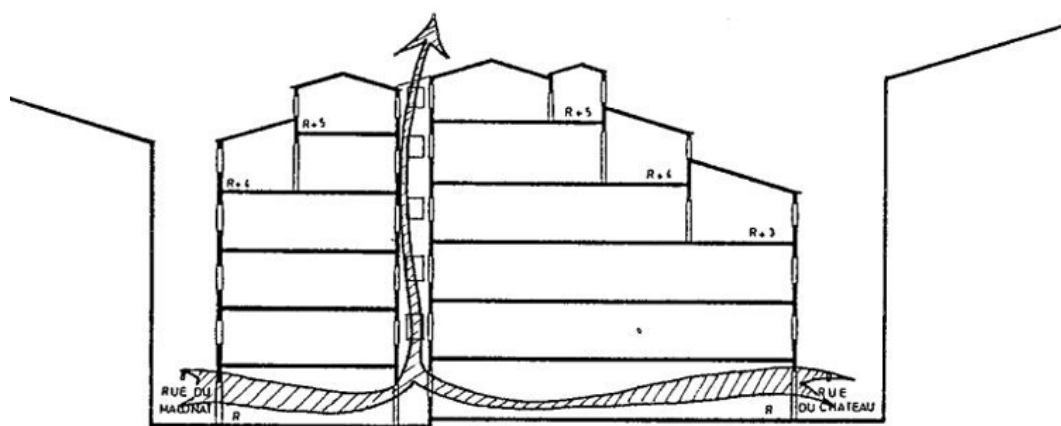
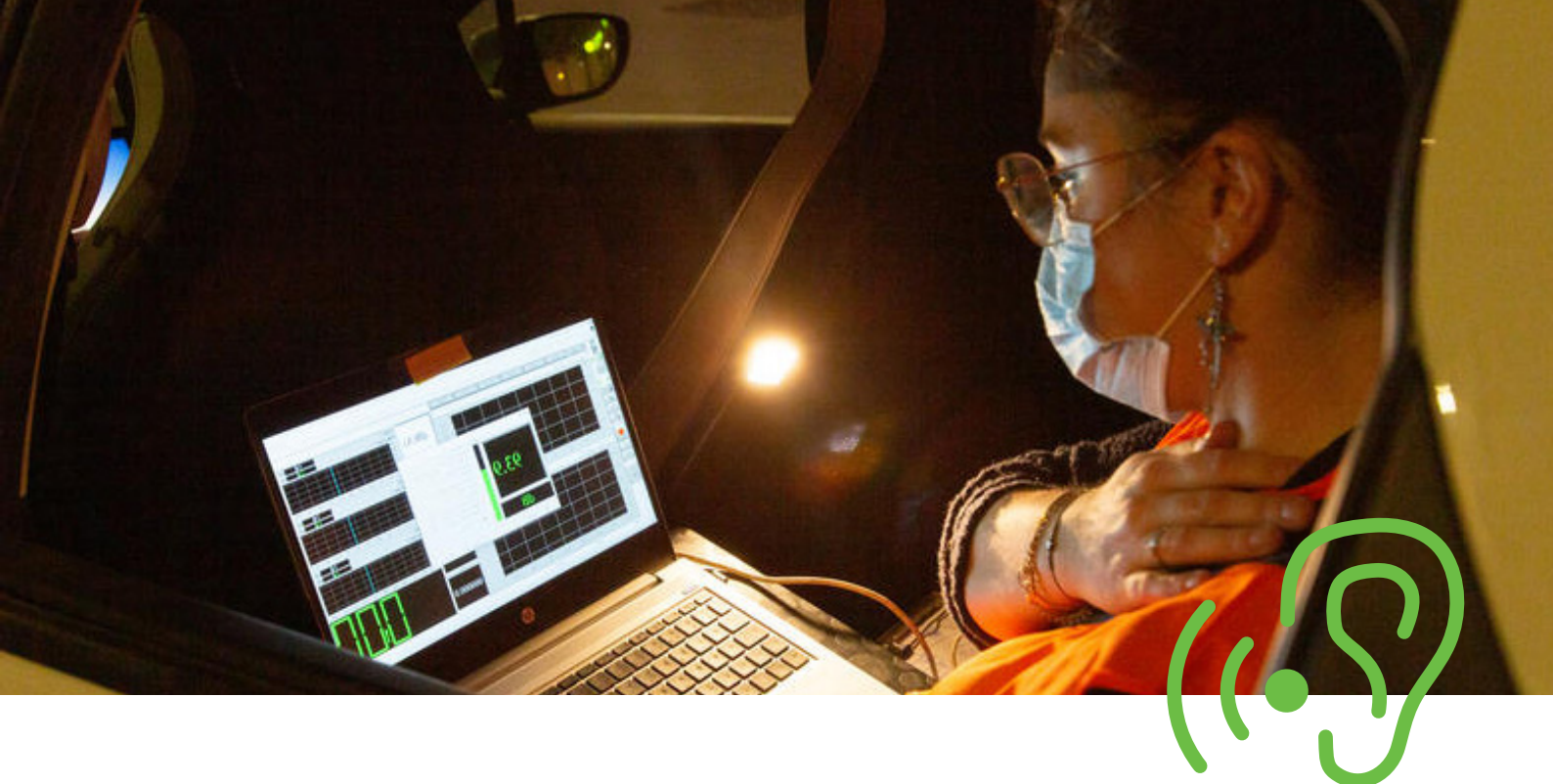


Figure : Coupe du système de ventilation naturelle alimenté par l'arrosage des rues et de la cour intérieure d'un bâtiment du Vieux-Nice.

Source : PETITCOLLOT Christophe, « Nice : la cité sous le vent », *Science et avenir*, n°475, 1986, p. 76-79.

⁽³⁾ BERTHELIER Anthony, « Sécheresse : la grande inquiétude des français », Huffington Post, 4 mars 2023
https://www.huffingtonpost.fr/politique/article/secheresse-la-grande-inquietude-des-francais-exclusif_214758.html



2. LES RELEVÉS ACOUSTIQUES

Concernant les aspects phoniques, les matériaux innovants se montrent très efficaces.

Les trois revêtements de chaussées innovants sont testés par rapport au revêtement standard déployé habituellement par la Ville de Paris sur les chaussées parisiennes (ACR 0/10 AC2 et BBMA 0/10).

Aussi, des tronçons d'environ 200 m de ces revêtements standard ont également été posés sur les trois sites expérimentaux. Pour l'évaluation thermique et microclimatique, un troisième tronçon conservant le revêtement d'origine est exploité en qualité de tronçon « témoin ».

Bruit de roulement Δ LA10 22h-6h	PAR RAPPORT À L'EXISTANT					PAR RAPPORT À LA RÉFÉRENCE				
	2018	2019	2020	2021	2022	2018	2019	2020	2021	2022
Objectifs LIFE	-3	≤ -2				-2	≤ -1			
Rue Frémicourt (SMaphon)	-4,0	-3,7	-2,0	-2,8	-2,8	-2,3	-1,8	-1,2	-0,9	-0,4
	-4,3*	-3,9*	-2,9*	-3,3*	-3,0*					
Rue de Courcelles (BBphon+)	-2,0	-1,9	-0,7	-0,9	-1,0	-2,8	-2,6	-2,4	-1,4	-1,3
	-3,5*	-2,7*	-2,1*	-2,0*	-1,8*					
Rue Lecourbe (PUMA)	0,7	-0,1	0,6	-0,1	-0,4	--	--	--	2,7**	2,8**
	-1,2*	-1,1*	-1,1*	-1,4*	-1,5*					

Tableau : Écarts observés Δ LA10 22h-6h (tous jours confondus) ; *correction de la température ; ** correction de distance à la chaussée.



CPX	PAR RAPPORT À L'EXISTANT				PAR RAPPORT À LA RÉFÉRENCE			
ΔLA_{eq} à 50 km/h	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
Objectifs LIFE après pose en dB(A)	-5	≤ -3			-3	≤ -2		
Rue Frémicourt (SMaphon)	-4,4	-2,3	-2,0	-1,6	-3,5	-2,2	-2,1	-2,0
Rue de Courcelles (BBphon+)	-4,7	-2,4	-1,8	-1,4	-3,3	-1,5	-1,3	-1,1
Rue Lecourbe (PUMA)	-2,1	-1,9	-1,5	-1,4	--	--	+1,6	+1,8

Tableau : Résultats des mesures CPX à 50 km/h ; années 2019 à 2022.



RAPPEL

Bruit de roulement : c'est le bruit créé par le contact des pneumatiques avec la chaussée, mesuré au niveau du contact pneu-revêtement et au niveau de la façade d'immeuble.

Par rapport à la référence : c'est la mesure par rapport à un revêtement "classique" installé en même temps que l'innovant, pour maintenir une comparaison cohérente en termes de caractéristiques d'usure des surfaces.

Par rapport à l'état existant : c'est la mesure par rapport au revêtement existant avant les travaux réalisés pour l'expérimentation.

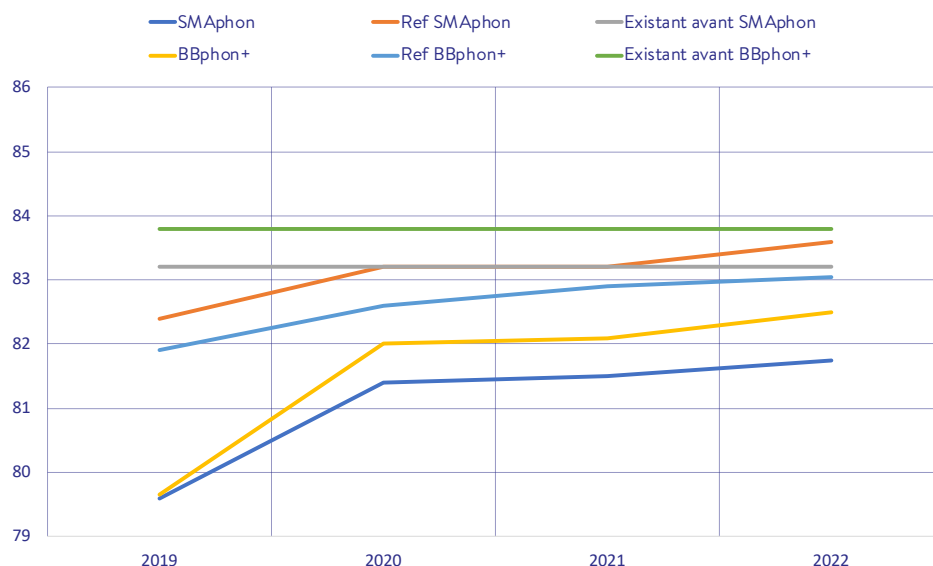
À NOTER

La réduction des niveaux sonores est la plus importante la nuit lors du passage de véhicules isolés, vitesses plus élevées et autres sources de bruit réduites (travaux, activité humaine...).

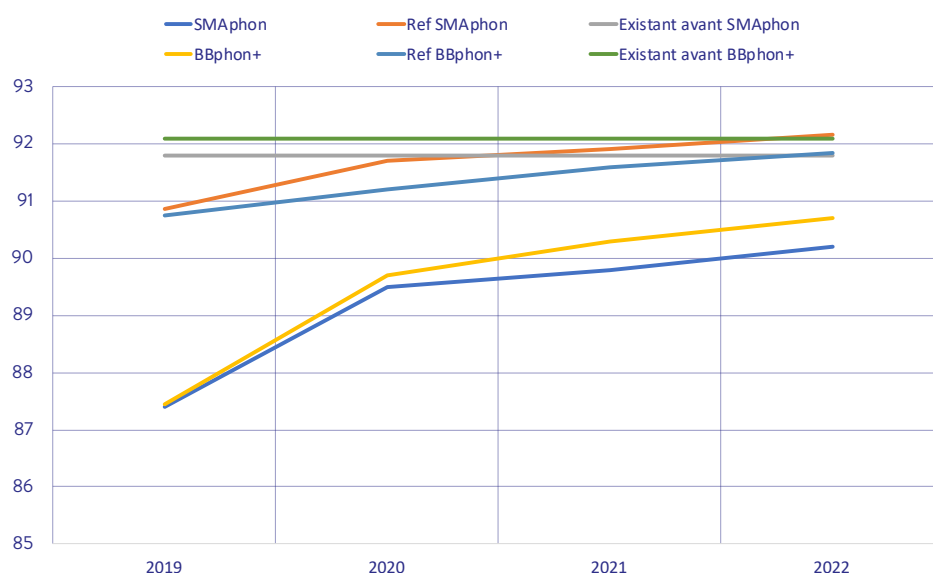
Les résultats montrent le maintien d'une diminution des niveaux sonores associés au bruit de contact pneumatique/chaussée sur la période nocturne quatre ans après la pose des revêtements expérimentaux.

Toutefois, une dégradation sensiblement plus rapide des performances acoustiques des revêtements innovants que celles des solutions standards est observée en 2022, sauf pour le PUMA dont les performances semblent stables dans le temps. Dans le cadre de l'After LIFE, la poursuite du suivi des performances acoustiques et mécaniques après le terme du projet permettra de disposer d'une évaluation jusqu'en 2028, soit une période de 10 ans.

Evolution de la mesure CPX à 30 km/h pour une sélection de revêtements



Evolution de la mesure CPX à 50 km/h pour une sélection de revêtements



IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES DES RÉSULTATS ACOUSTIQUES

À partir des résultats observés sur la diminution des niveaux de bruit nocturne liée à l'expérimentation des nouveaux revêtements, le bénéfice généré pour la population parisienne en matière d'impact sanitaire et économique peut être quantifié, dans le cas d'une application à une partie ou à l'ensemble de la voirie parisienne des revêtements expérimentés. Sur la base de ces réductions sonores prises en considération sur la période 22h - 6h, l'évaluation de l'économie annuelle en millions d'euros (M€) engendrée par le recours aux revêtements de chaussée innovants a pu être initiée. L'évaluation prenant en compte les principaux facteurs économiques : sanitaire (gêne et perturbation du sommeil), économique (perte de productivité) est aujourd'hui disponible. Ces coûts sont comparés aux coûts moyens d'utilisation et d'entretien des solutions innovantes par rapport aux revêtements de chaussée classiques.

Différents scénarios de déploiement des solutions innovantes sur le réseau routier parisien sont étudiés dans le cadre du projet LIFE Cool & Low Noise Asphalt : déploiement partiel ou intégral. Au bout de 5 ans, les économies estimées sont considérables : environ de 34 M€ pour un déploiement partiel (10% de la surface de voirie) et 404 M€ pour un déploiement intégral (1600 km de voirie) de la solution innovante plutôt que la solution standard. L'investissement est amorti avant la deuxième année pour l'ensemble des scénarios étudiés.

La poursuite du suivi des performances acoustiques après le terme du projet permettra de disposer d'une évaluation socioéconomique sur une période de dix ans. Si le projet pilote est concluant, l'ensemble de la voirie parisienne pourrait bénéficier, à terme, d'un enrobé aux propriétés phoniques et thermiques, devenant un exemple à destination des collectivités et professionnels européens.



05

2023 - 2028 : LES ACTIONS AFTER-LIFE

Pour After-LIFE, la Ville de Paris s'est engagé à poursuivre les actions de monitoring des revêtements installés, ainsi qu'à communiquer et diffuser les informations nécessaires pour la répliquabilité. Les entreprises Colas et Eurovia, ainsi que Bruitparif, s'engagent également dans la poursuite de ces suivis.

Pour ce qui concerne les aspects thermiques, les revêtements n'ont pas atteint les résultats espérés, l'effet d'albédo est une propriété radiative supposé au préalable pour l'usage des granulats clairs dans les formulations des revêtements de chaussées, n'est pas assez élevé. Il restera à évaluer dans 5 ans, à la fin de la période d'évaluation After Life, si les propriétés thermiques des matériaux auront subi des améliorations dues au décapage mécanique dû à l'usage. De plus, l'analyse socio-économique a montré que l'intérêt de l'arrosage pour des chaussées larges pendant la journée est nul. C'est pourquoi il n'y aura pas d'actions intermédiaires à poursuivre pour le volet thermique et microclimatique.

1. LES ACTIONS

1.1 SUIVI PERFORMANCES ACOUSTIQUES

➤ Une campagne de mesure de bruit en champ proche (CPX) par an.

- Ce qui permettra de connaître la durabilité des enrobés phoniques en terme de performance acoustique.
- Ces données viendront compléter celles déjà mesurées sur le périphérique parisien.

➤ Le maintien des dispositifs de mesure phonique en façade.

- Leur exploitation permettra d'apprécier sur la durée l'impact d'un aménagement de voirie sur la réduction sonore globale.
- Ces données viendront compléter celles déjà mesurées sur le périphérique parisien.
- Maintien opérationnel des stations de mesure du bruit permanentes.

➤ Missions réalisées chaque année :

- Exploitation des données de mesure du bruit en façade (LAeq1s).
- Exploitation des données météorologiques Météo France (Paris Montsouris).
- Calcul des indicateurs acoustiques LA10 et LAeq en façade (jour/soir/nuite) par année civile.
- Mise à jour des résultats sur le site internet du projet LIFE.

➤ Missions réalisées tous les 2,5 ans :

- Exploitation des résultats LAeq en façade (jour/soir/nuît) par année civile.
- Évaluation de l'impact sanitaire associé au volet bruit (DALY gêne et perturbations du sommeil) par année civile.
- Mise à jour des résultats sur le site internet du projet LIFE.
- Publication et présentation des résultats dans des congrès à dimension européenne et / ou internationale.

1.2 SUIVI DES PERFORMANCES MÉCANIQUES

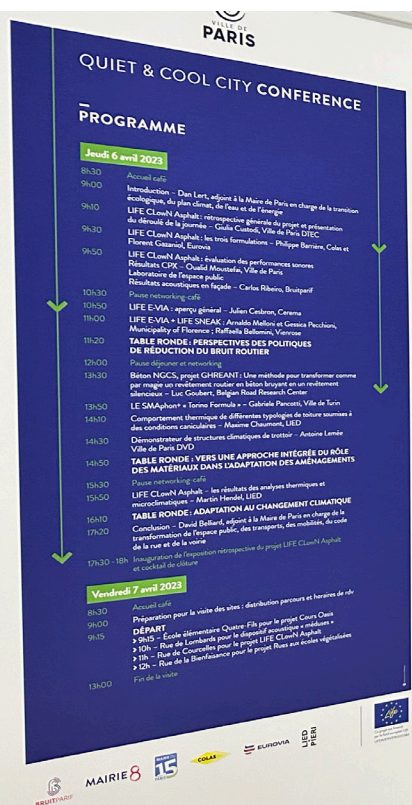
- Un Comité de Suivi (COSUI) par site et par an.
- Une campagne de mesure de profondeur moyenne de texture (PMT) par site et par an.

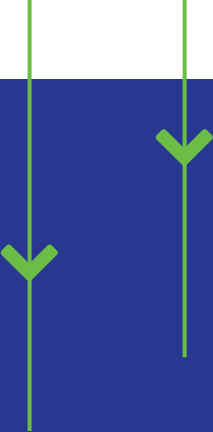
2. LA COMMUNICATION

- Colas et Eurovia rédigeront une note incluant toutes les informations nécessaires à la réalisation des produits (SMaphon, BBphon+ et PUMA) sera produite par COLAS et EUROVIA comme contribution à la répliquabilité des techniques à l'échelle européenne.

- La diffusion et la publication des spécifications liés au projet se fera via les canaux internes et par le site web life-asphalt.uu

- Les partenaires s'engagent à participer à des conférences, congrès et journées techniques autour des thématiques du projet, et à publier des articles scientifiques sur l'expérimentation du projet.





COOL & LOW NOISE ASPHALT PROJET LIFE

Pour en savoir plus : www.life-asphalt.eu

Pour rester en contact : lifeasphalt@gmail.com



CE DOCUMENT A ÉTÉ CONÇU PAR LA DIRECTION DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DU CLIMAT DE LA VILLE DE PARIS SOUS LA DIRECTION D'OLIVIER CHRÉTIEN, RESPONSABLE DU PÔLE QUALITÉ DE L'ENVIRONNEMENT, EN COLLABORATION AVEC LES PARTENAIRES DU PROJET CLOW LIFE ASPHALT : ENTREPRISES COLAS ET EUROVIA, BRUITPARIF ET L'IED • **RÉDACTION** : ABBOUD HAJJAR ET PHILIPPE BARRIÈRE - COLAS ; CARLOS RIBEIRO - BRUITPARIF ; FLORENT GAZANIOL - EUROVIA ; OLIVIER CHRÉTIEN, SANDRA HERNANDO, AGATHE COHEN ET GIULIA CUSTODI - VILLE DE PARIS • **COORDINATION** : GIULIA CUSTODI • **CONCEPTION GRAPHIQUE ET MISE EN PAGE** : RÉSONANCE PUBLIQUE • **CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES** : JOACHIM BERTRAND, ADRIEN DASTE POUR COLAS, EUROVIA, VILLE DE PARIS