Mesure du bruit

Bd Périphérique Pte de Vincennes

Bilan à 3 mois de l'effet acoustique de la mise en œuvre de nouveaux revêtements de chaussée

Bruitparif
Observatoire du bruit en Île-de-France

Sommaire

1. Contexte 1

2. L'essentiel à connaître pour appréhender les résultats 4

2.1. Niveau de pression acoustique 4

2.2. Indicateurs acoustiques utilisés dans le rapport 5

2.3. Propagation du bruit 7

2.4. Niveaux sonores et sensation auditive 7

2.5. Valeurs de référence en matière de bruit du trafic routier 9

2.5.1. Valeurs guides de l'OMS 9

2.5.2. Notion de Zone de Bruit Critique et de Point Noir de Bruit 10

2.5.3. Valeurs limites prises en application de la directive européenne 2002/CE/49 10

2.5.4. Valeurs de référence retenues pour l'interprétation des résultats de mesure 11

2.6. Principes de fonctionnement d'un revêtement dit acoustique 12

2.6.1. Comprendre les relations entre revêtement et bruit routier 12

2.6.2. Présentation des produits Rugosoft® et Nanosoft® de Colas 14

2.7. Méthodes usuelles d'évaluation des revêtements de chaussée 15

2.7.1. Procédure de mesure "au passage" 16

2.7.2. Procédure de mesure "en champ proche" 17

2.7.3. Protocole retenu pour l'évaluation sur le boulevard périphérique 19

3. Dispositif de mesure mis en place par Bruitparif 20

3.1. Stations fixes de mesure du bruit 20

3.1.1. Plan d'ensemble d'implantation des stations de mesure 20

3.1.2. Description de l'implantation précise des stations de mesure 21

3.1.3. Mise en ligne et consultation des données de mesure 23

3.2. Enregistrements audio-conformes 24

4. Résultats 25

4.1. Période d'analyse 25

4.2. Caractérisation de la situation « état initial » avant pose des nouveaux revêtements 26

4.2.1. Situations par rapport aux valeurs de référence 26

4.2.2. Variations des niveaux de bruit en fonction de l'heure et du jour 29

4.3. Vérification de la comparabilité des résultats avant/après 30

4.4. Quantification de la diminution de bruit à la source liée à la pose des nouveaux revêtements 32

4.5. Quantification des améliorations obtenues pour les automobilistes 36

4.6. Quantifications des améliorations obtenues en situation riverains 40

4.6.1. Evolution des niveaux de bruit moyens 40

4.6.2. Améliorations en termes d'indicateurs réglementaires 44

4.6.3. Evolution des cycles de variations du bruit au cours de la journée 47

4.6.4. Evolution des composantes spectrales et de la sensation auditive 51

5. Conclusion 53

1. Contexte

Avec 35 km et plus de 100 000 habitants le long de son parcours, le boulevard périphérique est, d'après les cartes de bruit publiées par la Ville de Paris et les études réalisées par Bruitparif entre 2009 et 2011 (cf. synthèse des études publiées par Bruitparif [1]), un des axes les plus bruyants de la capitale.

Les niveaux sonores tout autour du boulevard périphérique sont particulièrement élevés et excèdent systématiquement les valeurs limites réglementaires de jour comme de nuit aux endroits où aucune protection acoustique n'a été mise en place.

De l'ordre de 61 000 personnes seraient impactées par le bruit du boulevard périphérique au sein d'une zone tampon de 150 mètres de part et d'autre du boulevard périphérique. Parmi elles, 41 000 personnes (soit 68 %) seraient exposées potentiellement à des niveaux qui excèdent la valeur limite de bruit relative à l'indicateur moyen journalier pondéré (Lden > 68 dB(A)). 37 300 riverains du boulevard périphérique subiraient des nuisances sonores de nuit qui vont au-delà de la valeur limite correspondante (Ln > 62 dB(A)).

Qui plus est, pour ces riverains, le bruit du trafic routier est omniprésent. En cœur de nuit, le bruit diminue un peu mais il reste tout de même élevé. Les niveaux enregistrés sur la période allant de 2 à 4 heures du matin ne sont ainsi réduits que de 6 dB(A) en moyenne par rapport à l'heure la plus bruyante (créneau 6-7 heure). Il y a également peu de variations en fonction du jour de la semaine, les niveaux nocturnes pouvant même être plus chargés le week-end.

Il ressort de ce constat la nécessité de mettre en œuvre une combinaison de plusieurs actions afin de réduire efficacement le bruit sur un axe aussi circulé que le périphérique. C'est pour cette raison que dans le cadre de l'élaboration de son Plan de Prévention du Bruit dans l'Environnement (PPBE), un groupe de travail a été constitué par la ville de Paris pour étudier spécifiquement les actions qui pourraient être proposées sur cet axe.

Différents types de mesures permettent de lutter contre le bruit routier :

- Les actions qui permettent une diminution du bruit à la source :
  - pose de revêtements de chaussée plus silencieux ;
  - réduction de la vitesse, notamment la nuit ;
  - diminution du trafic, notamment des véhicules utilitaires ;
  - sensibilisation des conducteurs à une conduite apaisée (limiter les coups de klaxons, les sirènes, le passage de véhicules 2 roues motorisés bruyants).
- Les actions qui permettent de limiter la propagation du bruit :
  - pose d'écrans anti-bruit ou de merlons ;
  - réalisation de couvertures partielles ou totales ;
  - implantation de bâtiments à usage commercial en premier rideau, jouant le rôle de mur anti-bruit pour les bâtiments d'habitation situés en deuxième rideau.

[1] Bruitparif, Note de synthèse des éléments de connaissances actuelles sur le bruit généré par le boulevard périphérique, septembre 2012, téléchargeable sur le site internet de Bruitparif (www.bruitparif.fr) au sein de l'espace ressources.

- Les actions qui permettent de protéger l'intérieur des habitations du bruit extérieur :
  - lors des constructions, veiller à ne pas orienter les pièces principales des logements (séjour, chambres) du côté du boulevard périphérique ;
  - isolation des façades ;
  - actions sur les formes architecturales des bâtiments (balcons anti-bruit…).

Parmi toutes ces actions, la pose de revêtement de chaussée peu bruyant est l'une des mesures qui présentent, d'un point de vue théorique, les meilleurs rapports coût/efficacité.

La Ville de Paris et Bruitparif ont ainsi proposé de démarrer une expérimentation de pose de revêtement acoustique sur une portion du périphérique afin de tester la pertinence de ce type de solution et sa pérennité dans le temps tant sur le plan acoustique que sur le plan mécanique, dans un contexte de fortes contraintes liées à la charge importante des véhicules qui empruntent chaque jour le périphérique (plus de 1,2 millions de véhicules avec à certains endroits jusqu'à 270 000 véhicules par jour).

La portion du périphérique qui a été sélectionnée pour l'expérimentation est un tronçon de 200 mètres situé sur le site du Grand Projet de Renouvellement Urbain (GPRU) de la Porte de Vincennes, entre le Pont de Lagny et l'échangeur de la Porte de Vincennes.

Du 25 au 29 juin 2012, les services de la Direction de la voirie et des déplacements de Paris et de la société Colas ont appliqué sur les deux sens de circulation de ce tronçon ainsi que sur les bretelles d'accès les produits Rugosoft® et Nanosoft® (Rugosoft® sur le bd périphérique intérieur BPI et Nanosoft® sur le bd périphérique extérieur BPE).

Cette expérimentation a été intégrée au projet européen Life + Harmonica qui est piloté par Bruitparif. Un des volets de ce projet vise à documenter et valoriser l'impact d'actions de lutte contre le bruit mises en place par les collectivités locales.

Dans ce cadre, Bruitparif a installé 5 stations de mesure du bruit afin de documenter l'amélioration acoustique apportée par les nouveaux revêtements tant à la source au niveau de la chaussée qu'en situation riverains et d'en suivre l'évolution au cours du temps en lien avec le vieillissement du revêtement. La première station a été installée au niveau du terre-plein central (à proximité directe du trafic routier), les trois suivantes en façade d'immeubles riverains du boulevard périphérique au niveau de la section expérimentale et la dernière a été positionnée hors du périmètre de l'expérimentation afin de servir de station « témoin ».

Pour compléter le dispositif, des enregistrements audionumériques ont été réalisés en façade d'immeubles et dans un véhicule, à l'aide d'un appareil capable d'enregistrer les niveaux sonores et de les restituer tels qu'ils sont perçus par l'oreille humaine. Ceci a permis de documenter le gain obtenu en termes de sensation auditive pour les riverains comme pour les automobilistes.

Le laboratoire d'essais des matériaux de la Ville de Paris (LEMVP) a par ailleurs fait effectuer, lors des fermetures du périphérique au niveau de la section expérimentale, des mesures acoustiques en champ proche à l'aide d'un véhicule du CETE Ile-de-France spécifiquement équipé pour mesurer le bruit de roulement, juste avant la pose des nouveaux revêtements et juste après. De telles mesures en champ proche seront réalisées périodiquement afin d'effectuer un suivi dans le temps de l'efficacité acoustique des revêtements.

Le présent document présente un premier bilan de l'expérimentation et de son efficacité acoustique trois mois après la pose des nouveaux revêtements.

Figure 1 : Panneau d'information de la Ville de Paris au niveau de l'entrée sur la section d'expérimentation des revêtements acoustiques.

2. L'essentiel à connaître pour appréhender les résultats

Le bruit produit par une infrastructure de transport ou une activité varie à chaque instant : on utilise donc différents indicateurs pour représenter les caractéristiques du bruit sur une période donnée.

2.1. Niveau de pression acoustique

Une onde acoustique est une succession de variations de pression dans l'air. Les valeurs de la pression acoustique peuvent s'étendre sur une plage considérable. Entre le plus faible bruit audible d'amplitude p = 2.10^{-5} Pa et le seuil de la douleur d'approximativement 20 Pa, la pression acoustique est multipliée par un million. L'échelle des pressions a rapidement été jugée peu pratique et des valeurs logarithmiques ont été utilisées. Ont ainsi été définis le Bel et son sous-multiple le décibel noté dB. L'échelle des bruits entre le seuil d'audibilité et la douleur a ainsi été ramenée à des valeurs comprises entre 0 et 120 dB. L'autre intérêt de ce changement est de se rapprocher beaucoup plus de la progression des sensations auditives par l'intermédiaire des décibels que par celui des pressions acoustiques, la sensation auditive variant comme le logarithme de l'excitation auditive produite. Le niveau de pression acoustique s'exprime alors de la manière suivante :

$$Lp(t) = 10\log_{10}\left(\frac{1}{\tau}\int_{-\frac{\tau}{2}}^{+\frac{\tau}{2}}\frac{P^2}{P_0{}^2}.d\theta\right)$$

Où : P est la pression acoustique
P_0 est la pression de référence égale au seuil d'audibilité soit 2.10^{-5} Pa
τ est la durée d'intégration

C'est le niveau de pression acoustique directement fourni par les appareils de mesures tels que les sonomètres. En général, la durée d'intégration utilisée par les sonomètres est d'une seconde.

Du fait de l'utilisation d'une échelle logarithmique, un doublement de niveau de bruit (par exemple le doublement du volume de trafic) ne représente qu'une augmentation de 3 dB.

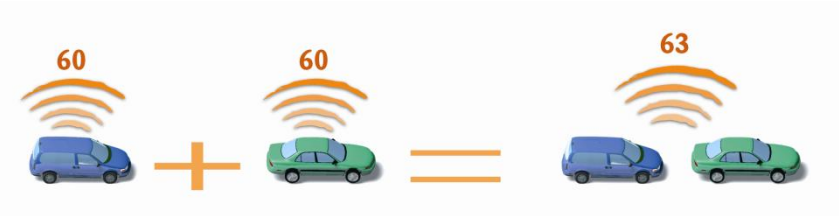


Figure 2 : Addition des niveaux de bruit.

Il faut donc des variations très fortes de l'intensité d'une source de bruit pour faire évoluer de manière significative les nuisances sonores qu'elle engendre. Ainsi multiplier par 10 la source de bruit revient à augmenter le niveau sonore de 10 dB.

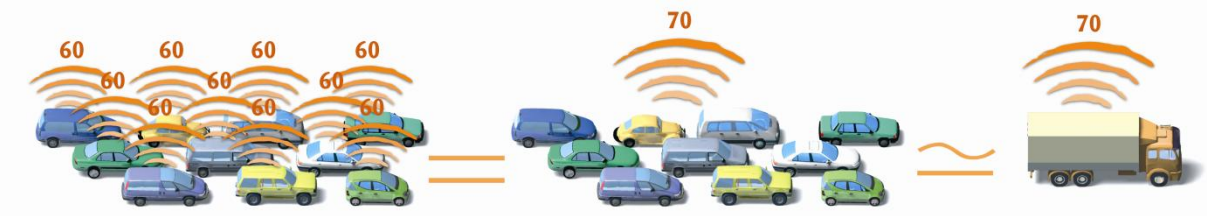


Figure 3 : Addition des niveaux de bruit et correspondances.

Par conséquent, si deux sources d'intensité très inégale sont en présence (écart d'au moins 10 dB), la moins intense sera quasiment masquée par la plus intense (à condition toutefois que leur signature fréquentielle soit assez semblable). C'est ce qu'on appelle « l'effet de masque ».

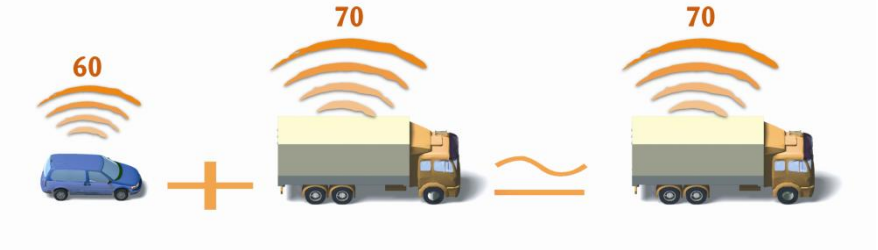


Figure 4 : Phénomène de masquage.

2.2. Indicateurs acoustiques utilisés dans le rapport

Les indicateurs acoustiques les plus connus car utilisés dans la réglementation française sont le LAeq,T qui représente le niveau de bruit constant qui aurait été produit avec la même énergie que le bruit existant réellement pendant la période T considérée. Il exprime la moyenne de l'énergie reçue :

$$LAeq(T) = 10\log_{10}\left(\frac{1}{\tau}\int_T \frac{P^2(t)}{P_0{}^2}.dt\right)$$

Où : p(t) est la pression acoustique instantanée
P_0 est la pression de référence égale au seuil d'audibilité soit 2.10^{-5} Pa

Ce niveau de bruit équivalent (noté LAeq) représente la valeur du niveau de pression acoustique pondéré A d'un son continu stable qui, au cours d'une période spécifiée T, a la même pression acoustique quadratique moyenne qu'un son considéré dont le niveau varie en fonction du temps (définition normative). La figure 5 représente, pour un site exposé à du bruit routier, l'évolution temporelle du niveau de bruit ainsi que le niveau continu équivalent pour l'ensemble de la période considérée.

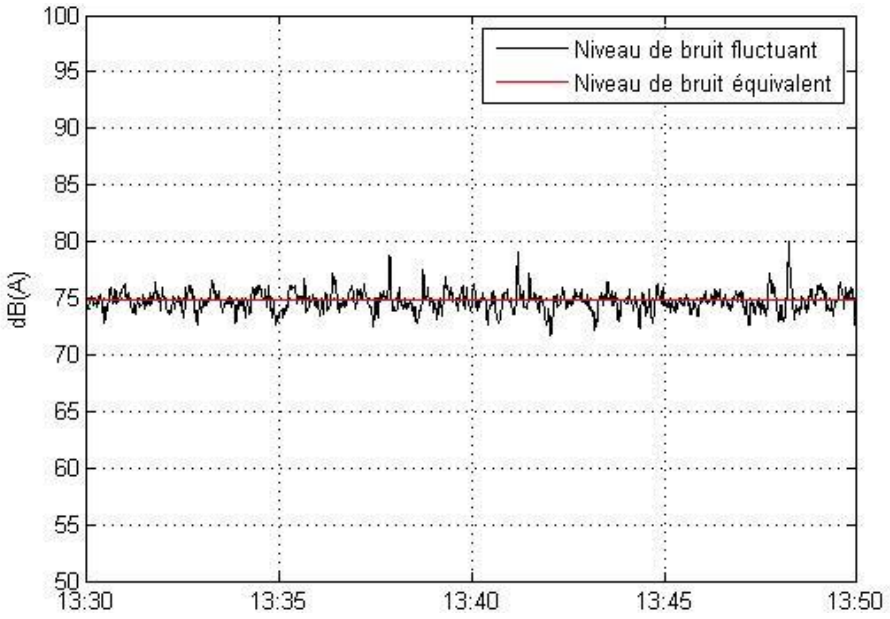


Figure 5 : Evolution temporelle du niveau de bruit et niveau continu équivalent.

Les textes réglementaires prescrivent de calculer ces moyennes énergétiques pour les trois périodes suivantes :

6h-18h : LAeq jour (aussi appelé L_{DAY})
18h-22 h : LAeq soirée (aussi appelé $L_{EVENING}$)
22h-6h : LAeq nuit (aussi appelé L_{NIGHT})
On parle également de LAeq diurne pour la période 6h-22h.

A niveau équivalent, le même bruit sera perçu plus gênant la nuit que le jour. Afin de disposer d'un indicateur global tenant compte de cette différence de perception, un indicateur harmonisé à l'échelle européenne a été créé : le Lden.

Cet indicateur est calculé sur la base des niveaux équivalents sur les trois périodes de base : jour, soirée et nuit auxquels on ajoute une pondération permettant d'accentuer le « poids » des bruits générés le soir (majoration du niveau de 5 dB(A)) et la nuit (majoration du niveau de 10 dB(A)). Le Lden s'exprime ainsi :

$$Lden = 10\log_{10}\left(\frac{1}{24}\left(12*10^{\frac{LAeq(6h-18h)}{10}} + 4*10^{\frac{LAeq(18h-22h)+5}{10}} + 8*10^{\frac{LAeq(22h-6h)+10}{10}}\right)\right)$$

2.3. Propagation du bruit

Un doublement de l'éloignement par rapport à une source de nuisances sonores réduit le bruit de 3 dB(A) lorsque la source est linéaire (route, voie ferrée) et de 6 dB(A) lorsque la source est ponctuelle (source industrielle par exemple).

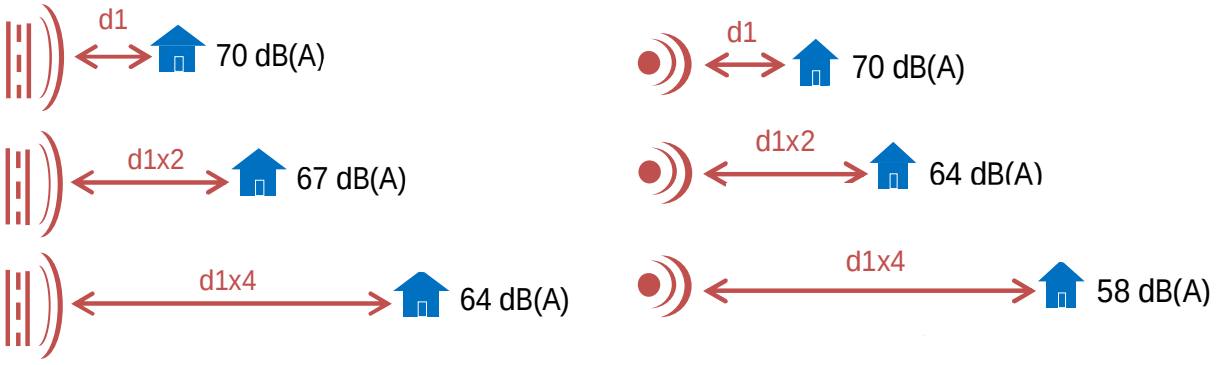


Figure 6 : Décroissance du bruit en fonction de la distance
(cas d'une source linéique à gauche, cas d'une source ponctuelle à droite).

2.4. Niveaux sonores et sensation auditive

La sensation auditive ne varie pas de manière linéaire avec les variations d'énergie acoustique. Ainsi lorsqu'on divise l'énergie acoustique par 2 (cas d'une réduction de 50 % du trafic, toutes autres conditions de trafic égales par ailleurs), les niveaux sonores diminuent de 3 dB(A), ce qui représente une diminution perceptible à l'oreille humaine mais qui est loin de représenter une sensation divisée par deux. Pour avoir l'impression que le bruit est divisé par deux, il faut plutôt atteindre des diminutions de 10 dB(A), ce qui correspond à une division par 10 de l'énergie sonore. Ceci s'explique par le fait que la sensation de l'oreille humaine évolue comme le logarithme de l'énergie sonore.

Par ailleurs, l'oreille humaine n'est pas sensible de la même manière à toutes les fréquences. A niveau équivalent, un son grave sera perçu moins fort qu'un son aigu.

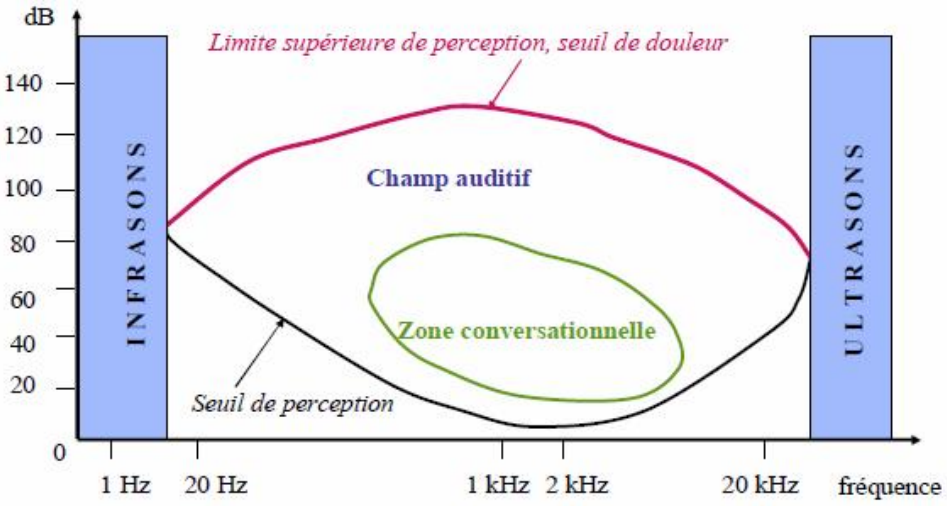


Figure 7 : Zones de perception auditive en fonction des fréquences.

Pour tenir compte de ce facteur et pour pouvoir exprimer un niveau de bruit avec un seul terme, un filtre de pondération fréquentiel appelé filtre de pondération A est utilisé. Le niveau d'un bruit corrigé en utilisant ce filtre s'exprime alors en dB(A), décibel pondéré A.

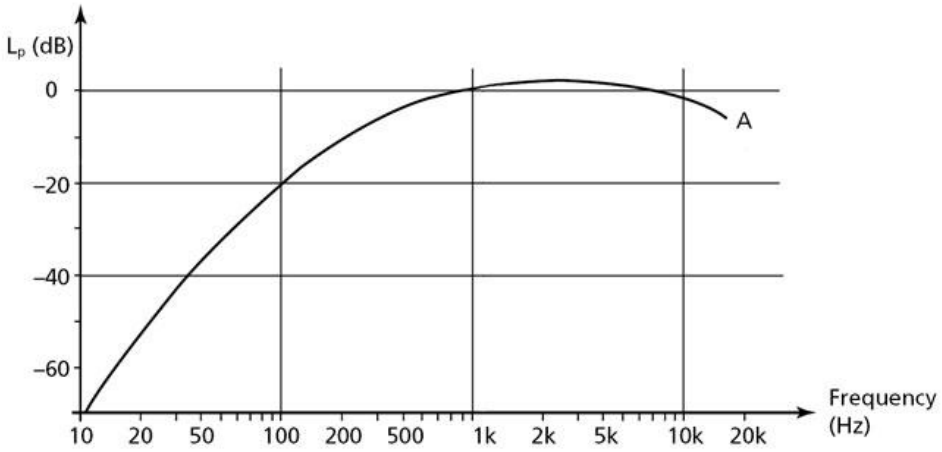


Figure 8 : Courbe de pondération fréquentielle A.

Il est ainsi usuel de travailler en dB(A) dans le domaine des bruits environnementaux.

La figure suivante illustre les relations existantes entre perception auditive, niveau sonore et énergie acoustique.

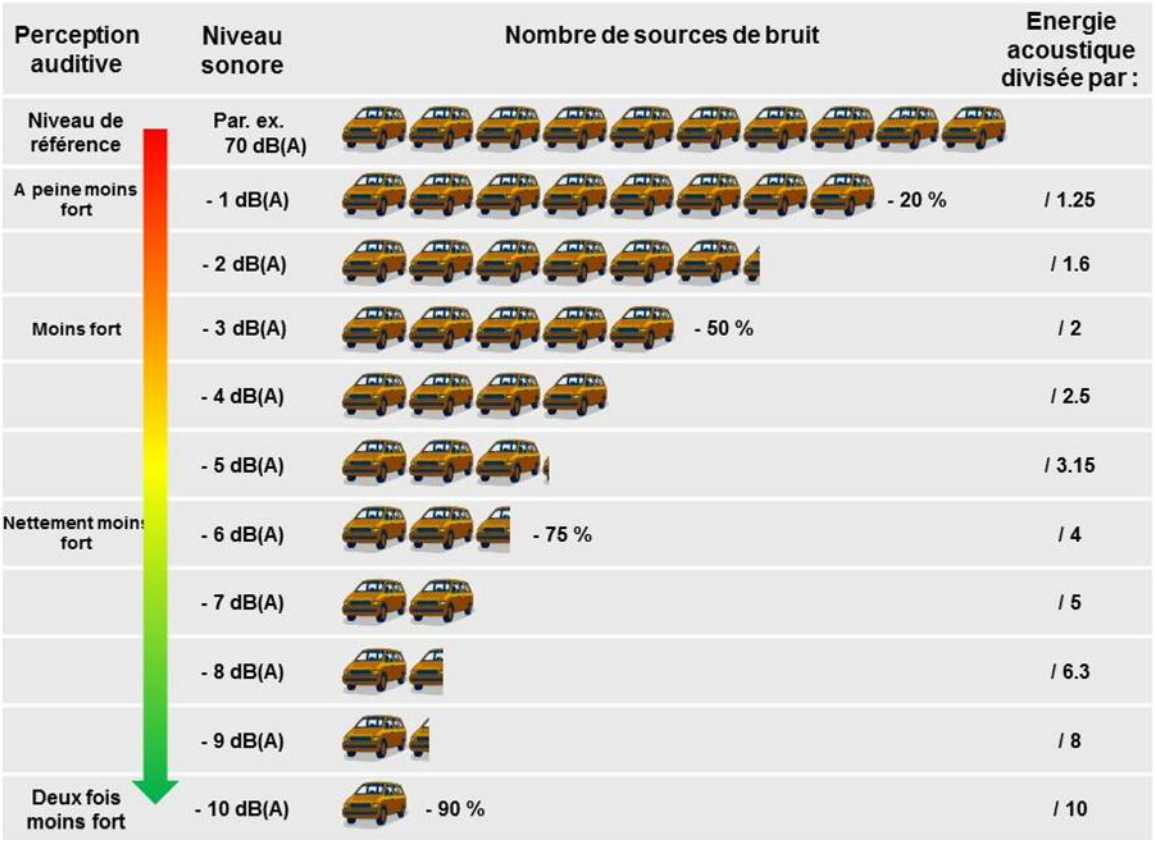


Figure 9 : Relations entre énergie acoustique, niveaux de bruit et perception auditive.

2.5. Valeurs de référence en matière de bruit du trafic routier

Le bruit induit deux types d'effets sur la santé :

- les effets physiologiques (les lésions auditives, les pathologies cardiovasculaires et la perturbation du sommeil),
- les effets psychologiques (effets de gêne avec impacts sanitaires, tels l'apparition de pathologies comme l'anxiété ou la dépression, et effets en terme de modification des comportements, comme le besoin de déménager pour se soustraire au bruit). Le bruit et la gêne qu'il entraîne peuvent ainsi affecter la santé des personnes les plus exposées en déclenchant chez elles des stress répétitifs.

Ces effets diffèrent selon les caractéristiques acoustiques du bruit, la durée d'exposition et les facteurs de sensibilité individuelle.

2.5.1. Valeurs guides de l'OMS

Des valeurs guides relatives aux effets spécifiques du bruit sur la santé dans des environnements types ont été proposées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Nous présentons ici les valeurs préconisées qui correspondent aux zones extérieures des habitations.

	Environnement spécifique	Effets critiques sur la santé	Niveau moyen LAeq	Base de temps (exposition en h)
Habitation	Zone résidentielle extérieure	Gêne sérieuse pendant la journée ou en soirée	55	16
		Gêne modérée pendant la journée ou en soirée	50	
	A l'extérieur des chambres à coucher	Perturbation du sommeil, fenêtre ouverte	40	8

Figure 10 : Objectifs de qualité de l'OMS.

Selon l'OMS, des niveaux dépassant respectivement 50 et 55 dB(A) (pour un LAeq évalué sur une période de 16 heures consécutives) sont considérés comme provoquant une gêne modérée respectivement sérieuse en journée dans les zones résidentielles extérieures (source : WHO Guidelines for Community Noise, 2000).

En 2009, le Bureau Régional de l'OMS pour l'Europe a publié de nouvelles recommandations pour les niveaux d'exposition au bruit nocturnes (Night noise guidelines for Europe). Le nouvel objectif est une exposition nocturne annuelle moyenne ne dépassant pas les 40 dB(A) sur une durée de 8 heures consécutives à l'extérieur des habitations.

2.5.2. Notion de Zone de Bruit Critique et de Point Noir de Bruit

Pour les infrastructures de transports terrestres, la réglementation française a introduit les notions de zone de bruit critique (ZBC) et de point noir bruit (PNB).

Une zone de bruit critique est une zone urbanisée relativement continue où les indicateurs de gêne, évalués en façade des bâtiments, et résultant de l'exposition à l'ensemble des infrastructures de transports terrestres dont la contribution sonore est significative, dépassent, ou risquent de dépasser à terme, la valeur limite définie dans le tableau ci-après :

Valeurs limites relatives aux contributions sonores en dB(A) Si une seule de ces valeurs est dépassée, le bâtiment peut être qualifié de point noir			
Indicateurs de bruit	Route et/ou LGV (Ligne à Grande Vitesse)	Voie ferrée conventionnelle	Cumul route et/ou LGV + voie ferrée conventionnelle
LAeq (6h-22h)(1)	**70**	73	73
LAeq (22h-6h)(1)	**65**	68	68
Lden(2)	**68**	73	73
Ln(2)	**62**	65	65

(1) Il s'agit des indicateurs évalués à 2 mètres en avant des façades, fenêtres fermées, mesurables selon les normes NF S 31-085 (bruit routier) et NF S 31-088 (bruit ferroviaire)

(2) L'indicateur Lden représente la moyenne des niveaux « jour (6h-18h) – soir (18h-22h) – nuit (22h-6h) » mesurés à 2 mètres en avant de la façade au cours de la période d'analyse retenue en ôtant 3 dB aux valeurs mesurées (pour ne pas prendre en compte la dernière réflexion sur le bâtiment) et en majorant la période de soirée de 5 dB(A) et la période nuit de 10 dB(A).
L'indicateur Ln est égal à l'indicateur LAeq(22h-6h) – 3 dB(A).

Figure 11 : Valeurs limites issues de la réglementation française.

Un point noir de bruit est un bâtiment sensible localisé dans une zone de bruit critique engendrée et qui répond aux critères acoustiques et d'antériorité. On entend par bâtiment sensible un bâtiment composé de locaux à usage d'habitation, d'enseignement, de soins, de santé ou d'action sociale. Un tel bâtiment sera considéré comme un point noir bruit s'il existait avant la création ou la modification de l'infrastructure.

2.5.3. Valeurs limites prises en application de la directive européenne 2002/CE/49

La directive européenne 2002/49/CE et sa transposition en droit français demande à ce que soient produites et publiées des cartes de bruit aux abords des grandes infrastructures et au sein des grandes agglomérations. Ces cartes sont destinées à permettre la réalisation d'un premier diagnostic sur lequel doit se baser l'établissement d'un Plan de Prévention du Bruit dans l'Environnement (PPBE). L'article 7 de la transposition en droit français de la directive européenne (Arrêté du 4 avril 2006) fixe des valeurs limites pour les différentes sources de bruit. Pour le bruit lié au trafic routier, les valeurs limites sont de 68 dB(A) selon l'indicateur Lden et de 62 dB(A) selon l'indicateur Ln. Ces valeurs limites sont établies dans le cadre des cartes de bruit calculées sans prendre en compte la dernière réflexion du son sur la façade du bâtiment.

Indicateurs de bruit	Aérodrome	Route et/ou Ligne à grande vitesse	Voie ferrée conventionnelle	Activité industrielle
Lden[3] dB(A)	55	68	73	71
Ln[3] dB(A)	-	62	65	60

(3) Les indicateurs Lden et Ln représentent des niveaux estimés par modélisation 2 mètres en avant de la façade en ôtant 3 dB aux valeurs calculées (pour ne pas prendre en compte la dernière réflexion sur le bâtiment).

Figure 12 : Valeurs limites prises en transposition de la directive européenne 2002/CE/49 (arrêté du 4 avril 2006).

2.5.4. Valeurs de référence retenues pour l'interprétation des résultats de mesure

Les valeurs de référence retenues pour l'interprétation des résultats de mesure dans le présent rapport sont les suivantes :

Indicateur	Objectif de qualité OMS	Valeur limite issue de la réglementation française pour le bruit routier
LAeq (6-22h)	55	70 dB(A)
LAeq (22-6h)	40	65 dB(A)
Lden [1]		68 dB(A)
Ln [1]		62 dB(A)

(1) Il s'agit d'indicateurs calculés sans prendre en compte la dernière réflexion du bruit sur le bâtiment et donc en retranchant 3 dB(A) aux valeurs mesurées.

Figure 13 : Valeurs de référence utilisées dans le présent rapport.

Dans le cadre de cette étude, les mesures effectuées en situation riverains ont été réalisées à deux mètres en avant des façades et tiennent donc compte de la dernière réflexion du bruit sur la façade des habitations. Pour comparaison avec les valeurs limites en Lden et Ln, les valeurs mesurées se sont vues retrancher 3 dB(A) afin de ne pas prendre en compte la dernière réflexion du bruit sur le bâtiment.

2.6. Principes de fonctionnement d'un revêtement dit acoustique

2.6.1. Comprendre les relations entre revêtement et bruit routier

Le passage d'un véhicule sur une surface est à l'origine de ce que l'on appelle le « bruit de roulement » qui devient prédominant sur le bruit moteur dès que la vitesse augmente.

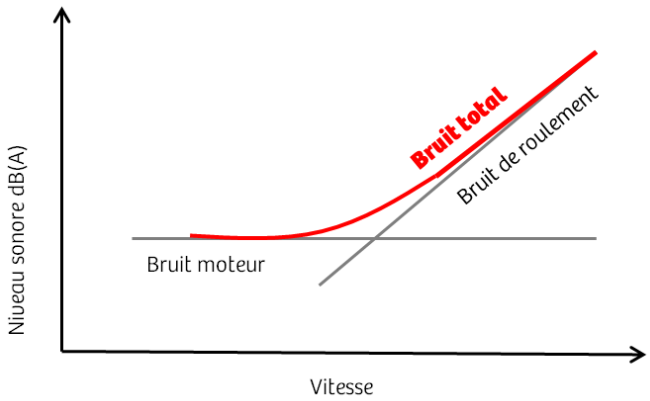


Figure 14 : Relation entre niveau sonore généré par un véhicule et sa vitesse.

Du fait des progrès importants réalisés au fil du temps sur les émissions sonores des moteurs des véhicules, cette transition entre bruit moteur et bruit de roulement se fait pour des vitesses de plus en plus faibles. Ainsi, il est aujourd'hui admis que le bruit de roulement peut devenir prépondérant pour les véhicules légers à partir de 30 km/h (source : Volume Emission de la méthode de prévision du bruit routier 2008). Pour les véhicules utilitaires et les poids lourds, la transition se situe plutôt dans la gamme 40-60 km/h.

Le revêtement routier joue un rôle essentiel sur le bruit de roulement.

Une chaussée se compose de plusieurs couches. La couche supérieure appelée revêtement routier doit satisfaire à différentes exigences : supporter sans dégradation les contraintes exercées par les roues des véhicules, offrir une bonne adhérence pour la sécurité des usagers lors des virages et freinages, veiller à ce que la consommation des véhicules soit la plus réduite possible et permettre une conduite confortable et peu bruyante.

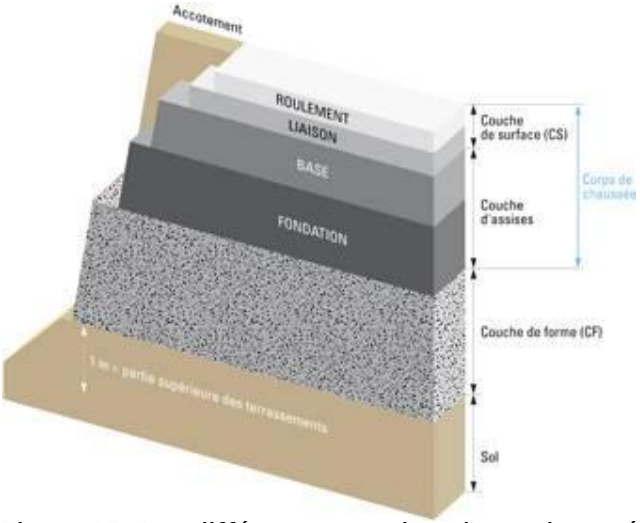


Figure 15 : Les différentes couches d'une chaussée.

Le bruit de roulement généré par le contact entre les pneus et la couche supérieure de la chaussée est la résultante de plusieurs phénomènes acoustiques, notamment :

Les vibrations engendrées par l'interaction entre les pneumatiques et la chaussée, qui génèrent des sons plutôt graves.

Figure 16 : Phénomène de vibrations.

Les vibrations sont liées principalement au nombre et à la profondeur des irrégularités de surface de grande taille (de plus de 1,5 à 2 cm typiquement). Pour limiter ces phénomènes, le revêtement doit tout d'abord présenter le moins possible de discontinuités. Pour cela, il convient de bannir les dalles et les pavés, d'éviter les erreurs commises lors de la construction (ondulations liées à un mauvais lissage par exemple…), de veiller à limiter les phénomènes d'usure liés par une maintenance régulière du revêtement.

Par ailleurs, la réduction du calibre du granulat du revêtement permet de réduire la profondeur des irrégularités. La forme du relief de surface joue également un rôle important : une surface qui présente des irrégularités en forme de creux (surface compactée) générera moins de vibrations qu'une surface dont les irrégularités sont en forme de bosses.

Un phénomène de « pompage d'air » causé par la compression/détente de l'air situé entre les pneumatiques et les espaces vides non communicants de la chaussée, qui génère des sons plus aigus.

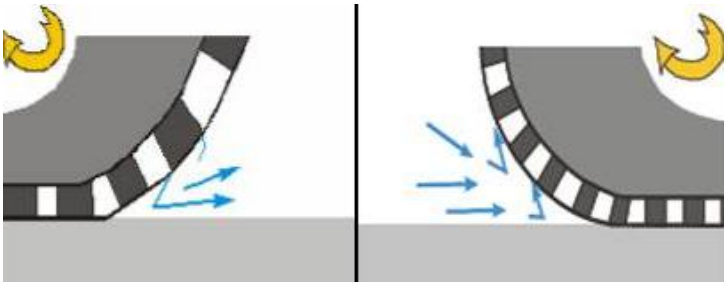


Figure 17 : Mécanisme de pompage d'air.

Le phénomène de pompage d'air peut être limité par une surface présentant des aspérités de petite dimension (inférieure à 1 cm typiquement) ou une bonne porosité qui vont faciliter la circulation de l'air. L'air présent dans les reliefs des pneumatiques peut alors librement s'échapper, au moment du contact avec la chaussée, entre les aspérités ou les vides

limitant ainsi le phénomène de compression, puis être ré-aspiré moins brusquement à l'arrière de la zone de contact, limitant alors le phénomène de détente.

Les aspérités de petite dimension s'obtiennent généralement en utilisant de petits gravillons à la surface (enrobés à faible granulométrie par exemple). La porosité est quant à elle liée à la présence de trous en surface communicants avec les vides présents dans la structure du revêtement (minimum de 15 % de vides : enrobés drainants par exemple).

L'effet de corne (ou« effet dièdre ») qui correspond aux réflexions successives de l'onde sonore dans la corne (ou dièdre) formée par le pneumatique et le revêtement routier, dont la conséquence est une amplification du bruit à la manière d'un mégaphone.

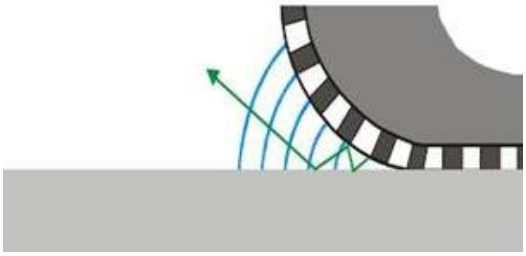


Figure 18 : Effet de corne ou « effet dièdre ».

La porosité d'un revêtement permet d'absorber les bruits de roulement et de réduire de manière importante l'effet de corne, le son se trouvant piégé dans les pores.

Elle permet en outre de réduire le surcroît de bruit généré par le phénomène de projection de gouttelettes d'eau, lorsqu'il pleut ou qu'il vient de pleuvoir. Enfin, une bonne absorption acoustique contribue à absorber également le bruit du moteur (qui est dominant à vitesse peu élevée) ainsi que les autres bruits environnants.

Le bruit a également tendance à devenir plus sourd et donc moins dérangeant à l'oreille humaine.

2.6.2. Présentation des produits Rugosoft® et Nanosoft® de Colas

Les produits Rugosoft® et Nanosoft® qui ont été déployés sur le tronçon d'expérimentation du bd périphérique appartiennent aux enrobés bitumineux dits à couche très mince (BBTM) car ils sont appliqués en couche de 2 à 3,5 cm d'épaisseur. Cette couche est caractérisée par un pourcentage assez élevé de granulats (autour de 70 %) de granulométrie réduite, posée à chaud et compactée au cylindre.

La taille des granulats influe directement sur la texture du revêtement. Les textures associées à des granulats de petite taille sont moins bruyants. Ainsi le produit de dernière génération Nanosoft® (BBTM de classe 2) présente un calibre de granulats particulièrement réduit : 0/4mm.

Sa formule granulaire discontinue permet de créer un pourcentage important de petits vides (entre 20 et 30 % de vides contre 10 à 15 % pour les revêtements classiques) qui améliorent l'absorption acoustique. Les vides vont agir comme des pièges pour le son émis

par la circulation. Le Nanosoft® est ainsi réputé être un revêtement très performant d'un point de vue acoustique et encore plus efficace que le Rugosoft® qui présente un calibre de granulats de 0/6mm.

Ces types de revêtements sont ainsi censés réduire le bruit de roulement de 7 à 10 dB(A) par rapport à des revêtements classiques. La figure suivante illustre ce propos.

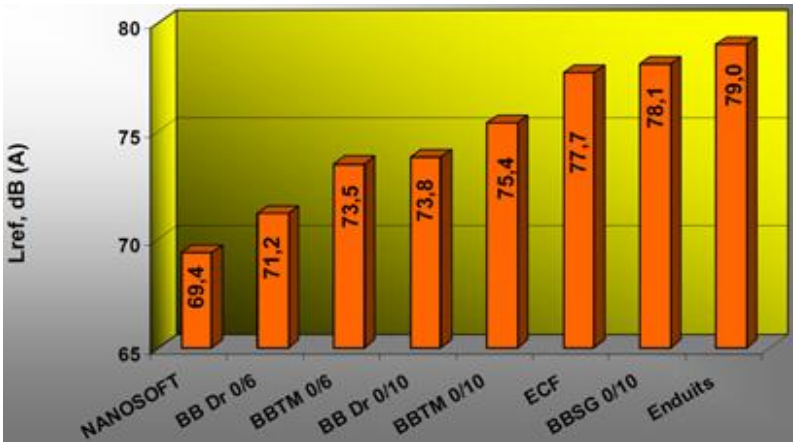


Figure 19 : Diagramme extrait de la base de données du LRPC (valeurs moyennes des mesures LAmax réalisées en véhicules isolés (VI), à 90 km/h, par famille de revêtements) ; source : Notice technique Nanosoft®, Colas (2010).

Les bétons bitumineux minces ou très minces offrent plutôt une bonne résistance à la formation d'ornières, ils disposent de bonnes qualités antidérapantes en raison d'une bonne rugosité de surface et en fonction de leur porosité, ils permettent de réduire la quantité d'eau projetée, améliorant ainsi également la visibilité en cas de pluie.

Les bétons bitumineux minces ou très minces sont néanmoins réputés moins résistants aux contraintes tangentielles qu'un revêtement classique : il est donc préférable de ne pas les utiliser aux carrefours, dans les ronds-points, les virages serrés.

Par ailleurs, le passage sur une chaussée existante classique à du revêtement en couche mince ou très mince nécessite de réaliser une couche de liaison en plus de la couche de roulement.

Les caractéristiques techniques des produits Rugosoft® (BBTM 0/6) et Nanosoft® (BBTM 0/4) sont fournies dans les fiches techniques de la société Colas en annexe 1.

2.7. Méthodes usuelles d'évaluation des revêtements de chaussée

Il existe deux types de procédures de mesure des performances acoustiques des revêtements de chaussée : les procédures de mesure dites "au passage" (normes NF EN ISO 11819-1 et NF S 31-119-2) et les procédures de mesure dites en champ proche ou en continu (normes XP S 31 145 et ISO 11819 - 2). Les deux méthodes de mesures se complètent. La méthode "au passage" fournit des valeurs précises pour une section de chaussée discrète et constitue la base de la comparaison avec le modèle d'émission théorique, tandis que la méthode en "champ proche" permet de relever des valeurs acoustiques caractéristiques du

revêtement sur toute la longueur d'un tronçon et d'évaluer son homogénéité. En outre, la méthode de mesure en champ proche permet également de récolter simultanément aux mesures acoustiques des données auxiliaires liées à la texture de la surface du revêtement.

2.7.1. Procédure de mesure "au passage"

Cette procédure consiste à mesurer les niveaux sonores au passage de véhicules à 7,50 m du bord de l'infrastructure routière (plus précisément à 7,50 m de l'axe de la bande de roulement à caractériser) et à 1,20 m de hauteur (cf. figure 20). Méthode de mesure privilégiée en France pour caractériser le bruit de contact pneus chaussée, elle consiste à mesurer le bruit produit :

- soit par le passage d'un échantillon de véhicules du trafic (procédure VI : véhicule isolé du flot de trafic),
- soit par des véhicules d'essai pris isolément hors trafic (procédure VM : véhicule maîtrisé [2]).

Pour les véhicules légers, les deux méthodes "VI" et "VM" fournissent des résultats proches à ± 1 dB(A).

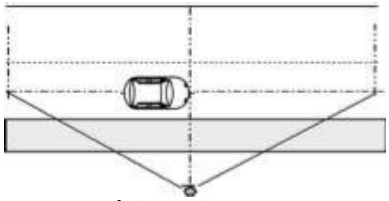


Figure 20 : Procédure de mesure "au passage".

Les conditions opératoires à respecter sont strictes et contraignantes (tracé linéaire, sans pente, sans obstacle direct, revêtement sec,...). Ces deux approches sont explicitées dans la norme NF S 31-119-2.

Au niveau international, et dans le cadre des études réalisées à l'échelle Européenne, la procédure au passage privilégiée (utilisée) est la méthode "statistique au passage" (statistical pass-by method SPB). Cette méthode est décrite dans la norme internationale ISO 11819 – 1 [3] (cf. figure 21).

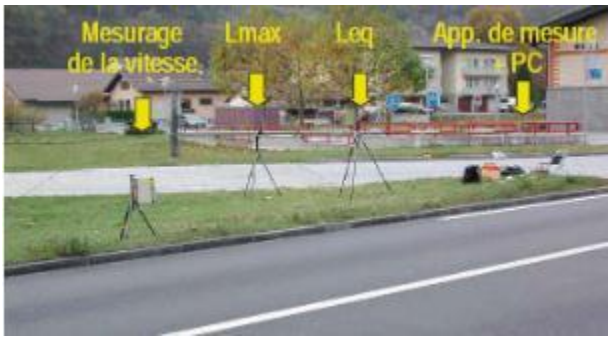


Figure 21 : Méthode statistique au passage (ISO 11819 - 1).

[2] *Le terme "maîtrisé" signifie que les véhicules d'essai ne sont pas quelconques et qu'ils sont conduits dans des conditions bien définies. Cette méthode nécessite de réaliser les mesures en l'absence du trafic automobile.*

[3] *Proche de la méthode française (VI) - 3 classes de véhicules (VL, PL à 2 essieux et PL à plus de 2 essieux) - nombre minimal de véhicules (100 VL et 30 pour chaque catégorie PL) - LAmax et LAeq pour chaque passage - distance microphone / axe de la voie : 7,5 m pour LAmax et 5 m pour LAeq - vitesse de passage de chaque véhicule mesurée à l'aide d'un radar - aucune correction de température.*

Concernant la procédure VI, des couples "logarithme de la vitesse" / "bruit" sont enregistrés et une corrélation est établie pour déterminer le bruit pour une vitesse de référence donnée et une catégorie de véhicules. La norme spécifie 4 classes de véhicules, mais dans la pratique on ne mesure que les véhicules légers (VL), et les trains routiers ayant 4 ou 5 essieux (TR) (les autres classes étant trop peu représentées).

Cette méthode permet, d'une part, de quantifier pour les conditions de trafic existantes, l'effet du revêtement sur le bruit du trafic et d'autre part, si les conditions sont identiques, de comparer les performances acoustiques des revêtements routiers pour chaque classe de véhicule.

Cette méthode nécessite la mesure du bruit au passage d'au moins 80 véhicules par classe. Le niveau de pointe LAmax en dB(A) de chaque classe de véhicule est ensuite ramené à une température de référence de 20°C. Une correction de température est appliquée (-0,1 dB(A) par degré Celsius). Les mesures sont stockées dans une base de données pour une vitesse de référence de 90 km/h et une température de 20°C.

2.7.2. Procédure de mesure "en champ proche"

Ces procédures consistent à mesurer sur des véhicules en roulement le bruit émis par un ou plusieurs pneumatiques d'essai en champ proche de la roue (moins de 1 m). Ces procédures peuvent, dans la plupart des cas, être mises en œuvre sous circulation. Les mesures sont échantillonnées de façon continue sur la section de route à caractériser et permettent d'apprécier l'homogénéité d'un itinéraire. Elles nécessitent l'utilisation d'un matériel spécifique afin d'assurer la fiabilité des résultats.

En France, la procédure est décrite dans la méthode d'essai n°63 "Mesure en continu du bruit de contact pneumatique d'essai" du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), en fonction du type d'application recherchée. Les procédures de mesure en continu font l'objet d'une norme partiellement publiée (XP S 31 145-1, partie 2 non disponible à ce jour).

A l'étranger, la procédure CPX ("Close-proximity method") décrite dans la norme ISO 11819 - 2 (cf. figure 22) est majoritairement mise en œuvre. Les principales exigences sur la section de route à caractériser sont les suivantes :

- mesure du bruit en simultanée par deux microphones,
- roue d'essai (roues du véhicule ou roue montée sur la remorque),
- vitesse stabilisée,
- niveau sonore et vitesse sont échantillonnés de façon continue,
- plusieurs passages peuvent être effectués,
- niveau sonore de l'échantillon recalé en fonction de la vitesse et pour une vitesse de référence donnée,
- calcul du niveau sonore moyen de la section de route considérée et de la dispersion autour de cette moyenne.

Le résultat d'une mesure est la moyenne des niveaux sonores enregistrés par les deux microphones [4].

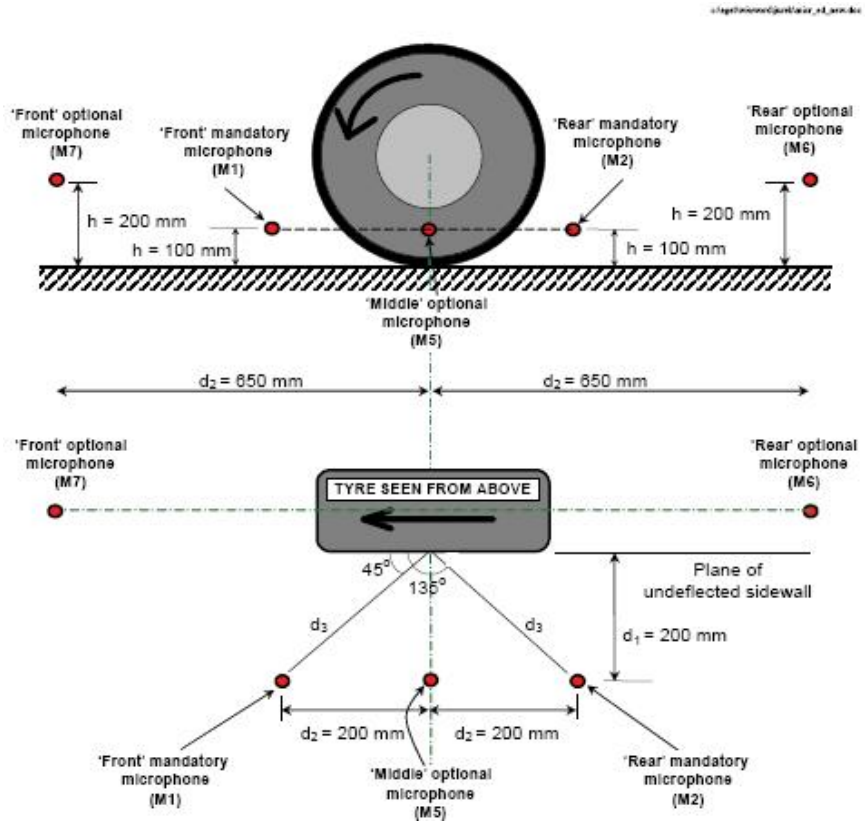


Figure 22 : Procédure CPX.

Les microphones peuvent être placés dans des véhicules ou remorques dits "ouverts" (sans isolation acoustique autour du microphone), ou placés dans des chambres insonorisées à l'intérieur d'une remorque de mesurage, comme l'illustrent la figure suivante.

Figure 23 : Exemples de mesure de bruit de roulement en continu.

[4] *Le matériel de mesure doit respecter un ensemble d'exigences destinées à s'assurer que le résultat ne soit pas affecté par des réflexions parasites ou des sources sonores autres que le pneumatique d'essai. Ces spécifications peuvent être complétées, le cas échéant, par une procédure d'analyse permettant, lors du dépouillement, d'écarter les échantillons perturbés (passage d'un autre véhicule, singularité sur la chaussée, etc.).*

2.7.3. Protocole retenu pour l'évaluation sur le boulevard périphérique

Dans le cadre de l'évaluation réalisée sur le boulevard périphérique parisien, il était difficile d'envisager la mise œuvre des méthodes dites « au passage » pour des questions pratiques liées à la position des capteurs par rapport du bord de l'infrastructure routière (7,50 m de l'axe de la bande de roulement à caractériser et à 1,20 m de hauteur) ainsi que par la nécessité d'interrompre la circulation du périphérique dans les deux sens, ce qui était guère envisageable.

Aussi, les services de la Direction de la voirie et des déplacements de Paris ont opté pour la réalisation de mesures en champ proche. Celles-ci ont été réalisées par le CETE Ile-de-France à l'aide d'un véhicule spécifiquement équipé avec une roue d'essai.

Par ailleurs, afin de disposer d'une évaluation plus globale de l'efficacité acoustique du revêtement dans les vraies conditions de circulation, c'est-à-dire intégrant la diversité des véhicules empruntant le boulevard périphérique (VP, VUL et PL) et les différents régimes de circulation (fluide, congestionné, pulsé…), Bruitparif a installé une station de mesure permanente en situation de proximité à la source. Le microphone de mesure a ainsi été positionné à 4 mètres de hauteur sur un mât spécifiquement conçu par Bruitparif et implanté au niveau du terre-plein central.

En outre, Bruitparif a déployé trois stations de mesure en façade des immeubles jouxtant la section expérimentale du périphérique afin de documenter les variations de bruit occasionnées par la mise en œuvre des nouveaux revêtements en situation riverains.

Une 5ème station a en outre été positionnée en situation riverains sur une section non impactée par les modifications de revêtement afin de servir de station témoin et vérifier que d'autres facteurs (conditions météorologiques, conditions de trafic) ne sont pas venus perturber significativement les niveaux de bruit après la pose des revêtements par rapport à la période précédant l'expérimentation.

3. Dispositif de mesure mis en place par Bruitparif

3.1. Stations fixes de mesure du bruit

Afin de quantifier l'impact acoustique l'expérimentation de nouveaux revêtements de chaussée sur le tronçon du boulevard périphérique Pte de Vincennes et pour disposer de données de bruit avant/après, les équipes de Bruitparif ont déployé entre fin mars et début mai 5 stations de mesure permanente dans le cadre du projet européen Harmonica, soutenu par Life+.

3.1.1. Plan d'ensemble d'implantation des stations de mesure

La première a été installée au niveau du terre-plein central (à proximité directe du trafic routier) et les 4 autres en façade d'immeubles riverains du boulevard périphérique. L'une d'entre elles a été positionnée en dehors du périmètre de l'expérimentation afin de servir de « témoin » pour évaluer l'efficacité du dispositif.

L'installation des stations en situation riverains s'est faite à 2 mètres en avant de la façade la plus exposée le plus au centre de la façade (tant en latéral qu'en vertical) conformément à la norme NFS 31-085 relative au mesurage du bruit routier dans l'environnement.

Les installations des stations en façade des habitations ont par ailleurs fait l'objet de conventions tripartites entre Bruitparif, le locataire de l'appartement concerné et la RVIP (Régie Immobilière de la Ville de Paris).

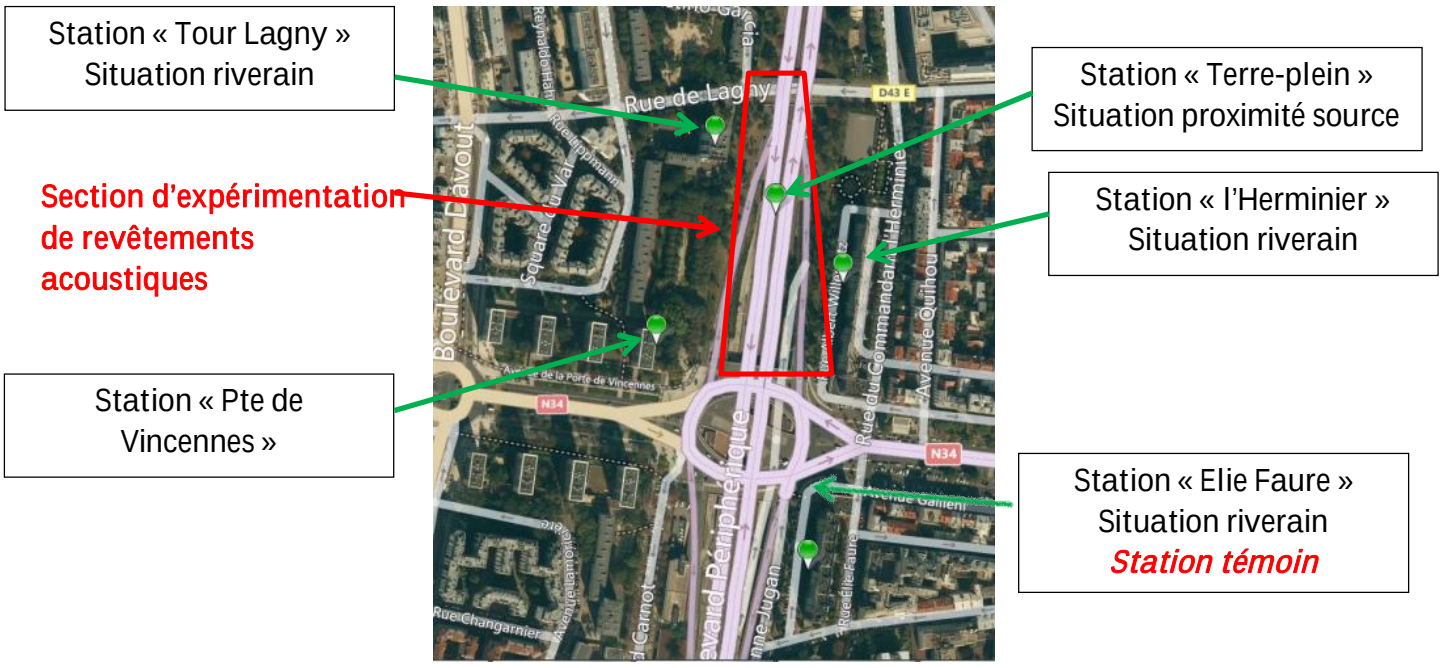


Figure 24 : Plan d'implantation des stations de mesure du bruit au niveau du secteur d'expérimentation.

3.1.2. Description de l'implantation précise des stations de mesure

Station de mesure au niveau du terre-plein central :

Adresse : terre-plein central du bd périphérique entre la porte de Vincennes et le pont de Lagny

Date de début de mesure : 21/03/2012. Type de matériel : station Oper@Ex 01 dB classe 1.

Position du microphone : à 4 mètres de hauteur par rapport à la chaussée sur le terre-plein central.

Figure 25 : Station de mesure du bruit au niveau du terre-plein central.

Station de mesure en façade de la Tour Lagny :

Adresse : 118 rue Lagny, 75020 Paris.

Date de début de mesure : 04/05/2012. Type de matériel : station Oper@RF 01 dB classe 1.

Position du microphone : à 2 mètres en avant de la façade au centre de la façade (hauteur de 21 m par rapport au sol correspondant au 7ème étage), et à environ 40 mètres de distance latérale du bord du boulevard périphérique.

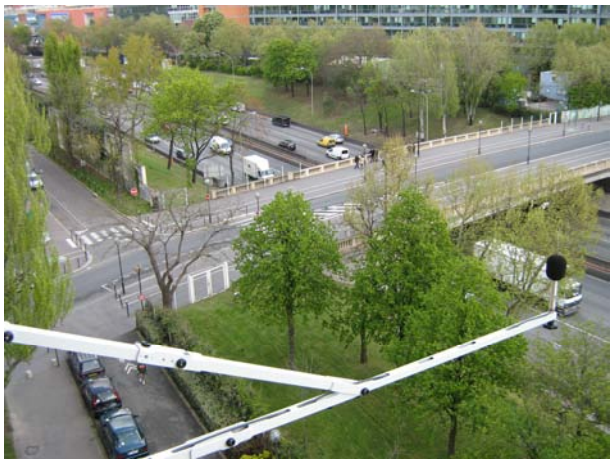


Figure 26 : Station de mesure du bruit en façade de la Tour Lagny.

Station de mesure en façade de l'immeuble l'Herminier :

Adresse : 9 rue du Commandant l'Herminier

Date de début de mesure : 04/05/2012. Type de matériel : station Oper@RF 01 dB classe 1.

Position du microphone : à 2 mètres en avant de la façade au centre de la façade (hauteur de 16 m par rapport au sol correspondant au 5ème étage) et à environ 50 mètres de distance latérale du bord du boulevard périphérique.

Figure 27 : Station de mesure du bruit en façade de l'immeuble l'Herminier.

Station de mesure en façade de l'immeuble Pte de Vincennes :

Adresse : 13 av. de la porte de Vincennes, 75020 Paris.

Date de début de mesure : 09/05/2012. Type de matériel : station Oper@RF 01 dB classe 1.

Position du microphone : à 2 mètres en avant de la façade au centre de la façade (hauteur de 18 m par rapport au sol correspondant au 6ème étage), à environ 65 mètres de distance latérale du bord du boulevard périphérique et à 25 mètres de l'avenue de la porte de Vincennes.

Figure 28 : Station de mesure du bruit en façade de l'immeuble Pte de Vincennes.

Station de mesure en façade de l'immeuble Elie Faure (station témoin) :

Adresse : 3 rue Elie Faure, 75020 Paris.

Date de début de mesure : 09/05/2012. Type de matériel : station Oper@RF 01 dB classe 1.

Position du microphone : à 2 mètres en avant de la façade au centre de la façade (hauteur de 16 m par rapport au sol correspondant au 5ème étage) et à environ 50 mètres de distance latérale du bord du boulevard périphérique.

Figure 29 : Station de mesure du bruit en façade de l'immeuble Elie Faure.

3.1.3. Mise en ligne et consultation des données de mesure

Les données des stations de mesure sont diffusées en temps réel au sein de la plateforme de consultation des résultats du réseau, le site « Rumeur », accessible via la page d'accueil du site de Bruitparif, et ce, depuis leur début de mise en oeuvre.

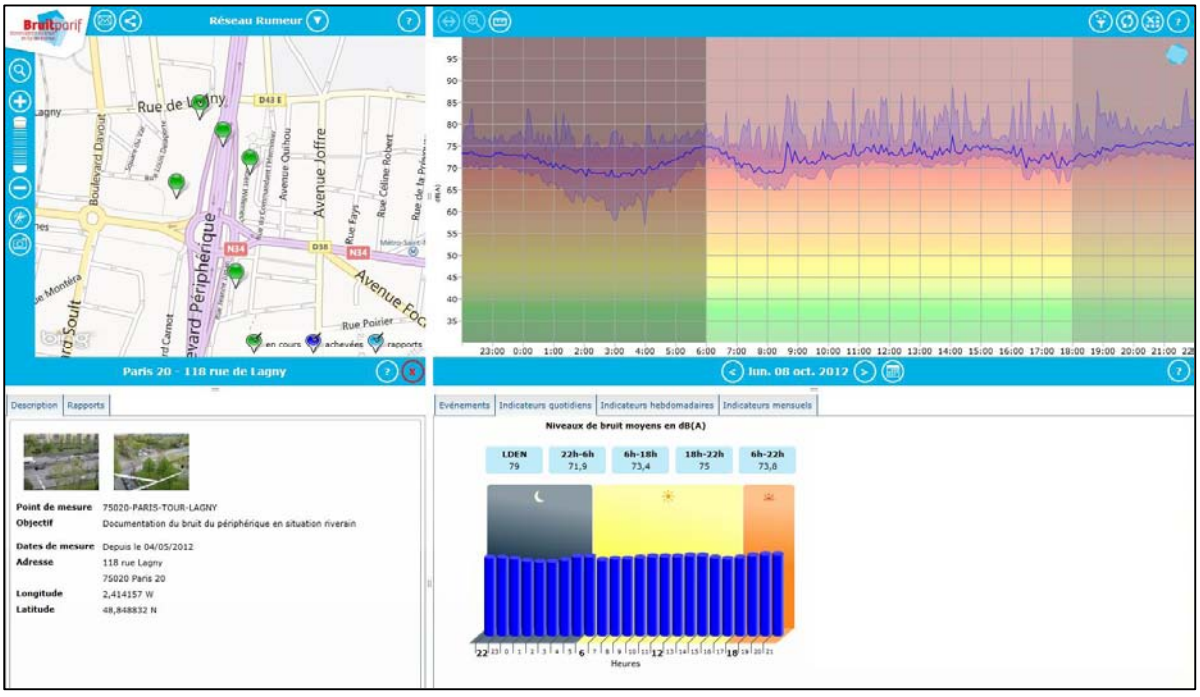


Figure 30 : Plateforme de consultation des données de mesure (http://rumeur.bruitparif.fr).

3.2. Enregistrements audio-conformes

Pour compléter le dispositif, des enregistrements audionumériques ont été réalisés en façade d'immeubles et dans un véhicule, à l'aide d'un appareil capable d'enregistrer les niveaux sonores et de les restituer tels qu'ils sont perçus par l'oreille humaine (casque de marque Squadriga™ du fabricant Head Acoustics).

Ce matériel est dit « audio-conforme », ainsi la chaîne d'enregistrement et de réécoute influe au minimum sur la perception des sujets écoutant les échantillons sonores.

Les systèmes audio-conformes ont la particularité de disposer de différents filtres permettant « d'annuler » les effets des différents éléments de la chaîne (réponse en fréquence du casque de prise de son et du casque de réécoute, amplification ou atténuation de niveau liées aux ajustements de gammes,...).

Les séquences sonores ainsi restituées sont proches de la réalité en termes de niveaux, de spectre et de spatialisation.

L'utilisation de ce casque a permis de documenter le gain obtenu en termes de sensation auditive pour les riverains comme pour les automobilistes.

Figure 31 : Enregistrements audionumériques en façade d'immeuble à l'aide du casque Squadriga™.

4. Résultats

Les résultats détaillés de mesure sur les différentes stations sont présentés en annexe 2. Pour chaque type de jour (tous les jours confondus, jours ouvrables ou jours de week-end) et pour chaque station, les données quart-horaires de mesure sont présentées sous la forme d'un cycle journalier pour les deux périodes (avant et après la pose des revêtements).

La partie 4 de ce rapport présente les principales analyses que l'on peut faire de ces résultats de mesure.

4.1. Période d'analyse

Les résultats portent sur la période allant de quelques semaines avant la pose des nouveaux revêtements à 3 mois après. L'installation des stations a été faite entre fin mars et début mai 2012.

Le tableau ci-dessous présente la durée d'exploitation et le taux de disponibilité des données pour les deux périodes d'analyse (avant pose des nouveaux revêtements : état initial et après pose des nouveaux revêtements : période des 3 premiers mois).

Nom de la Station	Période de l'état initial	Durée de l'état initial	Taux de disponibilité des données pour l'état initial	Période des trois premiers mois	Trois premiers mois	Taux de disponibilité des données sur les trois premiers mois
Terre-plein central	22/03/12-24/06/12	95 jours	99%	29/06/12-29/09/12	93 jours	100 %
Tour Lagny	05/05/12-24/06/12	51 jours	100%	29/06/12-29/09/12	93 jours	100%
Lherminier	05/05/12-24/06/12	51 jours	100%	29/06/12-29/09/12	93 jours	100%
Pte de Vincennes	10/05/12-24/06/12	46 jours	100%	29/06/12-29/09/12	93 jours	100%
Elie Faure	10/05/12-24/06/12	46 jours	100%	29/06/12-29/09/12	93 jours	82% [1]

[1] *Le taux de disponibilité des données de la station témoin positionnée devant l'immeuble Elie Faure n'a été que de 82 % sur les 3 mois qui ont suivi la date de pose des enrobés car la station a été coupée de son alimentation électrique au cours de la deuxième quinzaine du mois de juillet suite au départ en congés des locataires de l'habitation.*

Figure 32 : Périodes sur lesquelles l'analyse des mesures a été réalisée.

4.2. Caractérisation de la situation « état initial » avant pose des nouveaux revêtements

Les relevés faits sur les stations fixes avant le démarrage des travaux viennent confirmer les niveaux de bruit très élevés et omniprésents qui préexistaient pour les riverains les plus proches du boulevard périphérique sur cette section.

4.2.1. Situations par rapport aux valeurs de référence

Pour les 4 stations en situation « riverains », les niveaux qui ont été enregistrés sont ainsi compris :

- Entre 70,1 et 76,4 dB(A) pour l'indicateur LAeq (6-22h), soit des niveaux de l'ordre de 0,1 à 6 dB(A) au-dessus de la valeur réglementaire pour le critère de détermination des points noirs de bruit routier diurnes. Ces niveaux dépassent par ailleurs de 15 à 21 dB(A) l'objectif de qualité fixé par l'OMS (55 dB(A) sur la période 6-22h), valeur en deça de laquelle la gêne sérieuse liée au bruit peut être évitée.

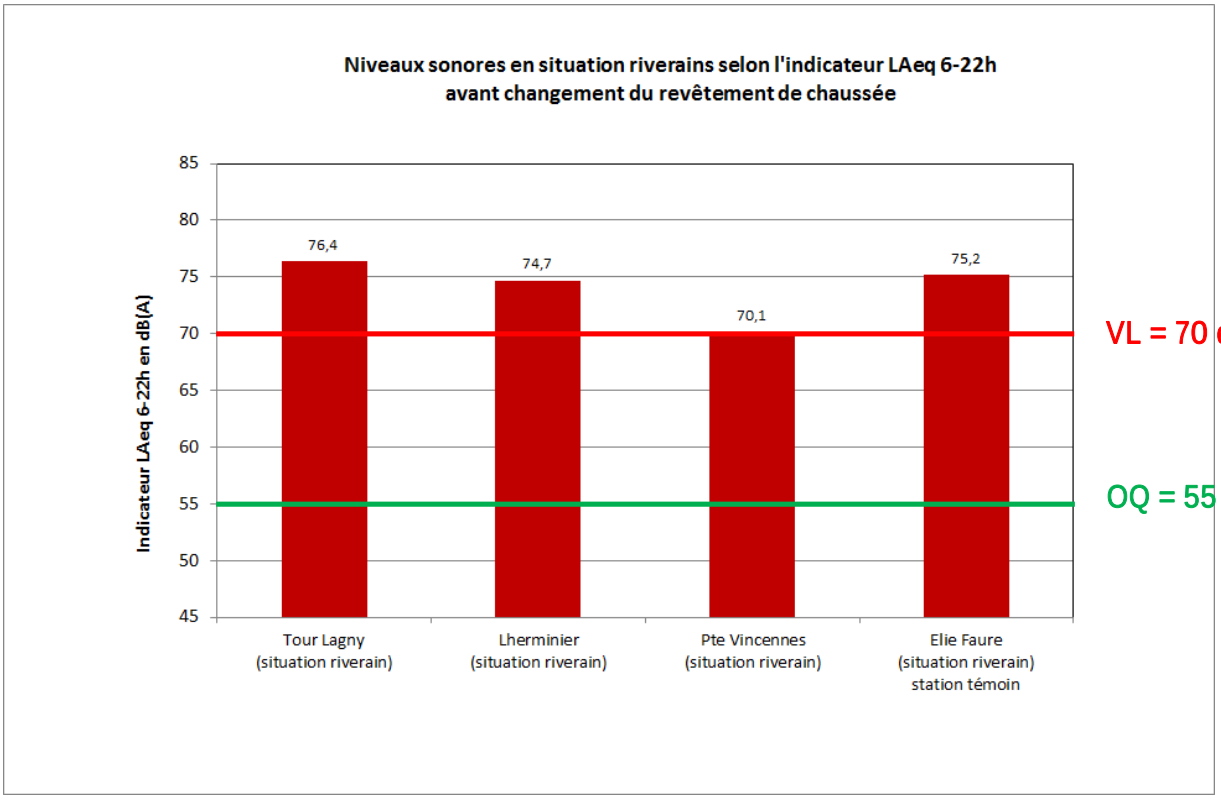


Figure 33 : Indicateurs LAeq 6-22h en situation « riverains ».

- Entre 69,7 et 76,1 dB(A) pour l'indicateur LAeq (22-6h), soit de l'ordre de 5 à 11 dB(A) au-dessus de la valeur réglementaire pour le critère de détermination des points noirs de bruit routier nocturnes. Ces niveaux dépassent par ailleurs de 30 à 36 dB(A) l'objectif de qualité fixé par l'OMS (40 dB(A) sur la période 22-6h) pour éviter les perturbations du sommeil.

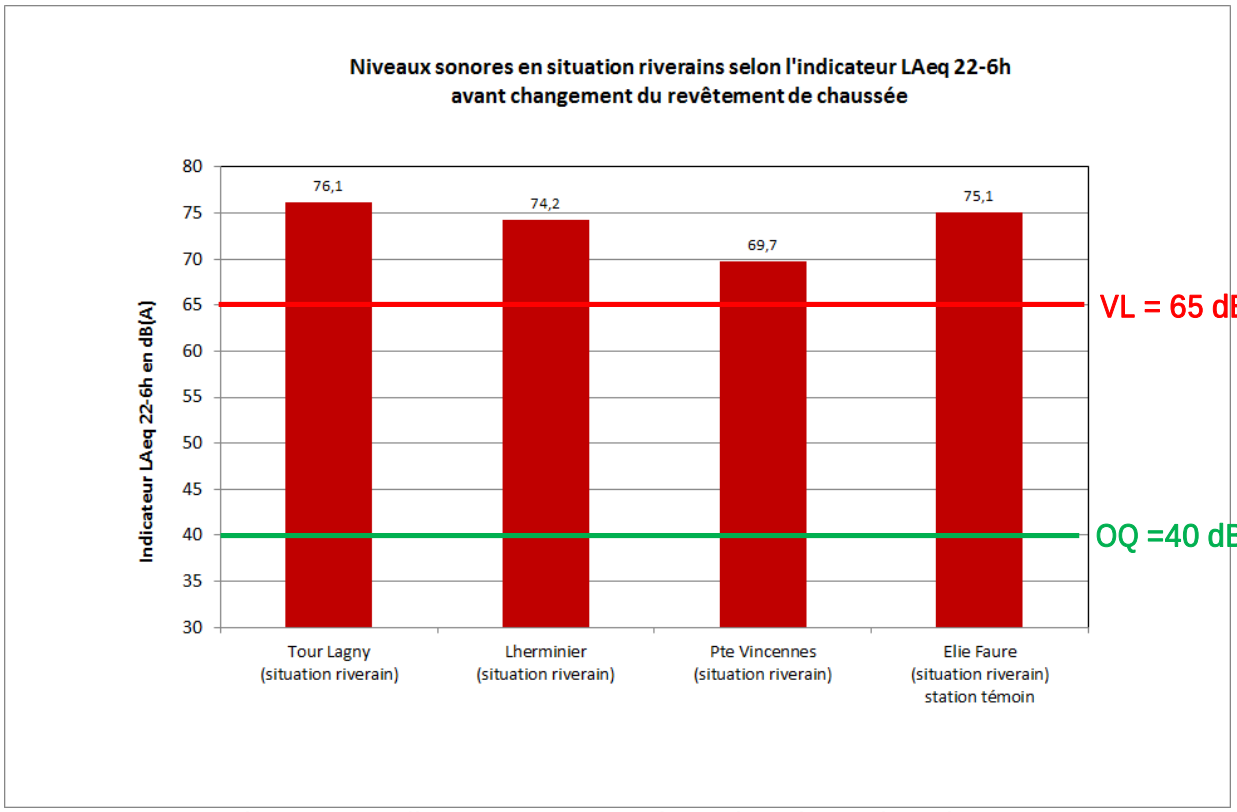


Figure 34 : Indicateurs LAeq 22-6h en situation « riverains ».

- Entre 66,7 et 73,1 dB(A) pour l'indicateur Ln, soit de l'ordre de 5 à 11 dB(A) au-dessus de la valeur limite prise pour cet indicateur par transposition de la directive européenne 2002/CE/49 pour le bruit routier.

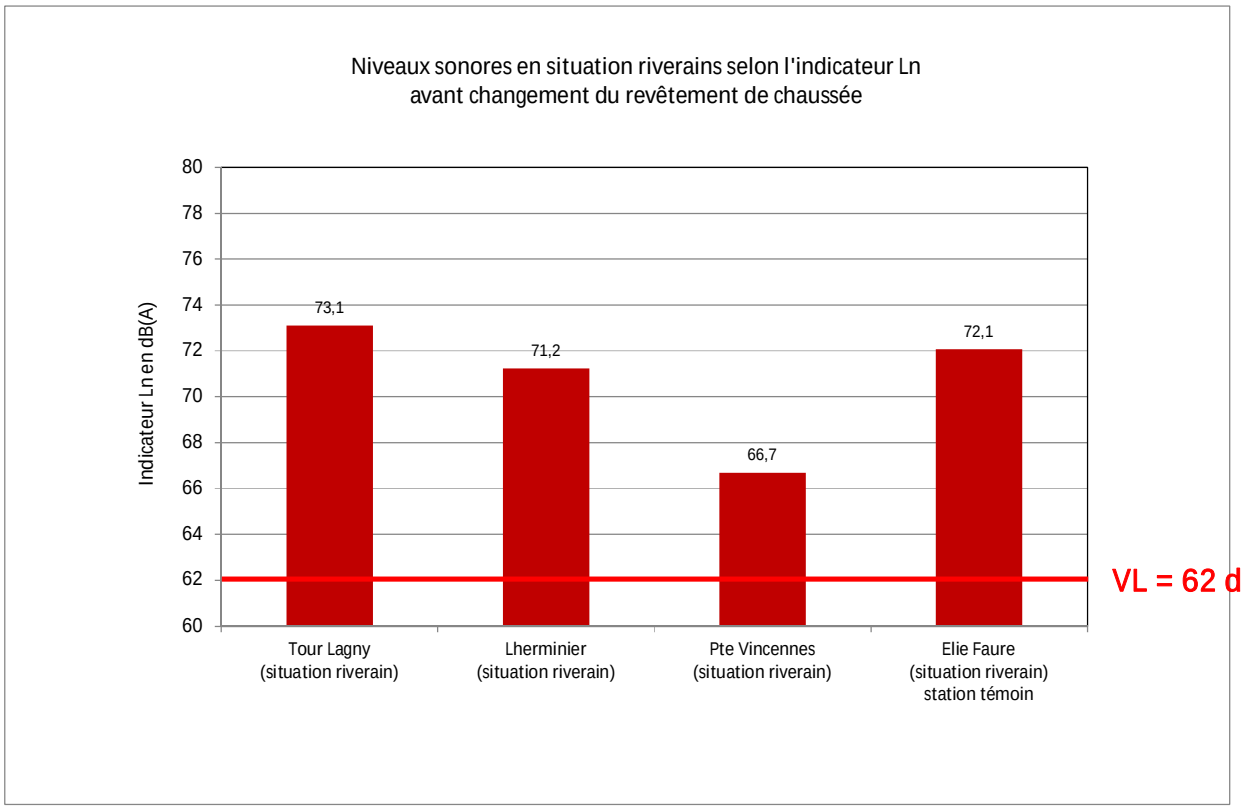


Figure 35 : Indicateurs Ln en situation « riverains ».

- Entre 73,2 et 79,6 dB(A) pour l'indicateur Lden, soit des niveaux qui excèdent de 5 à 12 dB(A) la valeur limite pour cet indicateur prise par transposition de la directive européenne 2002/CE/49 pour le bruit routier .

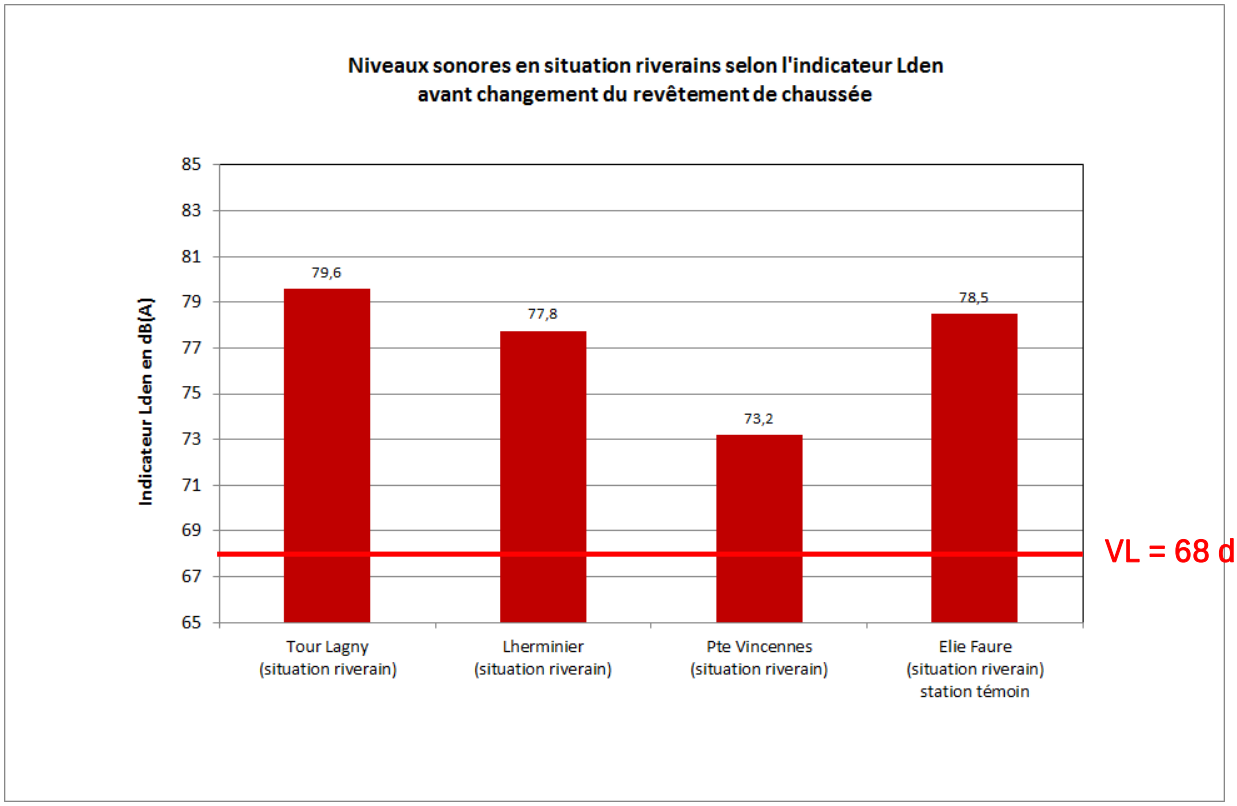


Figure 36 : Indicateurs Ln en situation « riverains ».

Quel que soit l'indicateur utilisé, les niveaux de bruit les plus forts sont observés en façade de la Tour Lagny qui est située à la distance la plus proche (40 mètres environ) du boulevard périphérique. Ce site excède de 6 à 12 dB(A) les différentes valeurs limites réglementaires en vigueur.

Les niveaux observés en façade des immeubles l'Herminier et Elie Faure sont de l'ordre de 1 à 2 dB(A) inférieurs à ceux de la Tour Lagny. Ces niveaux sont très proches entre les deux immeubles (de l'ordre de 0,5 à 0,9 dB(A) d'écart selon les indicateurs) ; ceci peut facilement s'expliquer par le fait que ces deux immeubles de construction similaire implantés de part et d'autre de la porte de Vincennes sont situés tous les deux à une distance relativement équivalente du BPE (de l'ordre de 50 mètres). Ces deux sites excèdent de 4 à 10 dB(A) les différentes valeurs limites réglementaires en vigueur.

Enfin, les niveaux en façade de l'immeuble situé Pte de Vincennes sont de l'ordre de 6 à 7 dB(A) inférieurs à ceux observés en façade de la Tour Lagny. Ce site est en effet moins impacté directement par le bruit du trafic du périphérique étant situé un peu plus en retrait du périphérique (de l'ordre de 65 mètres) et étant davantage impacté par l'avenue de la Porte de Vincennes et l'échangeur de la porte de Vincennes.

4.2.2. Variations des niveaux de bruit en fonction de l'heure et du jour

L'analyse des variations du bruit au cours de la journée et selon les types de jours confirme les résultats qui avaient été obtenus en 2009 lors de la grande campagne de mesure réalisée par Bruitparif autour du boulevard périphérique. Ainsi les niveaux de bruit sont très élevés quelle que soit l'heure de la journée et quel que soit le type de jour (jour ouvrable ou week-end). Il y a peu de variations entre la nuit et le jour. Les jours ouvrables, les niveaux en fin de nuit (5-7h) sont même les plus élevés, et ce pour toutes les stations.

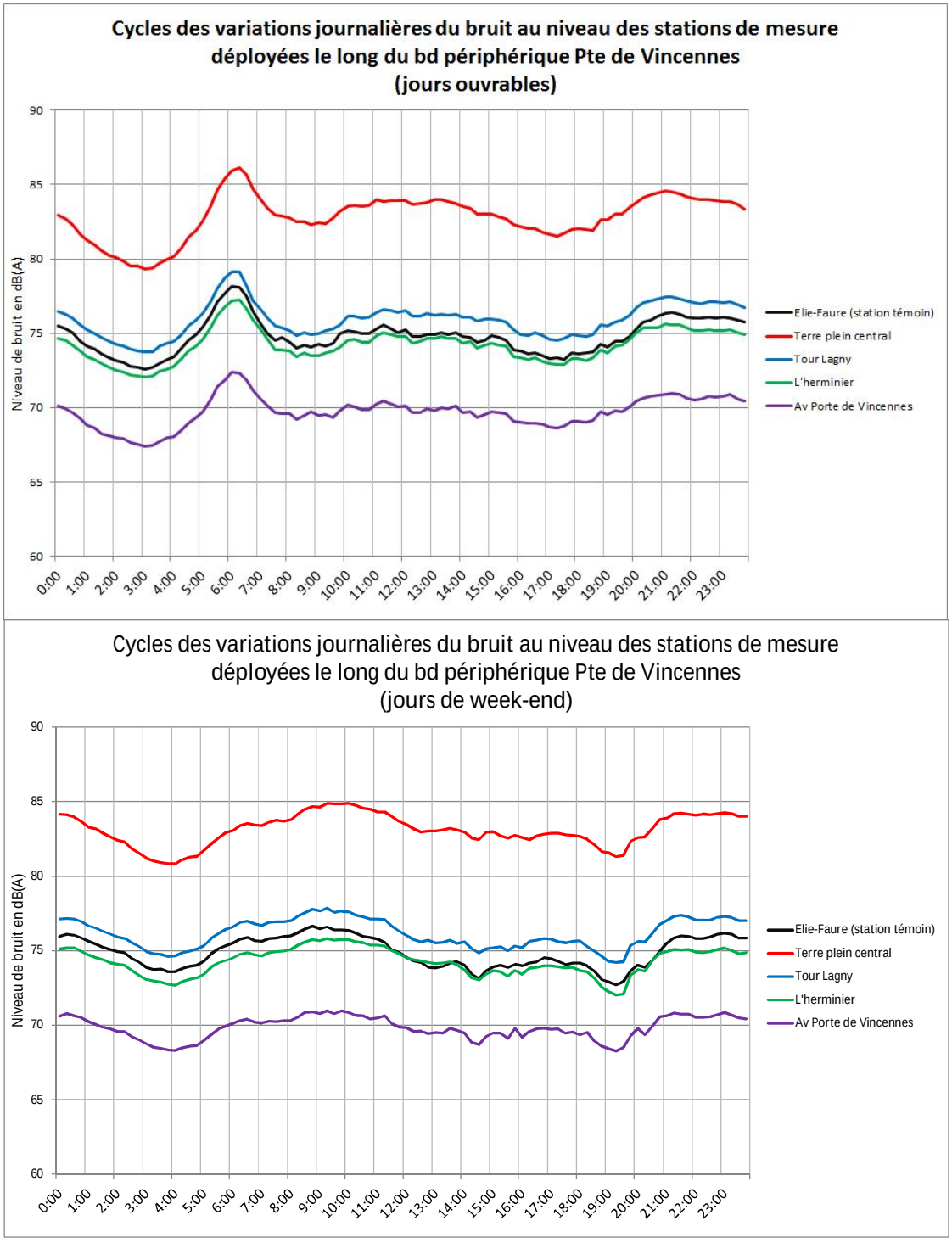


Figure 37 : Variations des niveaux de bruit au cours de la journée (en haut : jours ouvrables, en bas : jours de week-end).

4.3. Vérification de la comparabilité des résultats avant/après

Il a été vérifié que les écarts de bruit mesurés sur les stations situées au niveau de la section expérimentale entre avant et après la pose des nouveaux revêtements peuvent bien être imputés exclusivement à l'effet du changement des revêtements et non à des modifications de conditions de trafic.

Pour cela, nous avons exploité les résultats de mesure de la station « témoin » positionnée en façade de l'immeuble Elie Faure au droit d'une section qui n'a pas subi de modifications de revêtement et qui est située dans la continuité de la section expérimentale, permettant ainsi de considérer que les conditions de trafic sont à peu près les mêmes sur ces deux sections.

Les niveaux de bruit moyens constatés sur les périodes avant et après sont très proches : écart de +0,1 dB(A) sur les niveaux moyens diurnes et de -0,5 dB(A) sur les niveaux moyens nocturnes (cf. figure 38), avec qui plus est des profils de variations au cours de la journée très proches entre les deux périodes (cf. figure 39).

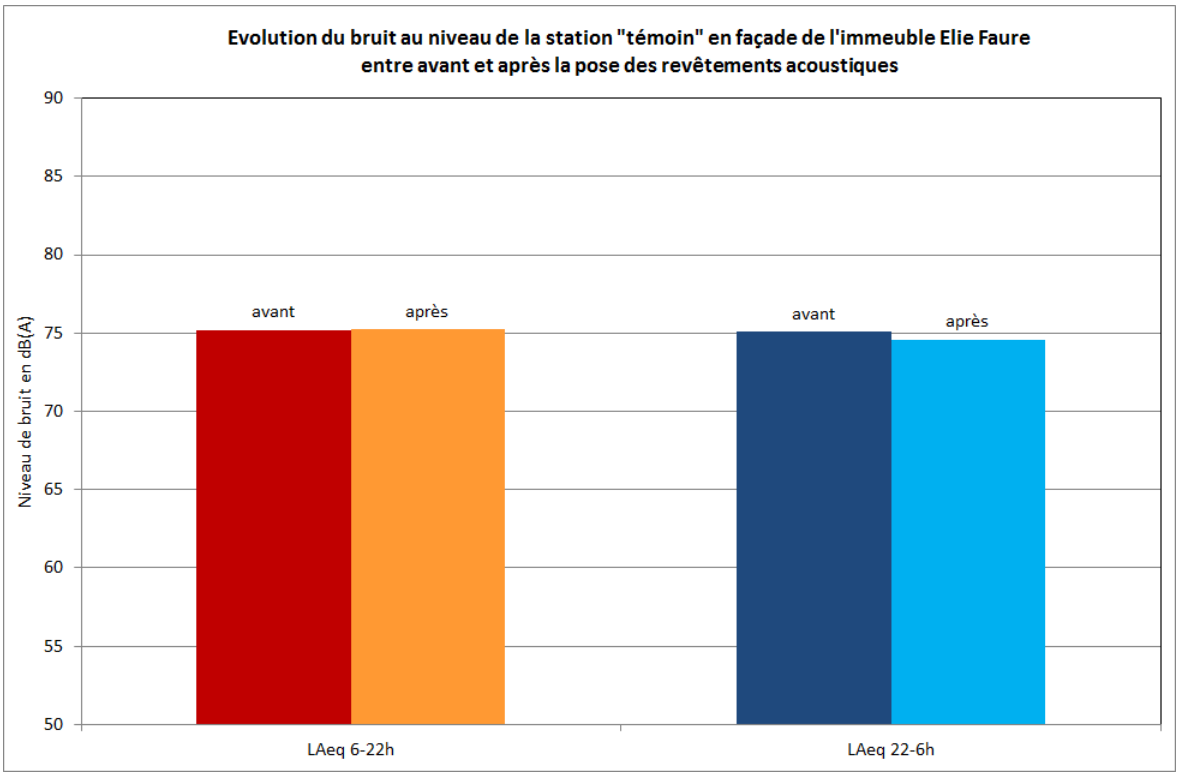


Figure 38 : Evolution des niveaux LAeq 6-22h et LAeq 22-6h entre les deux périodes sur la station « témoin » Elie Faure.

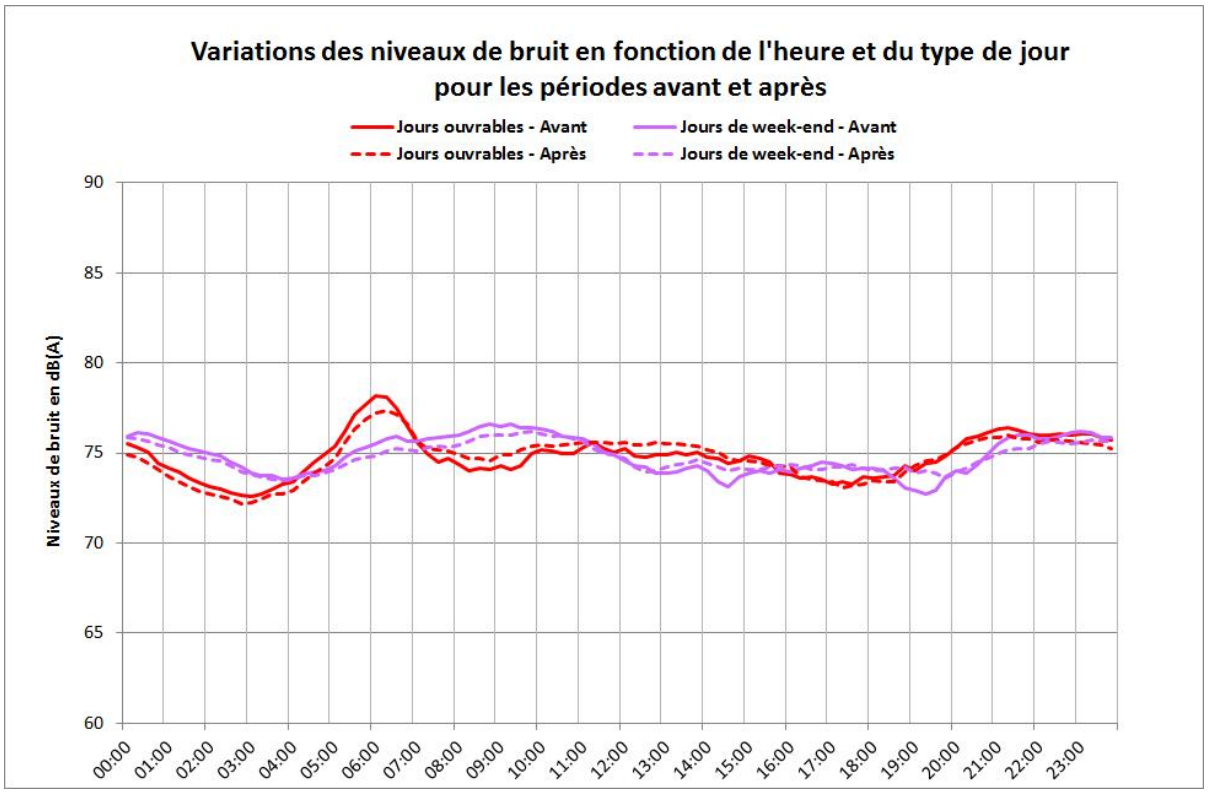


Figure 39 : Evolution des cycles moyens journaliers entre les deux périodes sur la station Elie Faure.

Ces résultats constatés sur la station « témoin » permettent de considérer que les résultats de mesure obtenus pour les deux périodes au niveau des stations situées sur la section expérimentale peuvent être directement comparés entre eux afin d'identifier l'effet lié aux revêtements acoustiques.

4.4. Quantification de la diminution de bruit à la source liée à la pose des nouveaux revêtements

L'analyse des mesures de bruit réalisées avant et après le changement de revêtement de chaussée au niveau du terre-plein central permet de quantifier l'efficacité acoustique réelle apportée par les nouveaux revêtements dans la diminution du bruit généré à la source par la circulation du boulevard périphérique.

La figure 40 ci-dessous présente ainsi les évolutions des niveaux sonores mesurés chaque jour pour les périodes diurnes (22-6h) et nocturnes (6-22h) depuis le démarrage opérationnel de la mesure le 21 mars 2012. On constate une diminution importante des niveaux à la pose des nouveaux revêtements survenue au cours de la période allant du 25 au 29 juin 2012.

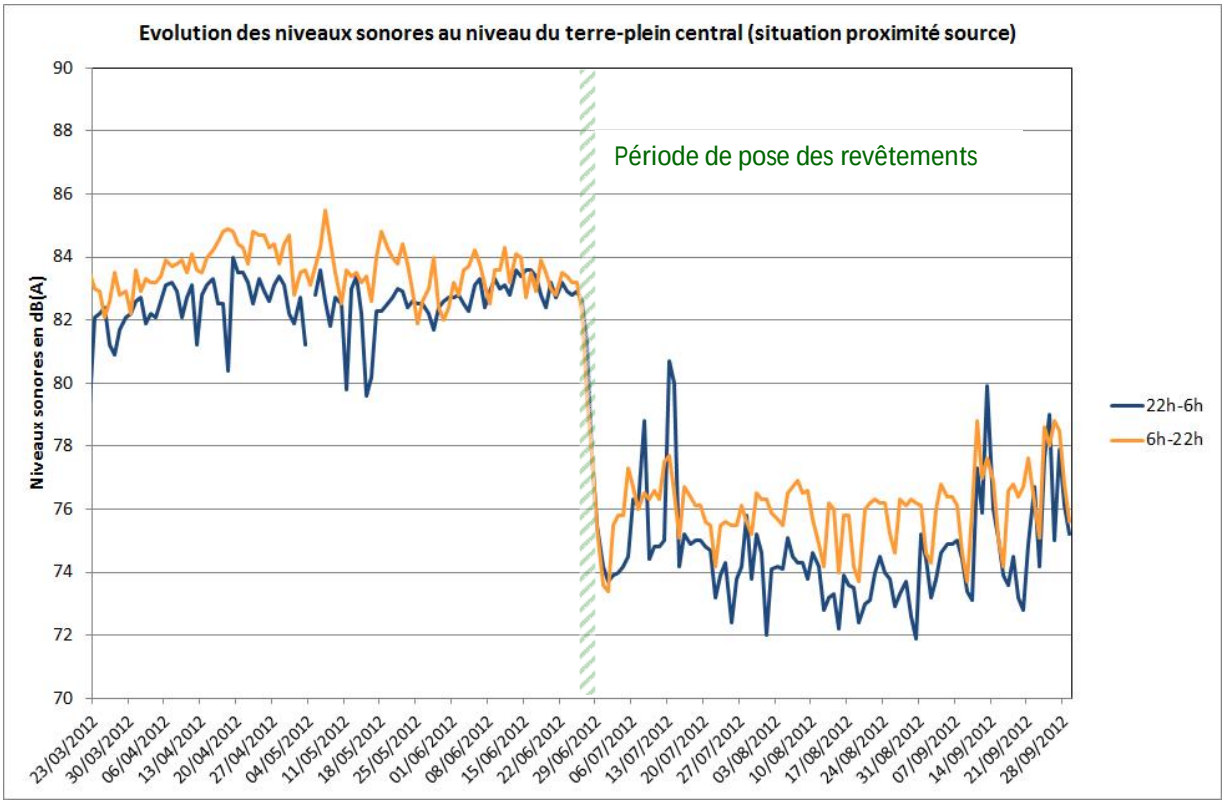


Figure 40 : Niveaux de bruit diurnes et nocturnes avant et après la pose des revêtements au niveau de la station de mesure située sur le terre-plein central.

En moyenne, les diminutions constatées sont ainsi de -7,5 dB(A) en période diurne (6-22h) et de -7,6 dB(A) en période nocturne (22-6h) (cf. figure 41). Ces baisses de bruit sont tout à fait significatives et correspondent à ce qui pourrait être obtenu par une division par 6 du volume de circulation (toutes conditions égales par ailleurs).

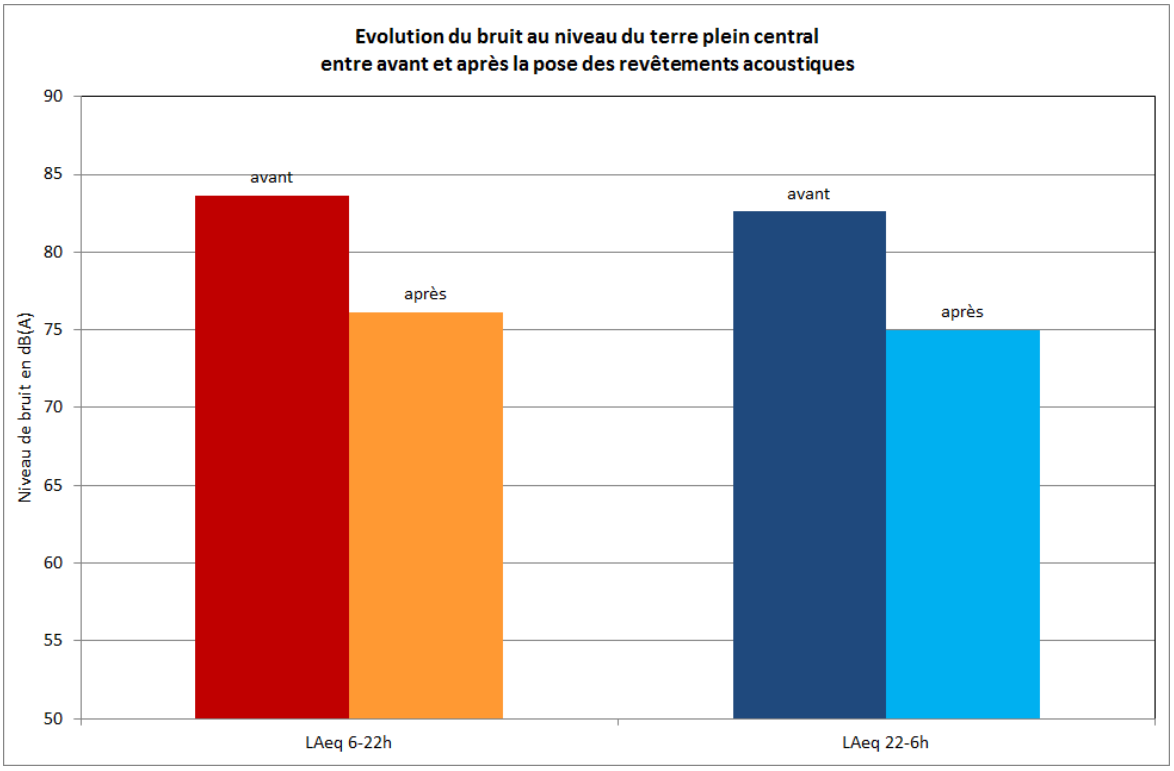


Figure 41 : Evolution des niveaux LAeq 6-22h et LAeq 22-6h entre les deux périodes sur la station située au niveau du terre-plein central.

Les graphiques ci-après (figures 42 à 45) présentent les évolutions des variations quart-horaires moyennes des niveaux de bruit au cours des jours ouvrables et des jours de week-end, avant et après le changement des revêtements de chaussée, en situation de terre-plein central.

Jours ouvrables

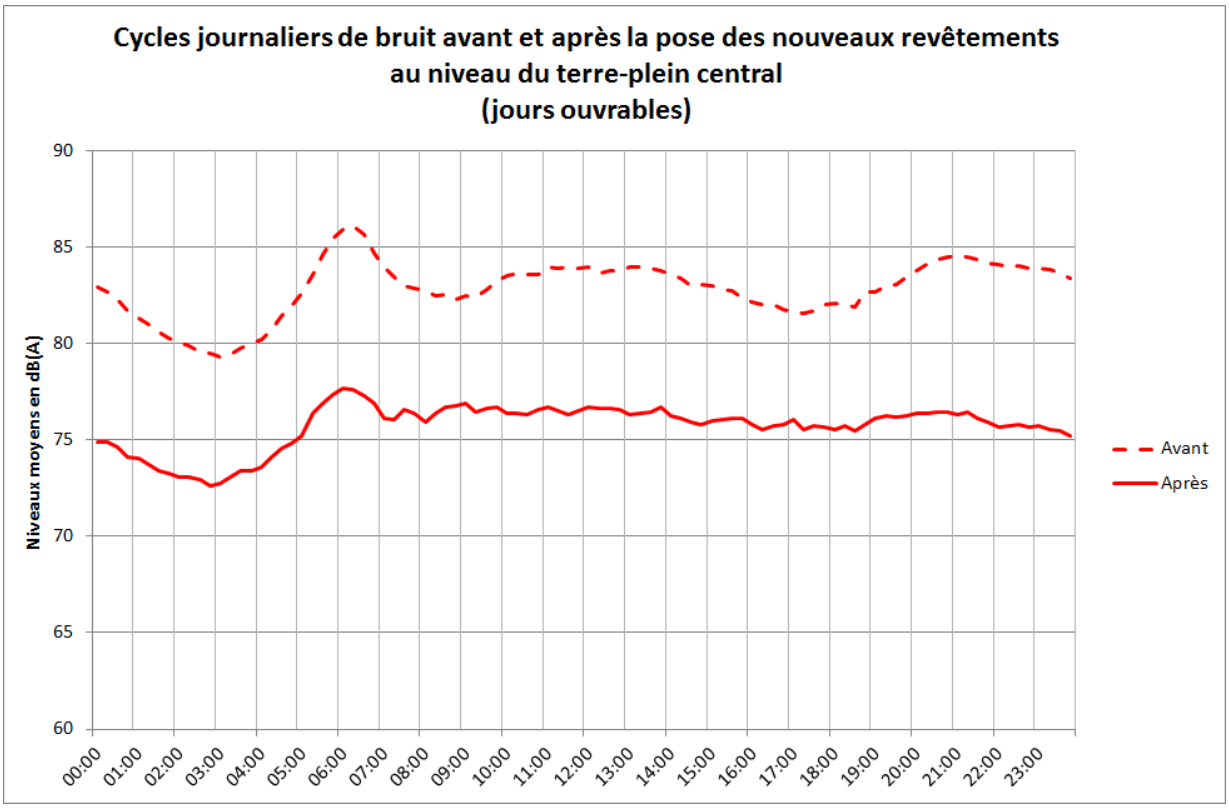


Figure 42 : Variation des niveaux au cours d'un jour ouvrable type avant et après la pose des revêtements en situation de proximité au trafic.

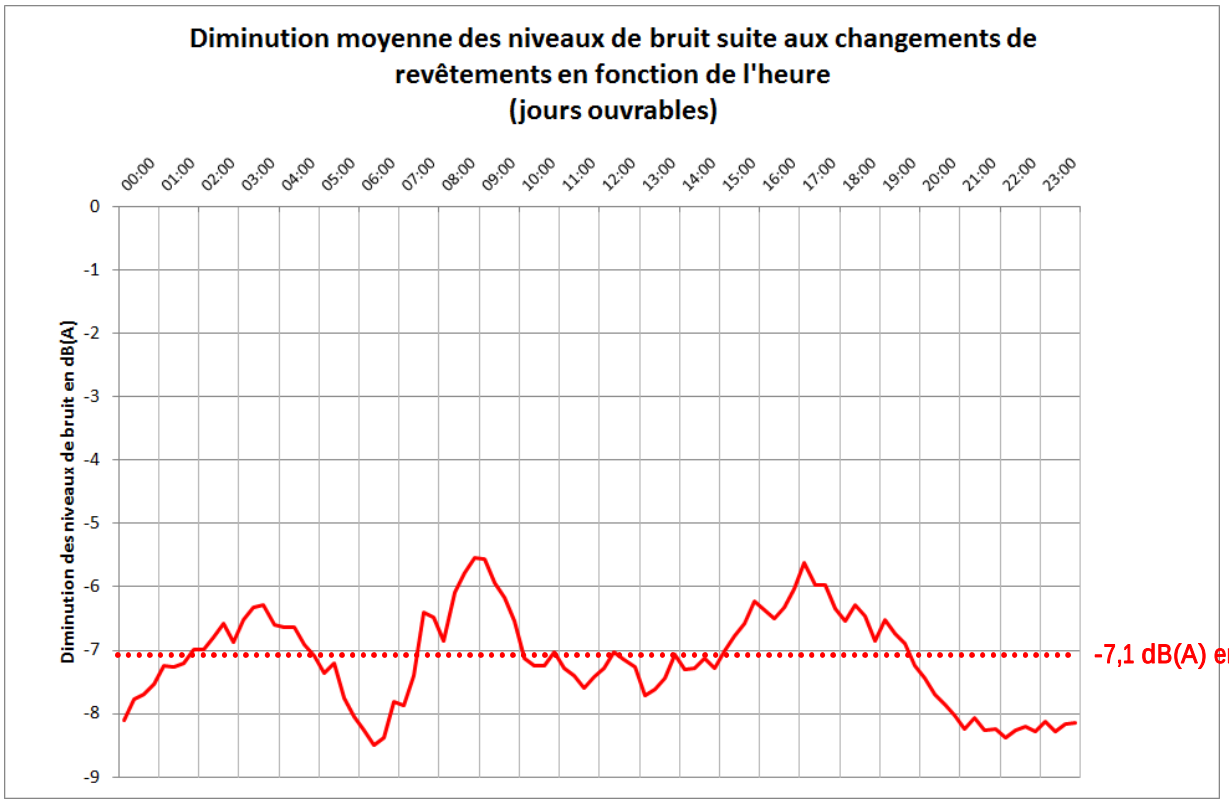


Figure 43 : Diminution des niveaux au cours d'un jour ouvrable type après la pose des revêtements en situation de proximité au trafic.

Jours de week-end

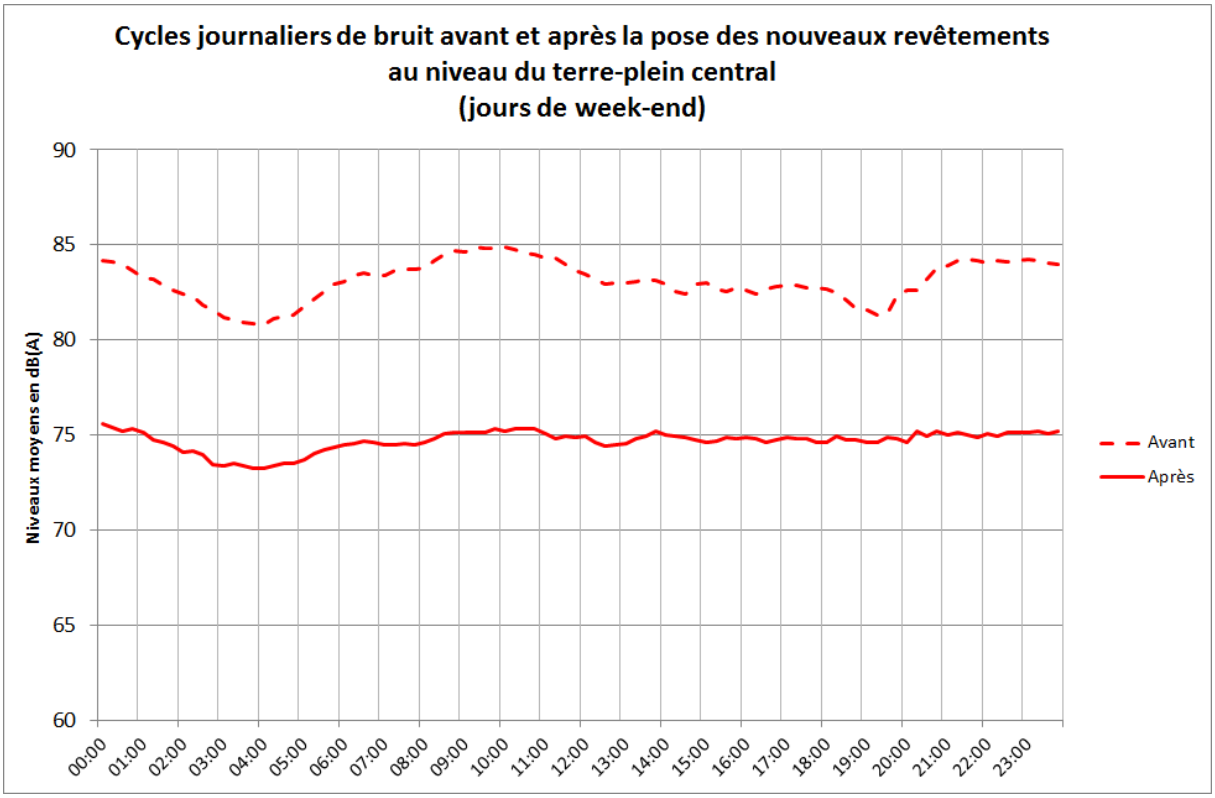


Figure 44 : Variation des niveaux au cours d'un jour week-end type avant et après la pose des revêtements en situation de proximité au trafic.

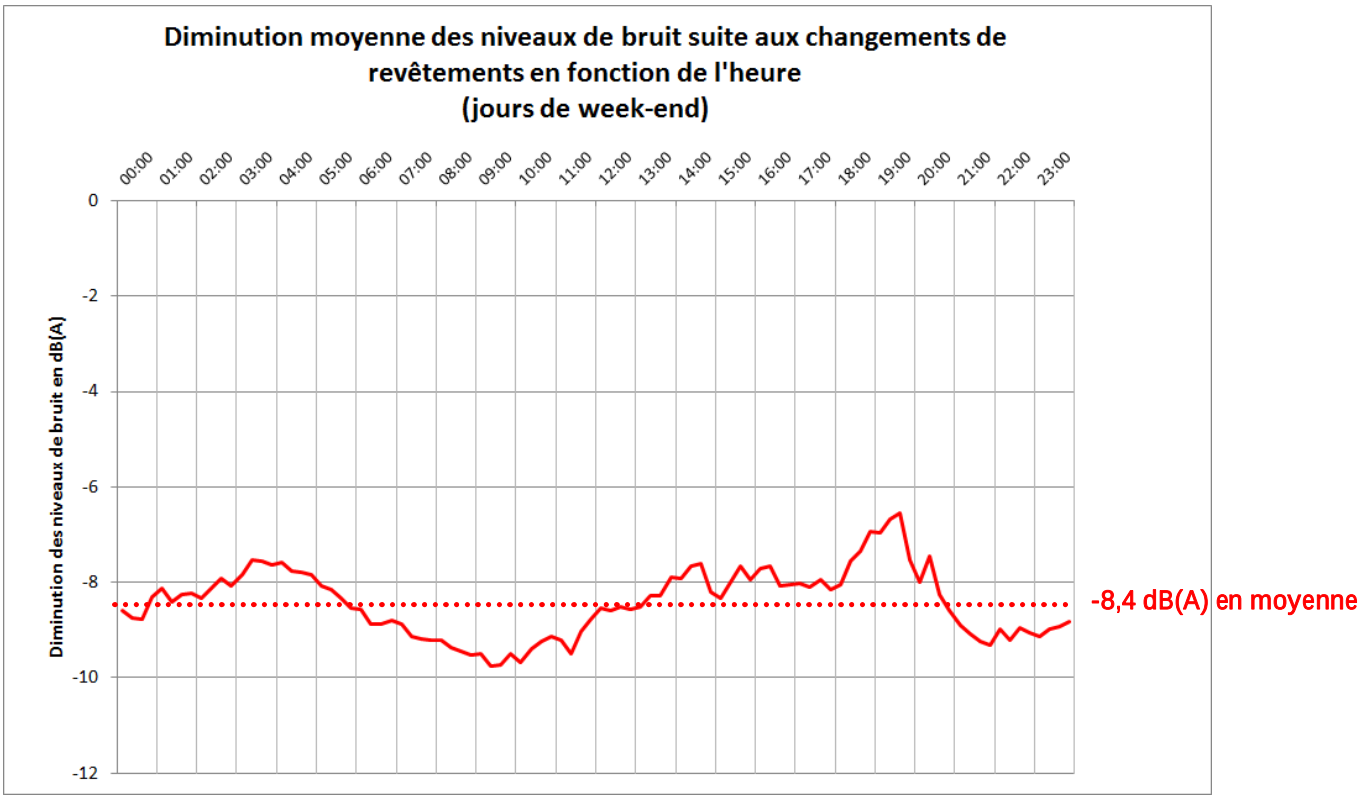


Figure 45 : Diminution des niveaux au cours d'un jour de week-end type après la pose des revêtements en situation de proximité au trafic.

On constate une diminution moyenne du bruit de l'ordre de -7,1 dB(A) pour les jours ouvrables et de l'ordre de -8,4 dB(A) pour les jours de week-ends en situation de proximité de la source (terre-plein central) ce qui correspond d'un point de vue de l'énergie acoustique à une réduction très importante (comme si le trafic était divisé par un facteur 5 à 7).

Par ailleurs, on constate que les diminutions les plus importantes sont intervenues aux heures où les niveaux de bruit étaient les plus élevés, ce qui est particulièrement intéressant. Ainsi on constate qu'entre 6h et 6h30 le matin les jours ouvrables, à la période où le bruit était le plus fort, les niveaux ont diminués de -8,5 dB(A) suite au changement de revêtement alors qu'ils n'ont baissé que de -5,5 dB(A) à 9h du matin, à une heure où la congestion est plus importante et où les bruits de moteur peuvent dans certains cas devenir prédominants par rapport aux bruits de roulement. Le même phénomène s'observe autour de 17h le soir les jours ouvrables ou entre 19 et 20h les jours de week-end.

4.5. Quantification des améliorations obtenues pour les automobilistes

Des enregistrements audionumériques à l'aide du casque Squadriga (cf. point 2.3) ont été réalisés à l'intérieur du véhicule laboratoire de Bruitparif, à une vitesse stabilisée de 50 km/h, en condition réelle de circulation sur le boulevard périphérique. Des passages ont été faits dans les deux sens de circulation, sur le boulevard périphérique intérieur et sur le boulevard périphérique extérieur.

Les enregistrements audio font clairement apparaître des différences significatives au passage sur les nouveaux revêtements. Les diminutions à l'intérieur du véhicule se situent ainsi autour de -5 à -7,5 dB(A) pour les passages sur le Nanosoft® (côté BPE) et autour de -3 à -4,5 dB(A) pour les passages sur le Rugosoft® (côté BPI). Bien entendu, le bruit perçu à l'intérieur d'un habitable de véhicule est la résultante de plusieurs types de bruits : les bruits émis par le moteur qui se transmettent à l'intérieur du véhicule, le bruit de roulement qui est atténué par rapport à l'extérieur, les bruits internes dans l'habitacle… La réduction du bruit à l'intérieur n'est donc pas directement proportionnelle à celle observée à la source dans l'environnement extérieur.

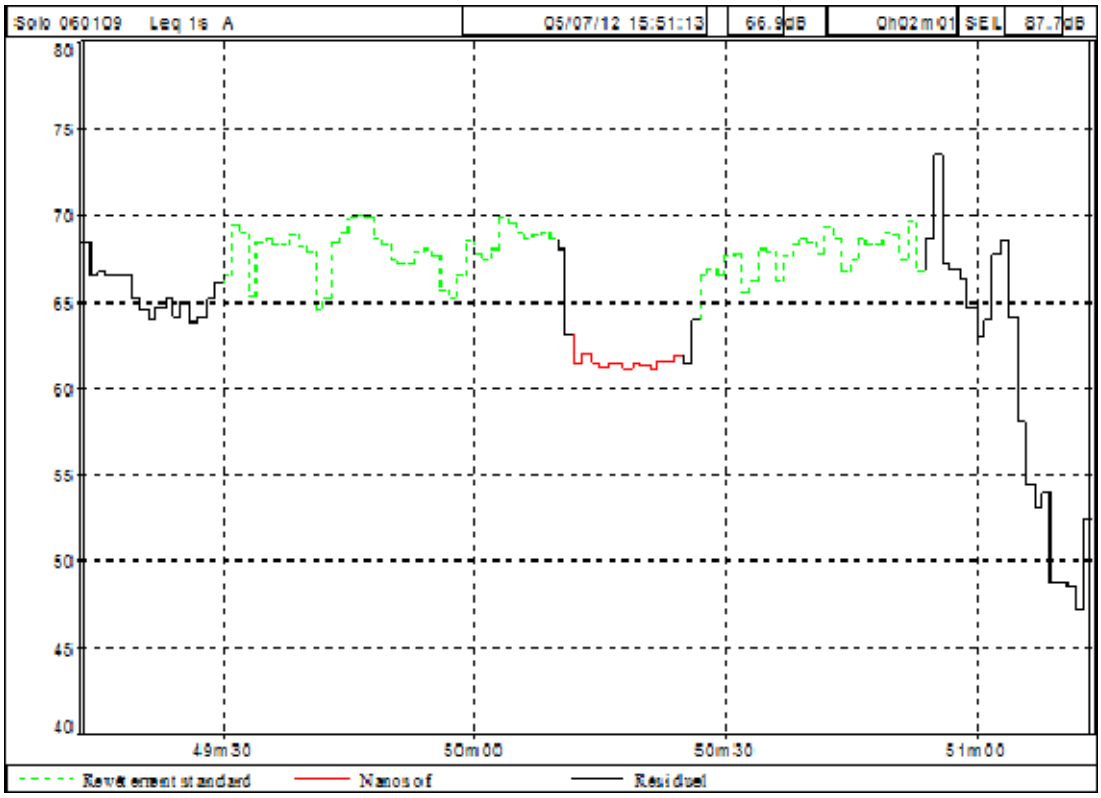


Figure 46 : Exemple d'évolution des niveaux sonores à l'intérieur de l'habitacle du véhicule Passage à 50 km/h sur le revêtement Nanosoft® BP extérieur : diminution de l'ordre de -7 dB(A).

Des exemples d'enregistrements audionumériques réalisés à l'intérieur du véhicule sont disponibles sur le site internet de Bruitparif.

Par ailleurs, l'analyse fréquentielle des niveaux de bruit enregistrés au roulage sur les différents revêtements (Nanosoft®, Rugosoft®, standard) fait apparaître des écarts importants dans la gamme 1000-2000 Hz (de l'ordre de -10 à -12 dB(A) pour le Nanosoft® et de l'ordre de -8 à -10 dB pour le Rugosoft® - cf. figures 47 à 50), ce qui, rappelons-le, correspond tout à la fois à la zone de sensibilité la plus forte de l'oreille humaine et également à la zone conversationnelle.

Analyse des différences en fréquences entre Nanosoft® et revêtement standard :

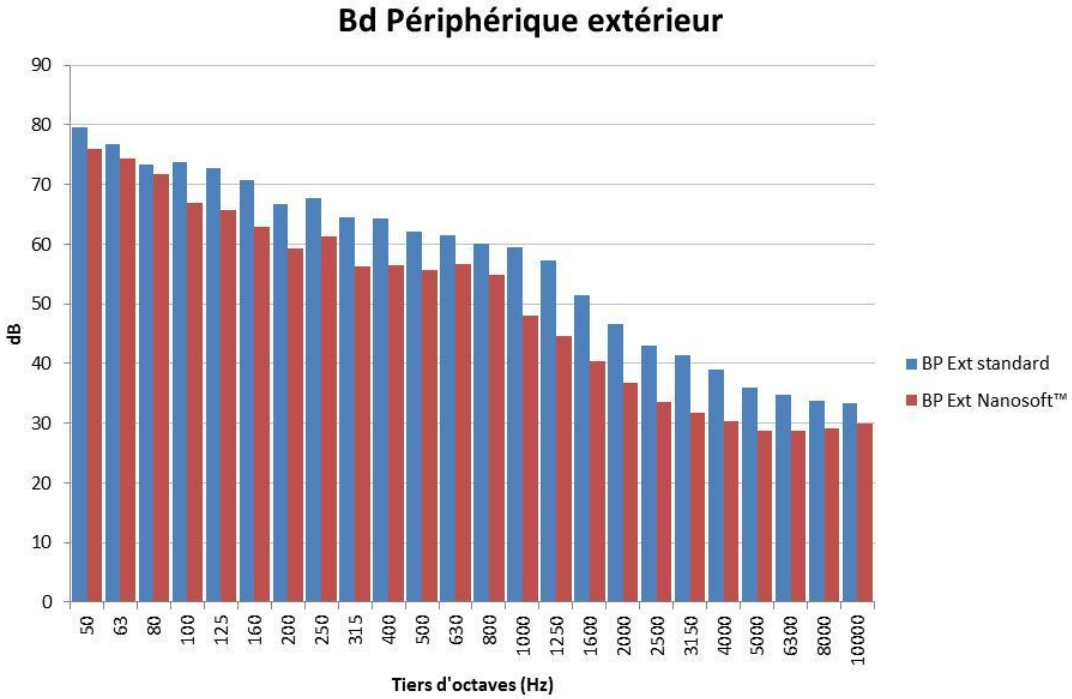


Figure 47 : Différence de spectre entre le bruit généré au passage sur l'ancien revêtement et le bruit généré au droit du nouveau revêtement Nanosoft® (au niveau du BPE).

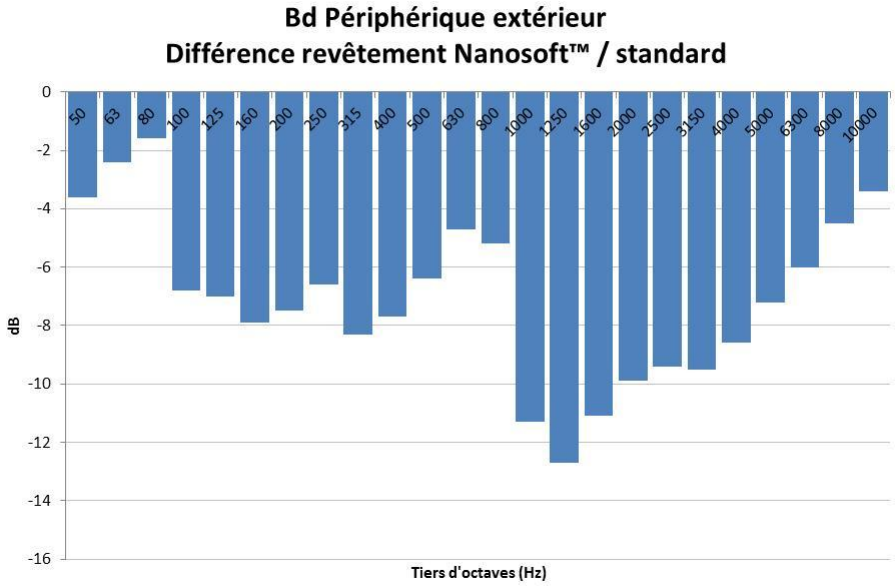


Figure 48 : Diminution des niveaux sonores au passage sur le revêtement Nanosoft® par rapport au revêtement standard.

Analyse des différences en fréquences entre Rugosoft® et revêtement standard :

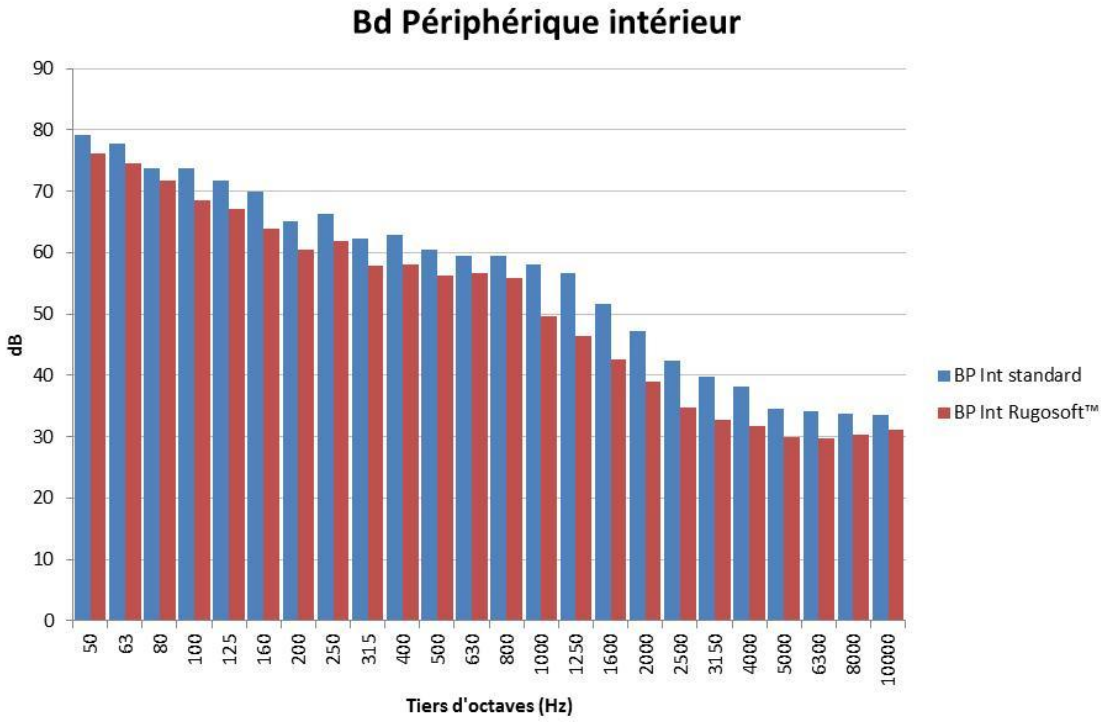


Figure 49 : Différence de spectre entre le bruit généré au passage sur l'ancien revêtement et le bruit généré au droit du nouveau revêtement Rugosoft® (au niveau du BPI).

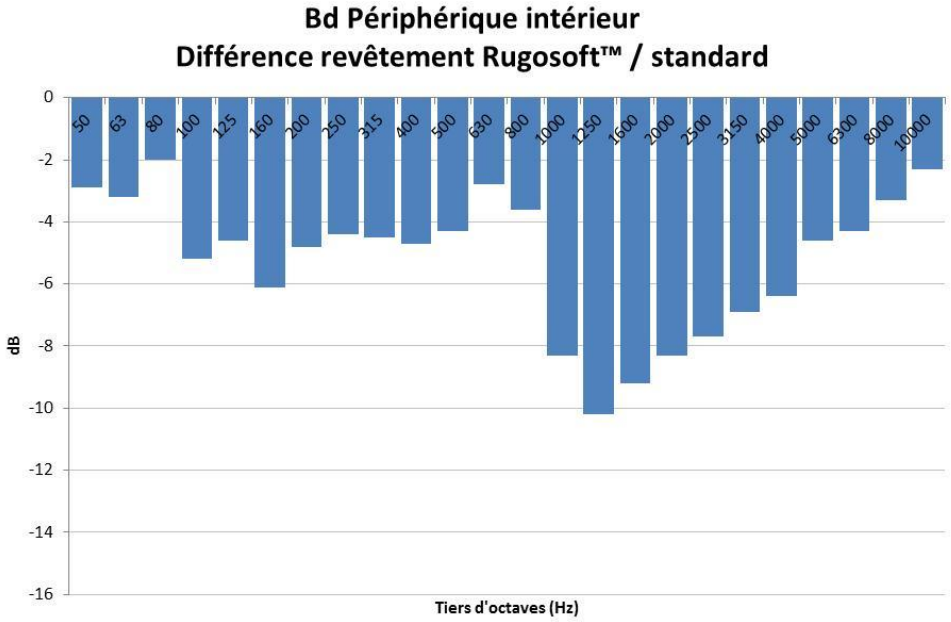


Figure 50 : Diminution des niveaux sonores au passage sur le revêtement Rugosoft® par rapport au revêtement standard.

4.6. Quantifications des améliorations obtenues en situation riverains

4.6.1. Evolution des niveaux de bruit moyens

Les figures suivantes présentent les évolutions des niveaux sonores mesurés chaque jour pour les périodes diurnes (22-6h) et nocturnes (6-22h) depuis le démarrage opérationnel des trois stations en situation « riverains » de la section expérimentale. On constate visuellement une diminution importante des niveaux survenus au cours de la période allant du 25 au 29 juin 2012 correspondante à la pose des nouveaux revêtements, particulièrement visible sur les stations l'Herminier et Tour Lagny.

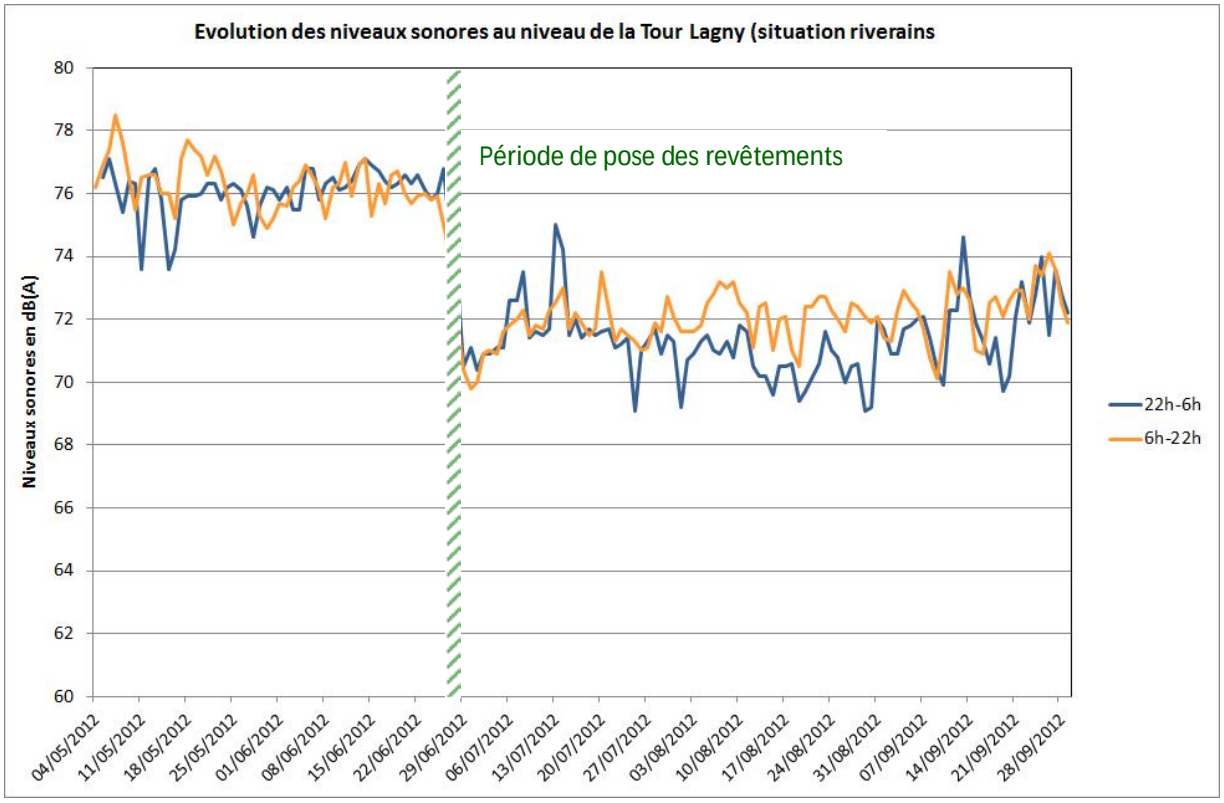


Figure 51 : Niveaux de bruit diurnes et nocturnes avant et après la pose des revêtements au niveau de la station de mesure située en façade de la Tour Lagny.

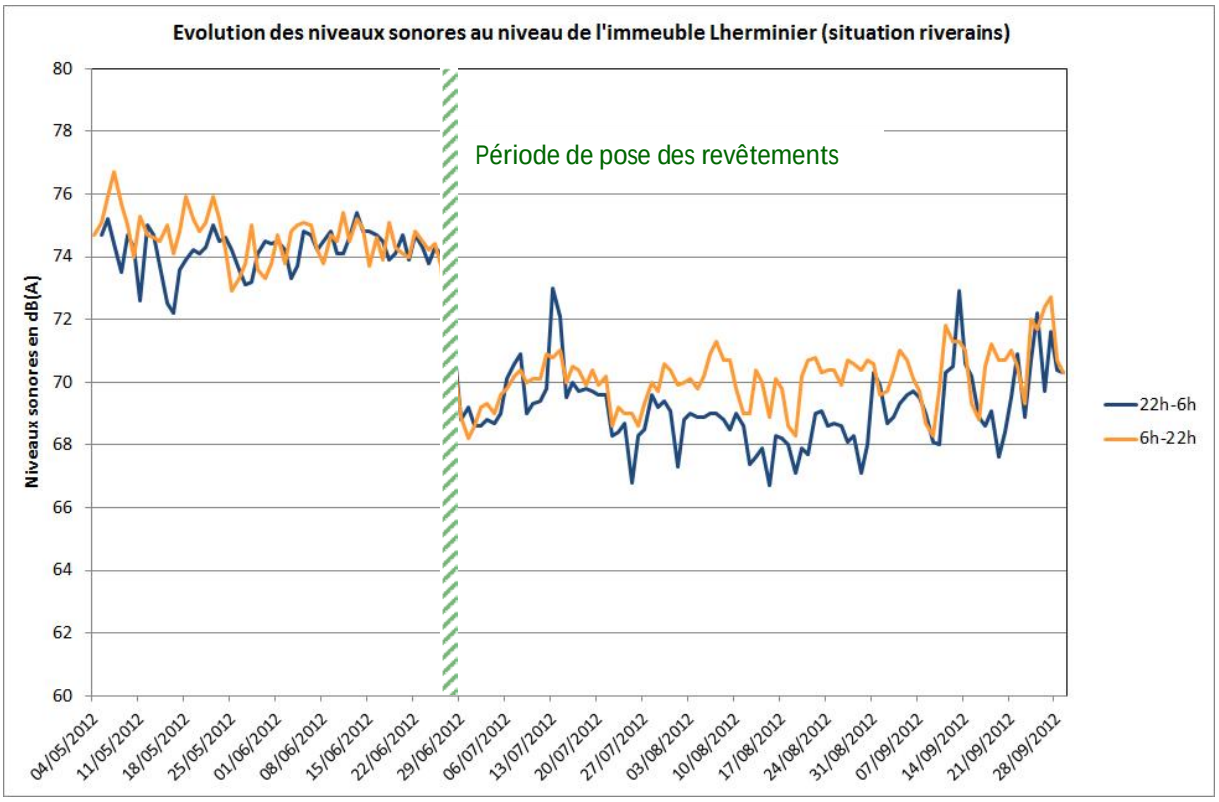


Figure 52 : Niveaux de bruit diurnes et nocturnes avant et après la pose des revêtements au niveau de la station de mesure située en façade de l'immeuble l'Herminier.

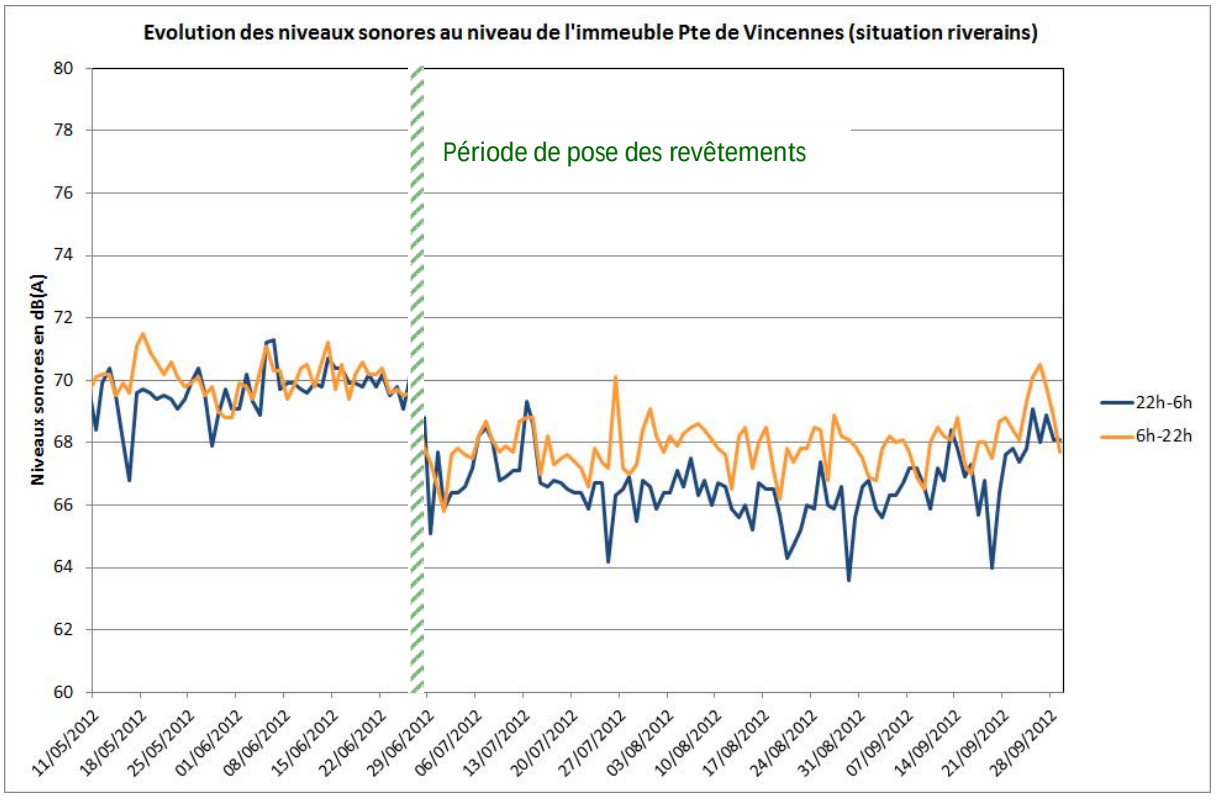
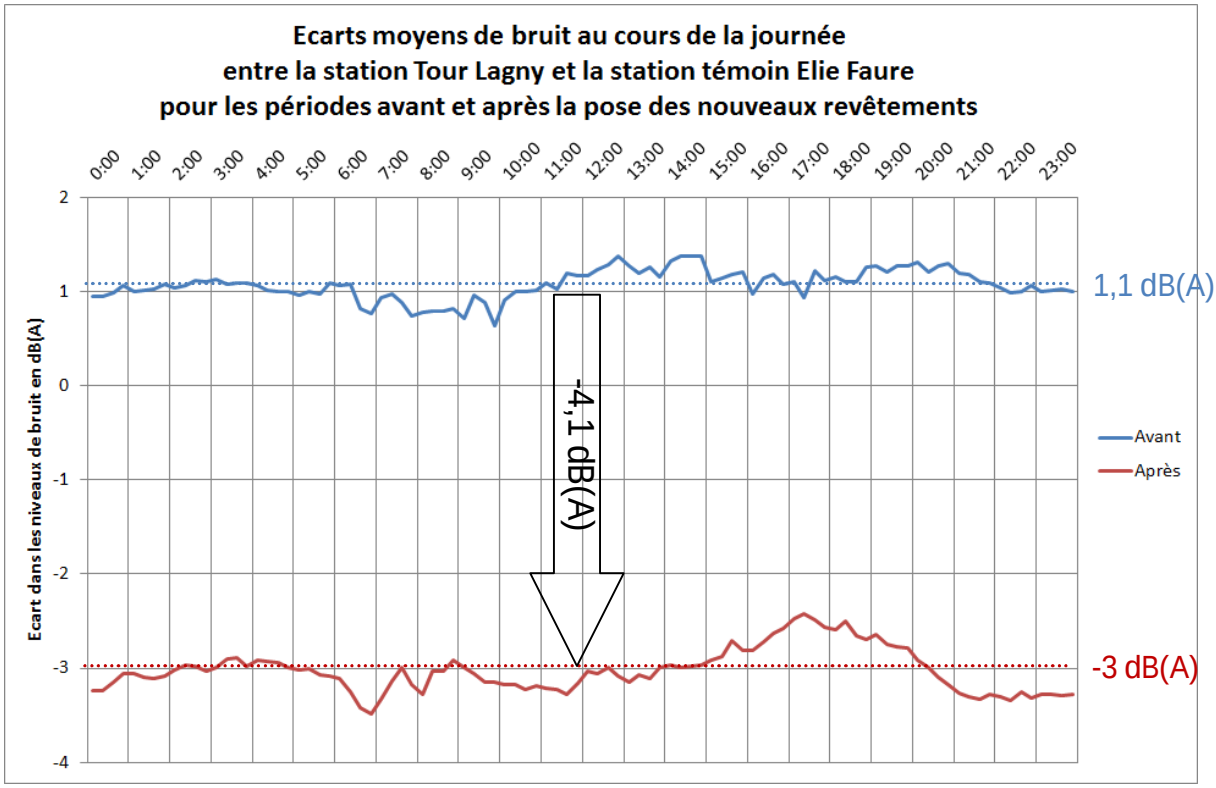
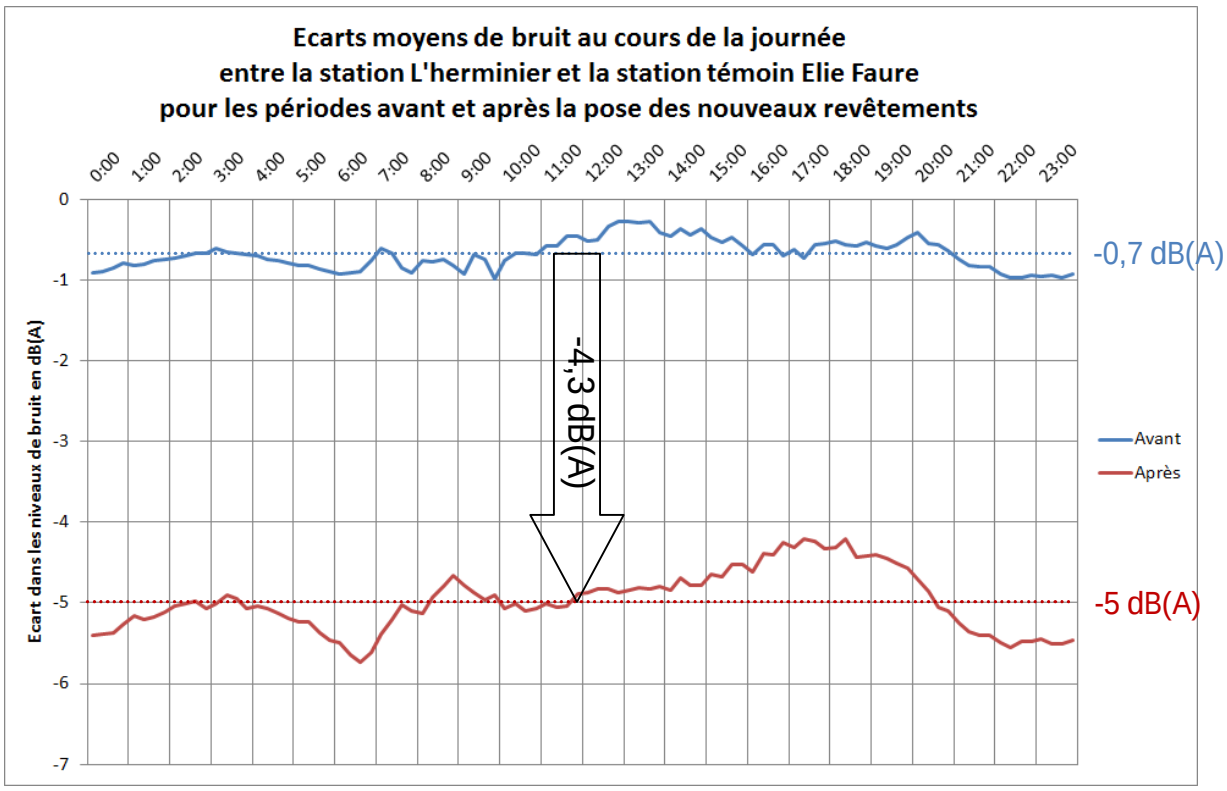


Figure 53 : Niveaux de bruit diurnes et nocturnes avant et après la pose des revêtements au niveau de la station de mesure située en façade de l'immeuble Porte de Vincennes.

Afin de quantifier la baisse moyenne de bruit obtenue pour chacune des stations « riverains » du fait des nouveaux revêtements, nous avons calculé pour chaque quart d'heure de la journée, l'écart constaté dans les niveaux de bruit entre chacune des stations « riverains » et la station témoin. Les graphiques qui suivent présentent ces résultats.





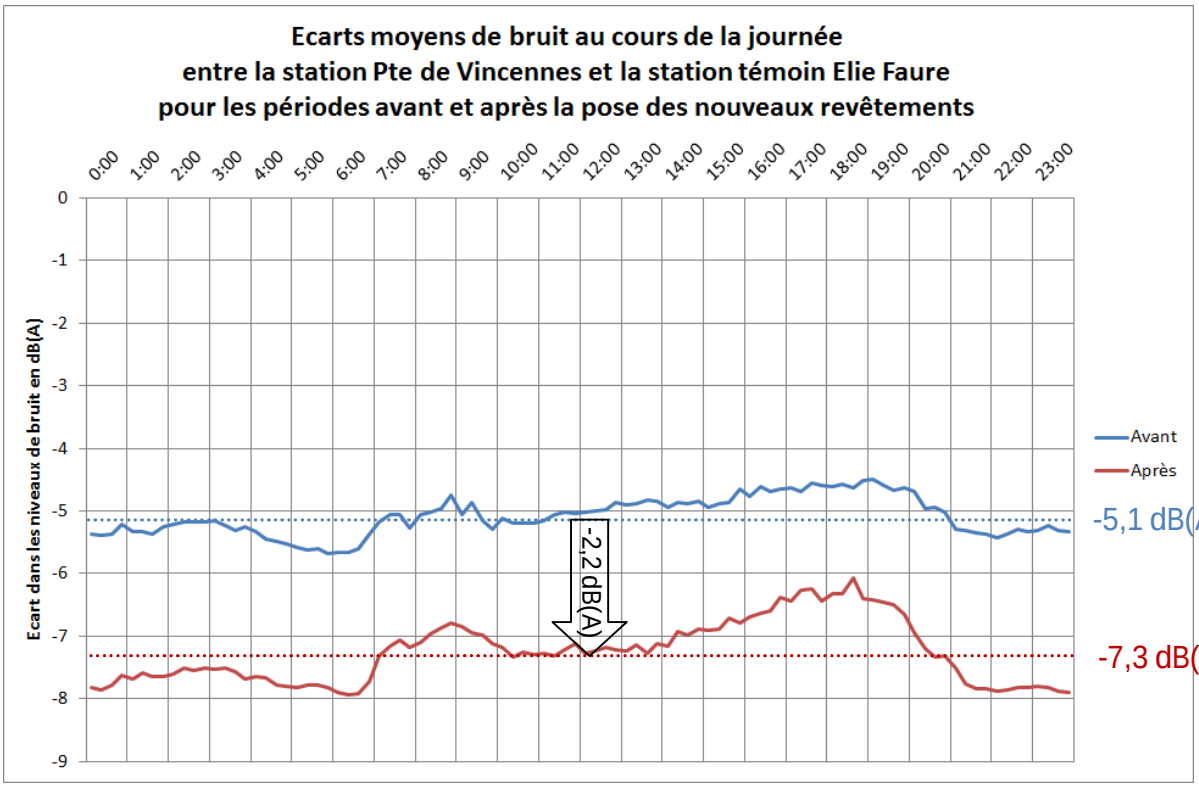


Figure 54 : Ecarts moyens de bruit au cours de la journée entre les stations « riverains » du secteur d'expérimentation et la station témoin.

Les baisses moyennes sont ainsi de -4,1 dB(A) en façade de l'immeuble l'Herminier, de -4,3 dB(A) en façade de la Tour Lagny et de -2,2 dB(A) en façade de l'immeuble situé porte de Vincennes. Ceci correspond à ce qui serait obtenu par une diminution du trafic de 30 à 70 %. Les améliorations obtenues sont donc tout à fait significatives en termes de baisse de l'énergie sonore. Cette amélioration ne se traduit pourtant pas par une amélioration proportionnelle au niveau de la sensation auditive. Rappelons ainsi qu'une diminution de -3 dB(A) est perceptible mais qu'il faut atteindre des diminutions de l'ordre de -5 dB(A) pour percevoir une différence nette de bruit et une diminution d'environ -10 dB(A) pour avoir l'impression d'un bruit divisé par deux.

Les immeubles qui ont vu leur situation le plus s'améliorer sont ceux situés les plus proches de la section expérimentale, à savoir la Tour Lagny et l'immeuble l'Herminier.

Bien que situé légèrement plus loin que la Tour Lagny par rapport au bd périphérique, l'immeuble l'Herminier présente des améliorations un peu plus importantes (-4,3 dB(A) de contre -4,1 dB(A) pour la Tour Lagny), ce qui témoigne probablement de l'efficacité acoustique renforcée du revêtement Nanosoft® qui a été posé sur le BPE par rapport au revêtement Rugosoft® qui a été posé sur le BPI.

La station située au niveau de l'immeuble Pte de Vincennes a vu quant à elle les niveaux sonores en façade diminuer plus faiblement en moyenne (-2,2 dB(A)) compte-tenu de son exposition combinée au bruit généré par l'avenue de la porte de Vincennes et par le boulevard périphérique.

4.6.2. Améliorations en termes d'indicateurs réglementaires

Les premières observations faites sur les stations au cours des trois premiers mois après la pose des nouveaux revêtements (entre fin juin et fin septembre 2012) semblent très encourageantes avec des diminutions constatées des différents indicateurs réglementaires comprises entre -2,1 et -4,9 dB(A) en façade des immeubles situés le long de la section d'expérimentation.

Le tableau suivant synthétise les baisses moyennes observées pour les indicateurs réglementaires pour les différentes stations « riverains » situées au niveau de la section d'expérimentation. Les figures 56 à 59 présentent ces résultats de manière graphique.

Code couleur						
rouge :	niveaux > VL + 5					
orange foncé :	niveaux compris entre VL + 3 et VL + 5					
orange clair :	niveaux compris entre VL et VL + 3					
jaune :	niveaux < VL					
	LAeq 6-22h			**LAeq 22-6h**		
	Tour Lagny	Lherminier	Pte de Vincennes	Tour Lagny	Lherminier	Pte de Vincennes
Avant en dB(A)	76,4	74,7	70,1	76,1	74,2	69,7
Après en dB(A)	72,1	70,2	68,0	71,5	69,3	66,8
Diminution en dB(A)	-4,3	-4,5	-2,1	-4,6	-4,9	-2,9
	Lden			**Ln**		
	Tour Lagny	Lherminier	Pte de Vincennes	Tour Lagny	Lherminier	Pte de Vincennes
Avant en dB(A)	79,6	77,8	73,2	73,1	71,2	66,7
Après en dB(A)	75,0	72,9	70,5	68,5	66,3	63,8
Diminution en dB(A)	-4,6	-4,8	-2,7	-4,6	-4,9	-2,9

Figure 55 : Valeurs des indicateurs réglementaires en façade des immeubles situés le long de la section d'expérimentation, avant et après la pose des nouveaux revêtements.

Evolution pour l'indicateur LAeq 6-22h

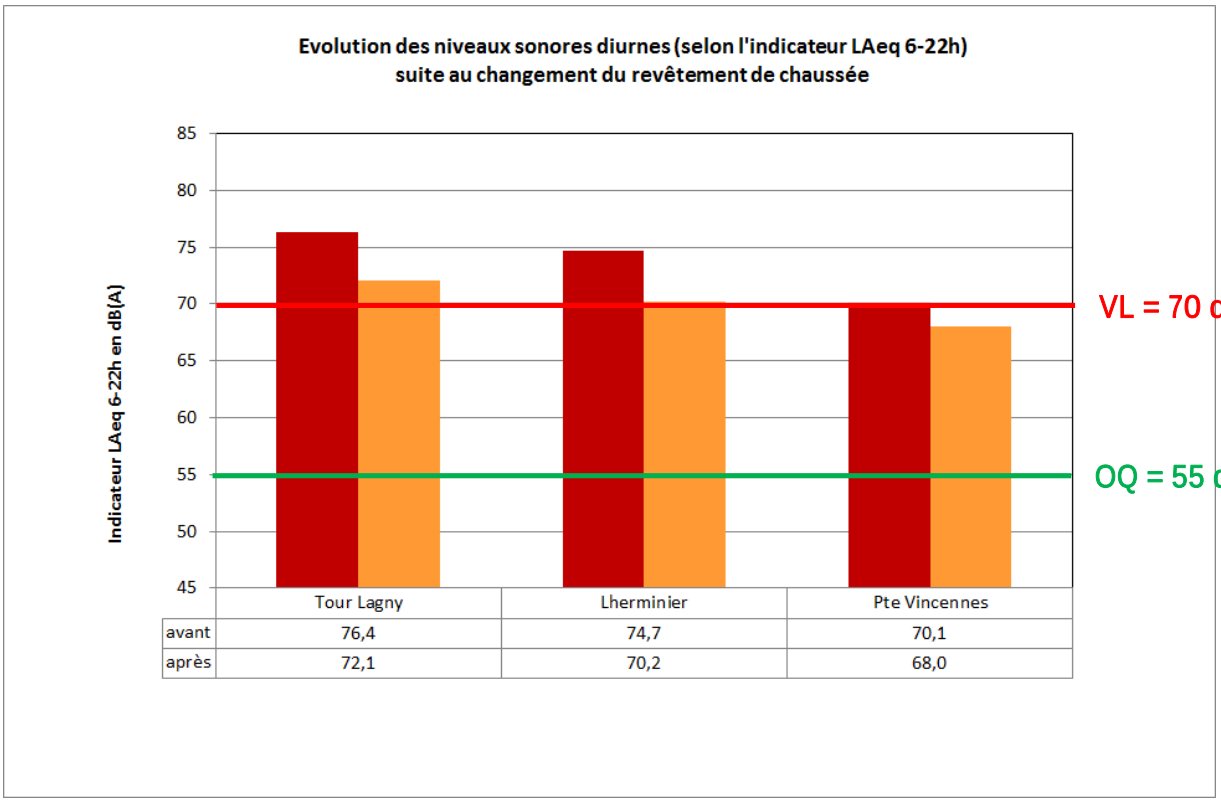


Figure 56 : Evolution de l'indicateur réglementaire LAeq 6-22h.

Evolution pour l'indicateur LAeq 22-6h

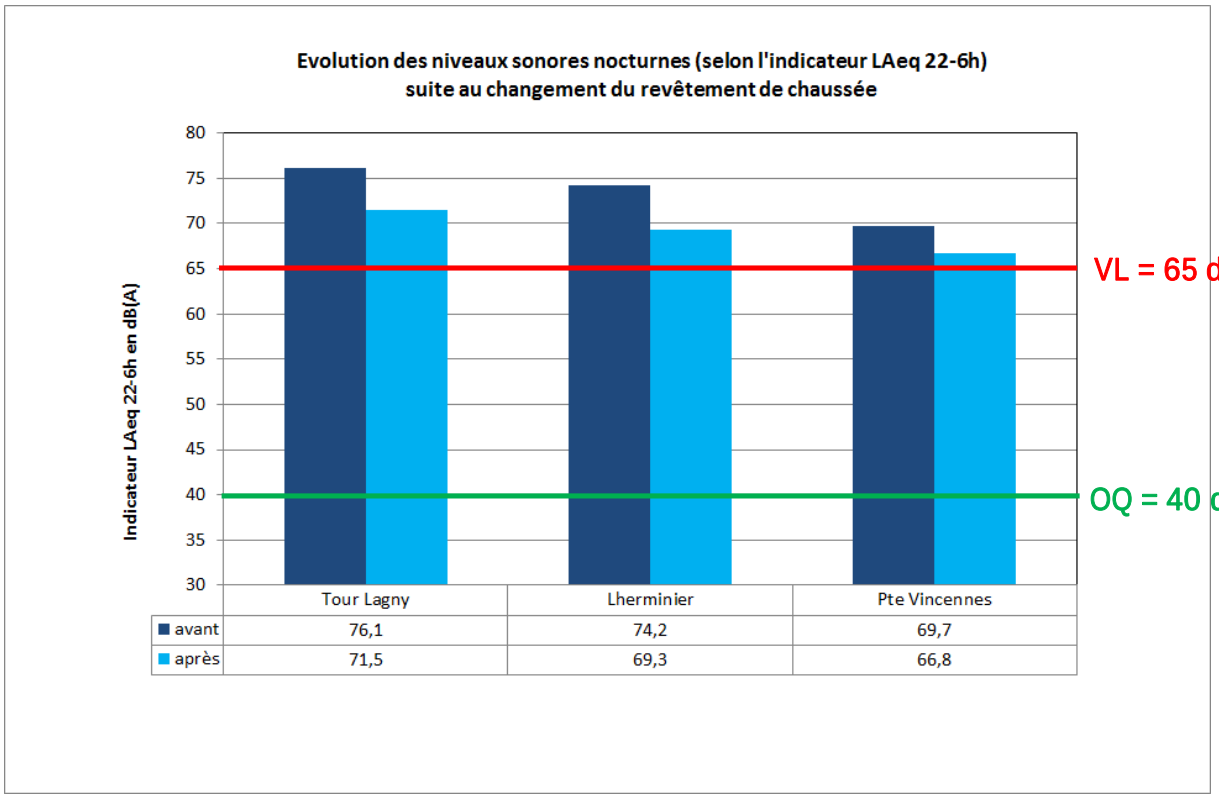


Figure 57 : Evolution de l'indicateur réglementaire LAeq 22-6h.

Evolution pour l'indicateur lden

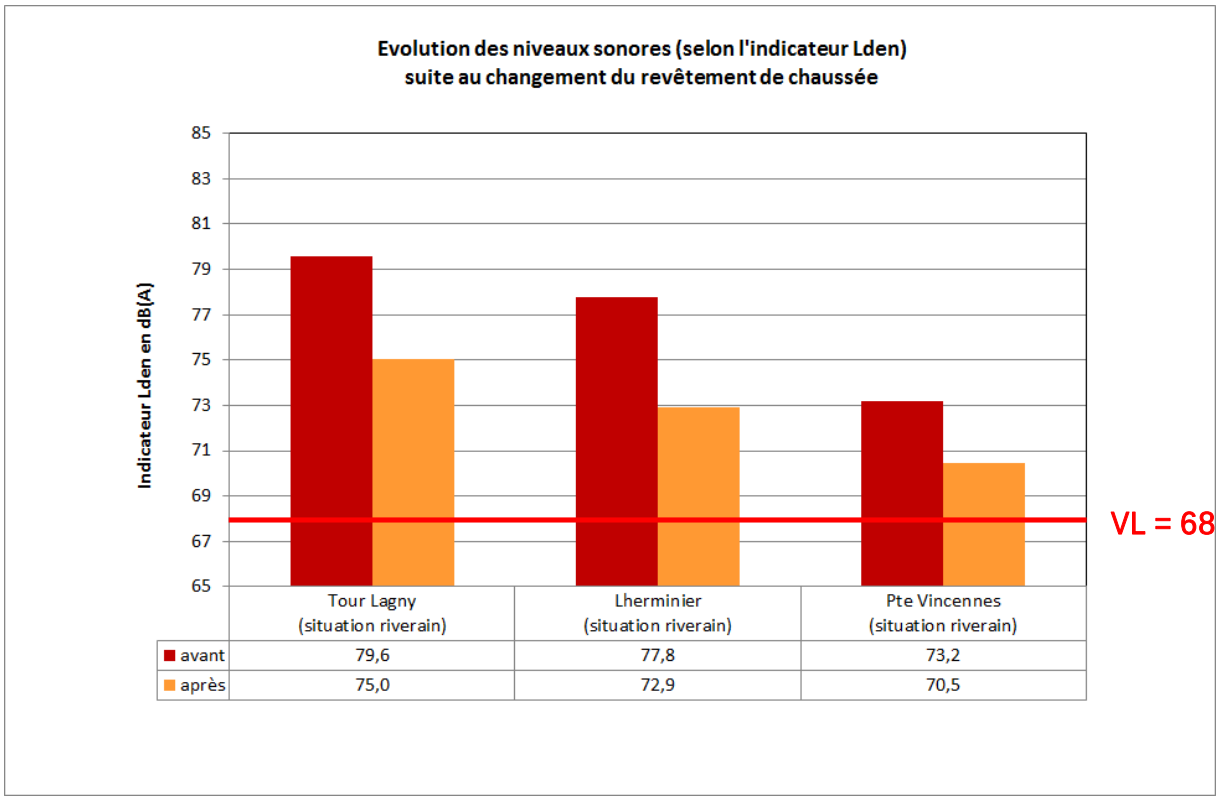


Figure 58 : Evolution de l'indicateur réglementaire Lden.

Evolution pour l'indicateur ln

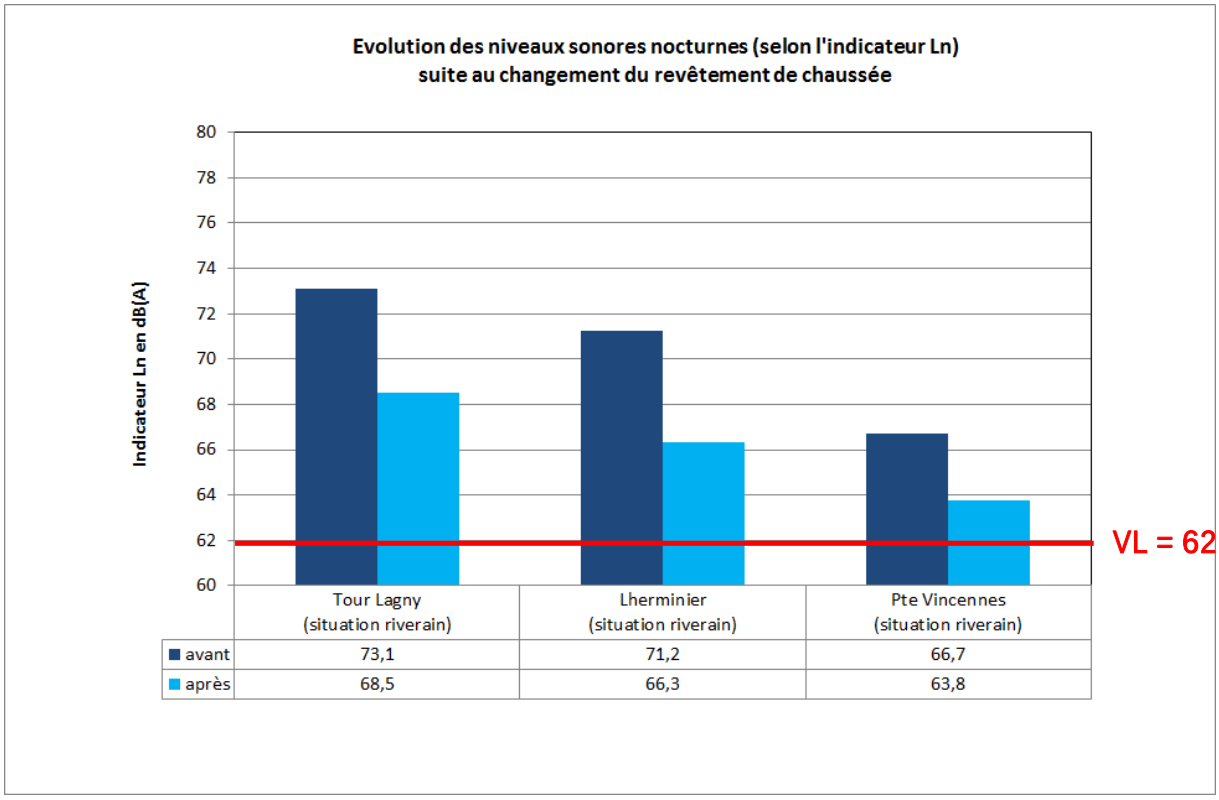


Figure 59 : Evolution de l'indicateur réglementaire Ln.

On constate ainsi des diminutions pour les différents indicateurs réglementaires de bruit en situation riverains qui vont de -2,1 à -4,9 dB(A).

Malgré ces baisses significatives des niveaux sonores, la situation en termes d'exposition des riverains les plus proches reste non satisfaisante. Ainsi, les valeurs limites sont encore dépassées de 2 à 6 dB(A) pour les indicateurs réglementaires nocturnes. En revanche, la situation est moins critique en ce qui concerne les niveaux diurnes dès lors que 2 des 3 stations « riverains » sur le secteur d'expérimentation ont vu leurs niveaux sur la période 6-22h passer sous le seuil réglementaire de 70 dB(A) (cas de l'immeuble Porte de Vincennes) ou en être très proche (cas de l'immeuble l'Herminier).

Une extrapolation des résultats de cette expérimentation à l'ensemble du boulevard périphérique (dans le cas où il y aurait généralisation de la pose de revêtements acoustiques) montre que les populations en situation de dépassements des valeurs limites pour les indicateurs Lden et Ln baisseraient respectivement de -22 % et de -39 % (cf. figure 60).

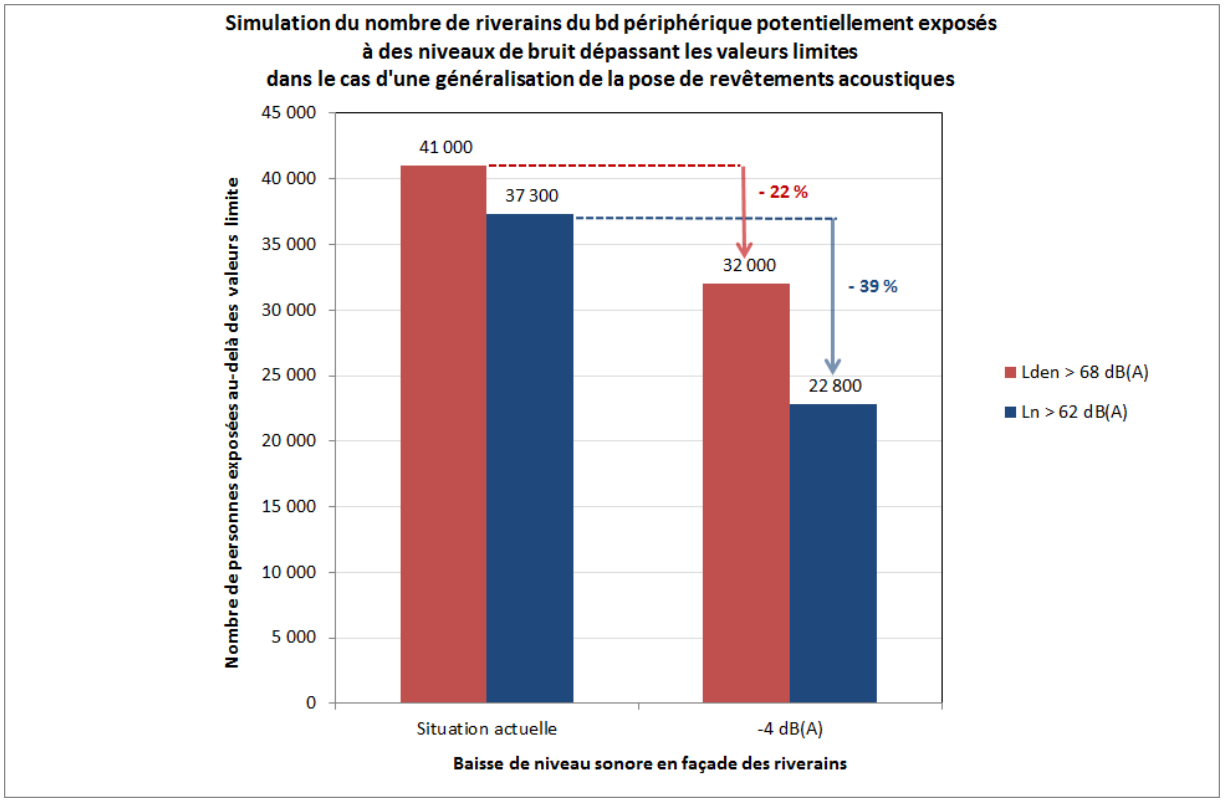


Figure 60 : Simulation de l'impact en termes de riverains du bd périphérique exposés à des niveaux excédant les valeurs limites en cas de généralisation des revêtements acoustiques.

4.6.3. Evolution des cycles de variations du bruit au cours de la journée

Les graphiques ci-après (figures 61 à 64) présentent les modifications des cycles des niveaux moyens quart-horaires de bruit mesurés au cours des jours ouvrables et des jours de week-end avant et après le changement des revêtements de chaussée, pour les stations « riverains » de la section expérimentale.

Jours ouvrables

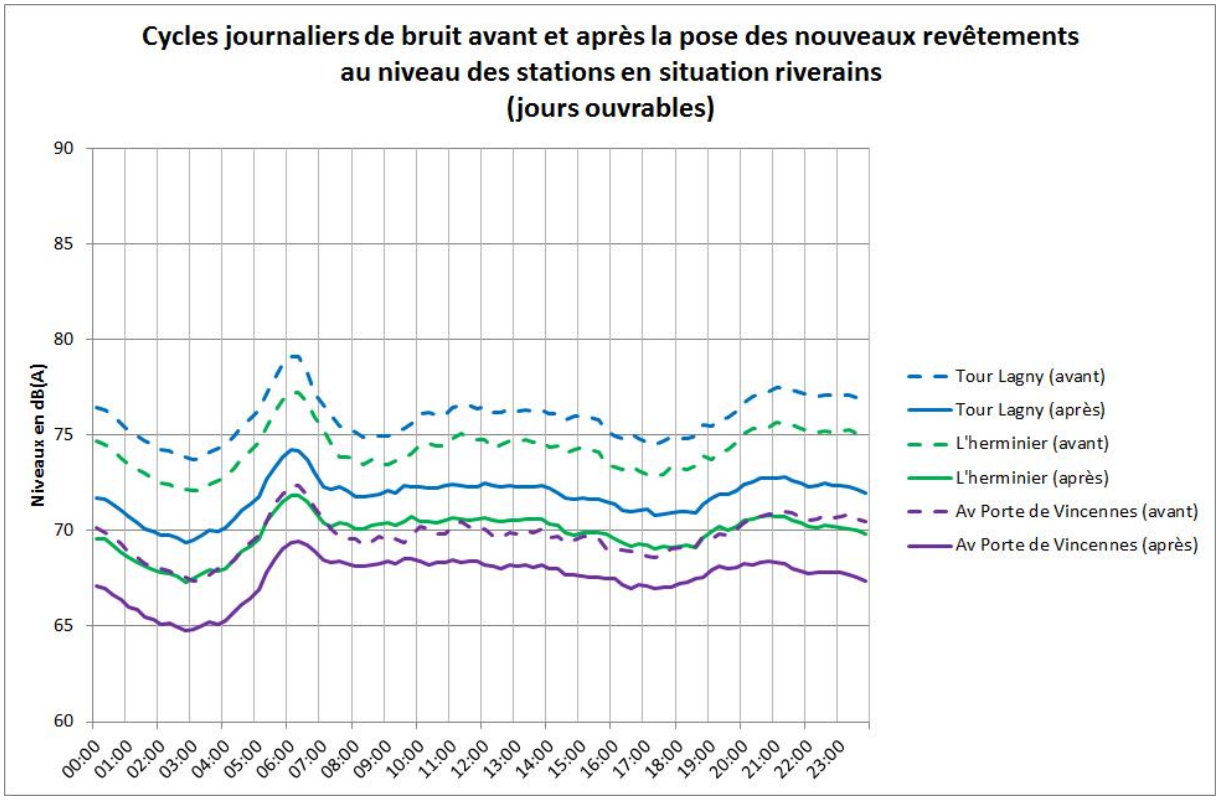


Figure 61 : Variation des niveaux au cours d'un jour ouvrable type avant et après la pose des revêtements en situation « riverains ».

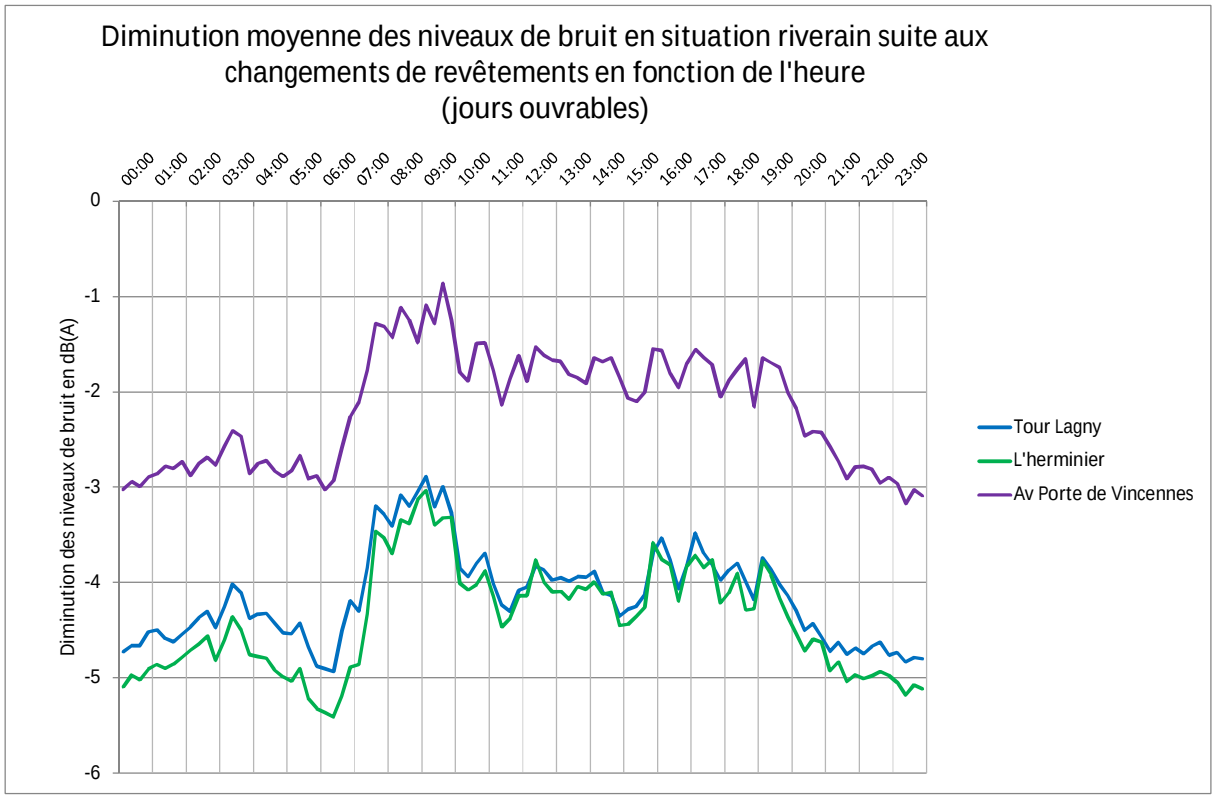


Figure 62 : Diminution des niveaux au cours d'un jour ouvrable type après la pose des revêtements en situation « riverains ».

Jours de week-end

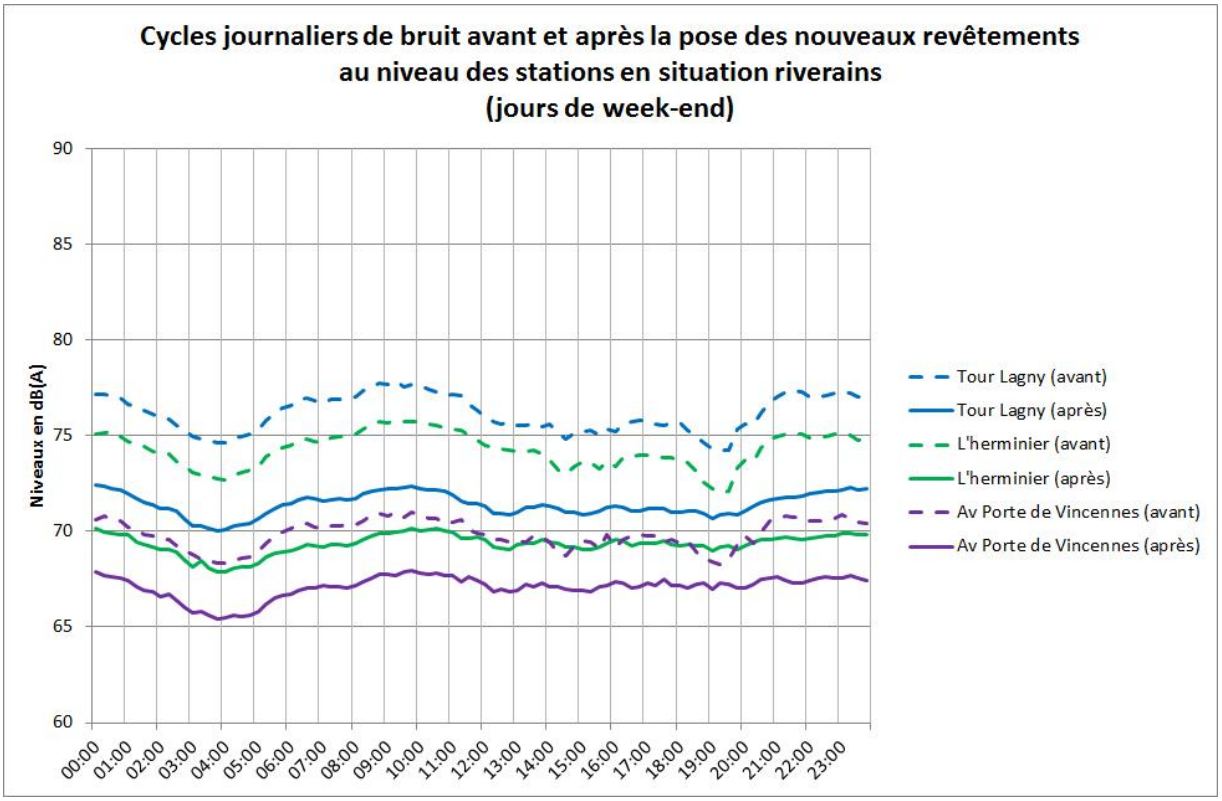


Figure 63 : Variation des niveaux au cours d'un jour de week-end type avant et après la pose des revêtements en situation « riverains ».

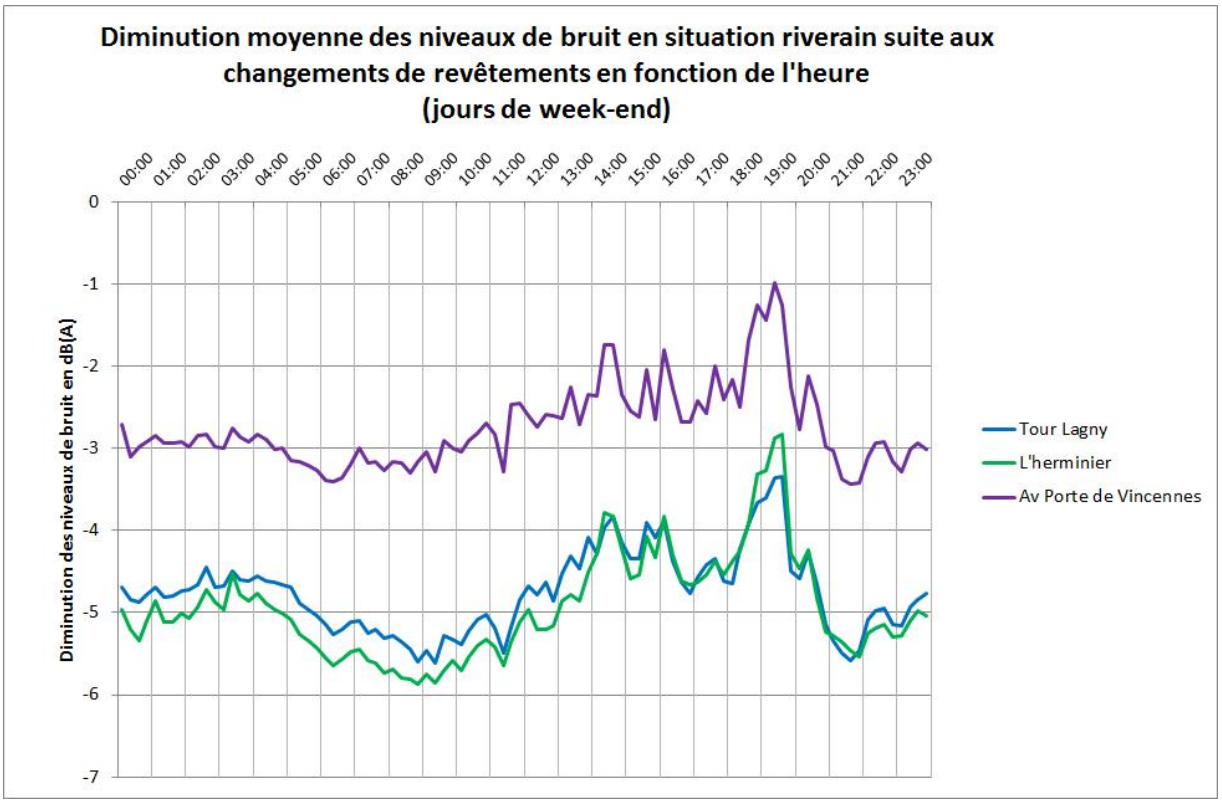


Figure 64 : Diminution des niveaux au cours d'un jour de week-end type après la pose des revêtements en situation « riverains ».

Ces graphes font apparaître que la baisse des niveaux en situation riverains apparaît quels que soient le type de jour (jour ouvrable ou week-end) et l'heure de la journée.

Par ailleurs, on constate que les diminutions les plus importantes sont intervenues aux heures où les niveaux de bruit étaient les plus élevés, ce qui est particulièrement intéressant. Ainsi on constate qu'entre 6h et 6h30 le matin les jours ouvrables, à la période où le bruit était le plus fort, les niveaux ont diminué de -4,9 et -5,4 dB(A) (cas de la Tour Lagny et de l'immeuble l'Herminier) suite au changement de revêtement.

Les diminutions les moins importantes s'observent à 9h du matin les jours ouvrables, à une heure où la congestion est plus importante et où les bruits de moteur peuvent dans certains cas devenir prédominants par rapport aux bruits de roulement. Le même phénomène s'observe autour de 17h le soir les jours ouvrables ou entre 19 et 20h les jours de week-end. Les baisses à ces périodes n'atteignent que de l'ordre de -3 dB(A) (cas de l'immeuble l'Herminier et de la Tour Lagny), ce qui reste toutefois significatif (-3 dB(A) correspondant à une énergie sonore divisée par deux).

Ces résultats montrent que, contrairement à certaines idées reçues, les revêtements restent efficaces même aux faibles vitesses et dans des situations congestionnées, bien qu'ils s'avèrent plus efficaces lorsque les vitesses sont plus élevées.

4.6.4. Evolution des composantes spectrales et de la sensation auditive

Des enregistrements audionumériques à l'aide du casque Squadriga (cf partie 3.2) ont été réalisés devant l'immeuble l'Herminier et devant l'immeuble Elie Faure (situation témoin) en situation riverains dans les mêmes conditions de circulation.

La différence obtenue entre les deux enregistrements correspond à un écart de l'ordre de 5 à 6 dB(A) en termes de niveau sonore, ce qui est cohérent par rapport aux données fournies par les stations de mesure.

Cette différence est sensible à l'oreille, comme en témoignent les enregistrements audionumériques qui sont disponibles sur le site internet de Bruitparif.

L'intérêt des enregistrements audionumériques réside dans la documentation du gain obtenu en termes de sensation auditive, notamment du fait que le son produit est moins perturbant à l'oreille.

En effet, lorsqu'on analyse la répartition fréquentielle des gains obtenus, on s'aperçoit que les diminutions sont les plus importantes (elles peuvent atteindre -7 dB en situation riverains) pour les fréquences comprises entre 1000 et 2000 Hz typiquement (cf. figures 65 et 66).

Or, rappelons-le, ces fréquences correspondent tout à la fois à la gamme des fréquences pour lesquelles l'oreille a la plus grande sensibilité et également au domaine de la zone conversationnelle (cf. figure 7 en partie 2.4).

Diminuer les niveaux sonores générés par la circulation dans ces fréquences permet donc tout à la fois d'améliorer la sensation auditive (le bruit paraît en quelque sorte moins « agressif » et plus sourd) et d'améliorer l'intelligibilité des conversations par diminution de l'effet de masque.

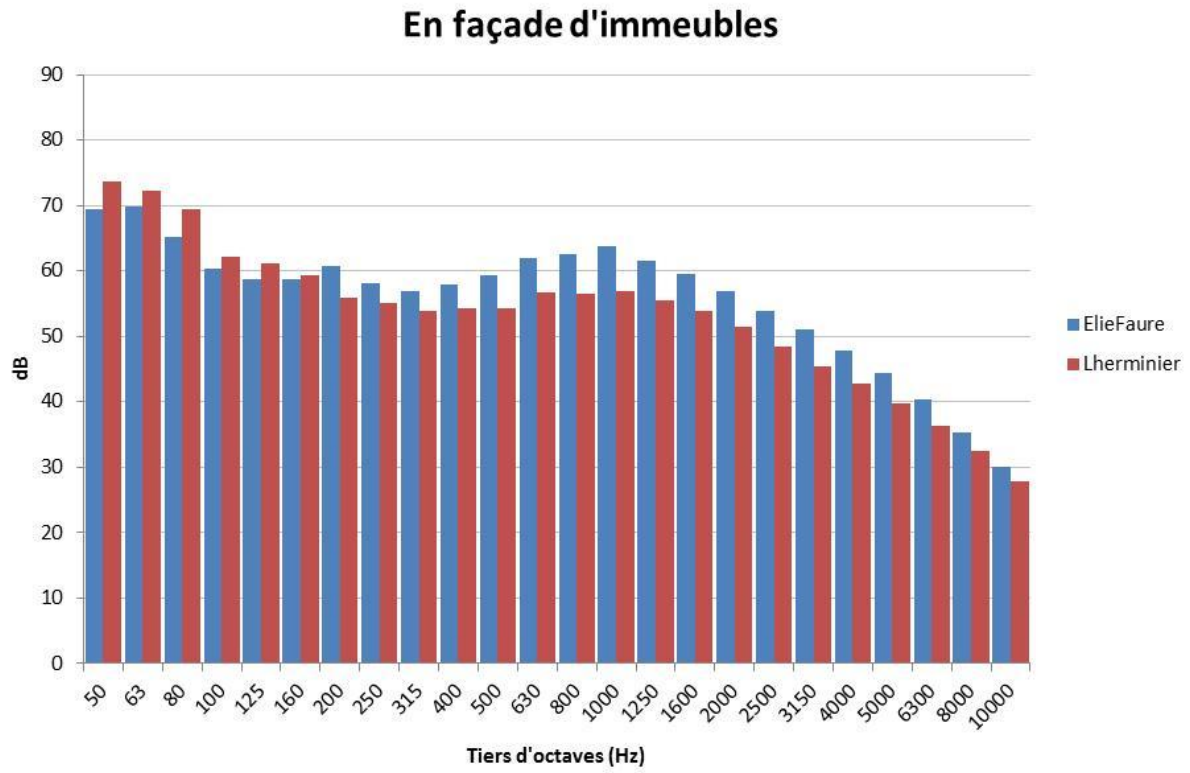


Figure 65 : Différence de spectre entre le bruit généré au droit de l'ancien revêtement (en situation riverain devant l'immeuble « témoin » Elie Faure) et le bruit généré au droit des nouveaux revêtements (en situation riverain devant l'immeuble l'Herminier).

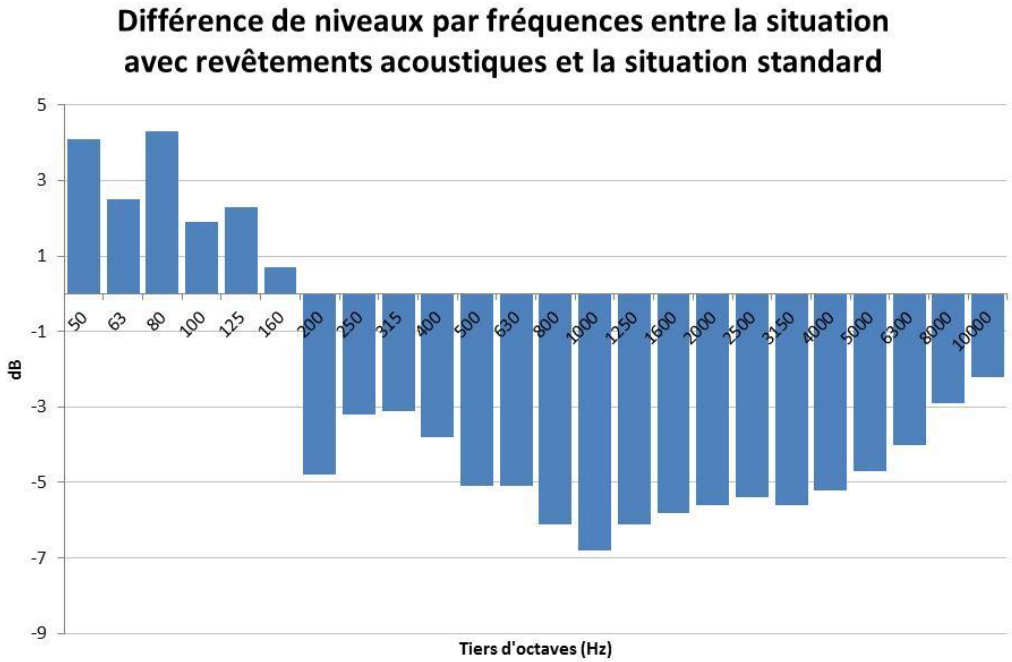


Figure 66 : Diminution des niveaux sonores par bande de tiers d'octave entre la situation riverains côté nanosoft® BPE devant l'immeuble l'Herminier et la situation riverains côté BPE devant l'immeuble « témoin » Elie Faure.

5. Conclusion

Ce rapport a présenté un premier bilan à trois mois de l'expérimentation de revêtements acoustiques sur le boulevard périphérique.

La diminution du bruit à la source a été en moyenne de -7,5 dB(A) d'après les résultats obtenus sur la station située au niveau du terre-plein central. Ces baisses de bruit sont tout à fait significatives et correspondent à ce qui pourrait être obtenu par une division par 6 du volume de circulation (toutes conditions égales par ailleurs).

En façade des riverains situés le long de la section d'expérimentation, le bruit a diminué de -2,2 à -4,3 dB(A) en moyenne selon les localisations. Les améliorations obtenues correspondent à ce qui pourrait être obtenu par une diminution du trafic de l'ordre de -30 à -70 %. Cette amélioration ne se traduit pourtant pas par une amélioration proportionnelle au niveau de la sensation auditive. Rappelons ainsi qu'une diminution de -3 dB(A) est perceptible mais qu'il faut atteindre des diminutions de l'ordre de -5 dB(A) pour percevoir une différence nette de bruit et une diminution d'environ -10 dB(A) pour avoir l'impression d'un bruit divisé par deux.

Les immeubles qui ont vu leur situation le plus s'améliorer sont ceux exposés de manière prépondérante au bruit généré par le bd périphérique et situés les plus proches de la section expérimentale, à savoir la Tour Lagny (-4,1 dB(A) en moyenne) et l'immeuble l'Herminier (-4,3 dB(A) en moyenne).

La station située au niveau de l'immeuble Pte de Vincennes a vu quant à elle les niveaux sonores en façade diminuer plus faiblement (-2,2 dB(A) en moyenne) compte-tenu de son exposition combinée au bruit généré par l'avenue de la porte de Vincennes et par le boulevard périphérique.

En termes d'indicateurs réglementaires, les baisses vont de -2,1 dB(A) à -4,9 dB(A) selon les localisations et les indicateurs.

Malgré ces améliorations significatives, la situation en termes d'exposition des riverains les plus proches reste non satisfaisante. Ainsi, les valeurs limites réglementaires sont encore dépassées de 2 à 6 dB(A) pour les indicateurs réglementaires nocturnes. En revanche, la situation devient moins critique quant aux niveaux diurnes puisque deux des trois stations en situation « riverains » présentent désormais des niveaux LAeq 6-22h inférieurs ou très proches du seuil réglementaire de 70 dB(A).

Une extrapolation des résultats de cette expérimentation à l'ensemble du boulevard périphérique (dans le cas où il y aurait généralisation de la pose de revêtements acoustiques) montre que les riverains du bd périphérique en situation de dépassements des valeurs limites pour les indicateurs Lden et Ln baisseraient respectivement de -22 % et de -39 %.

Lorsqu'on analyse la répartition fréquentielle des gains obtenus, on s'aperçoit que les diminutions sont les plus importantes (elles peuvent atteindre -7 dB en situation riverains) pour les fréquences comprises entre 1000 et 2000 Hz typiquement. Or, rappelons-le, ces

fréquences correspondent tout à la fois à la gamme des fréquences pour lesquelles l'oreille a la plus grande sensibilité et également au domaine de la zone conversationnelle. Diminuer les niveaux sonores générés par la circulation dans ces fréquences permet donc d'améliorer la sensation auditive (le bruit paraît en quelque sorte moins agressif) et d'améliorer l'intelligibilité des conversations par diminution de l'effet de masque. Pour les conducteurs, le phénomène est également bien perceptible avec un son atténué et plus sourd dans l'habitacle au passage sur les nouveaux revêtements.

Autre élément très intéressant : une baisse des niveaux apparaît quels que soient le type de jour (jour ouvrable ou week-end) et l'heure de la journée, ce qui tend à montrer que le revêtement est efficace pour tout type de conditions de circulation, même dans des situations congestionnées où les vitesses de circulation sont faibles.

On constate une diminution moyenne du bruit de l'ordre -7,1 dB(A) pour les jours ouvrables et de l'ordre de -8,4 dB(A) pour les jours de week-ends en situation de proximité de la source (terre-plein central). En fonction des heures, ces diminutions varient entre -5,8 et -9,9 dB(A).

Le même phénomène s'observe en situations riverains. Ainsi, à titre d'exemple, en fonction des heures et des types de jours, les diminutions varient entre -2,8 et -5,9 dB(A) pour les habitants de l'immeuble l'Herminier et de la Tour Lagny.

Les diminutions les plus faibles s'observent aux périodes de congestion importante (autour de 9h les jours ouvrables ou 19h les jours de week-ends) lorsque des vitesses de circulation sont faibles. Néanmoins, l'amélioration reste significative même dans ces conditions, ce qui suggère que les revêtements pourraient avoir une efficacité également sur les bruits de moteur.

Par ailleurs, les diminutions les plus importantes interviennent aux heures où les niveaux de bruit sont les plus élevés, ce qui est particulièrement intéressant. Ainsi, on constate qu'entre 6h et 6h30 le matin les jours ouvrables, à la période où il a été montré par les études que le bruit est le plus fort, les niveaux sont diminués de -8,5 dB(A) en situation de proximité à la source et de -4,9 dB(A) -5,4 dB(A) en situation riverains au niveau respectivement de la Tour Lagny et de l'immeuble l'Herminier.

Il ressort donc de ce premier bilan des résultats très encourageants quant à l'efficacité des revêtements acoustiques pour réduire l'exposition au bruit des riverains du boulevard périphérique. Il révèle néanmoins que des actions complémentaires doivent être envisagées pour atteindre un respect des valeurs réglementaires. Il apparaît en outre nécessaire de poursuivre l'analyse et le suivi pendant plusieurs mois encore afin de vérifier que les performances acoustiques et surtout les qualités mécaniques des nouveaux revêtements résistent bien à la charge très importante de trafic du boulevard périphérique.

Annexe 1 : Fiches techniques des produits rugosoft® et nanosoft® de Colas

NOTICE TECHNIQUE

Rugosoft®

Enrobé optimisé

Confort, sécurité : l'assurance Rugosoft®

Rugosoft® est un enrobé pour couche de roulement qui contribue, grâce à sa composition granulaire optimisée, à améliorer la sécurité, le confort des usagers et des riverains. Rugosoft® assure une adhérence élevée et des caractéristiques phoniques remarquables.

COLAS

La route avance

Rugosoft®

Enrobé optimisé

DÉFINITION

- **Rugosoft®** est un béton bitumineux mince ou très mince 0/6 mm, pour couche de roulement.
- Sa courbe granulométrique est continue et sa formule contient un taux élevé de petits gravillons.
- Rugosoft® utilise les fractions granulaires habituelles (0/2, 2/4, 4/6 mm).
- Le liant est obligatoirement un **Colflex®, N, PA, ou S**, selon les contraintes du chantier.

PROPRIÉTÉS

Les petits vides créés par sa formulation spécifique, apportent à Rugosoft® :

- des caractéristiques phoniques remarquables, même à faible vitesse, en absorbant les bruits de roulement des véhicules,
- une adhérence élevée, même par temps de pluie,
- une bonne tenue à l'orniérage, même sous fort trafic,
- une drainabilité de surface, évitant la formation de brouillard par temps de pluie,
- un aspect homogène et esthétique.

Nota : À travers le suivi de nombreux chantiers, sur plusieurs années de service, sous trafic lourd, on constate que les niveaux élevés des performances au jeune âge sont pérennes.
Rugosoft® est breveté sous le N° 03 02 792.

DOMAINES D'EMPLOI

- Ses qualités phoniques sont mises en évidence en zone périurbaine, mais également en zone urbaine, à plus faible vitesse (50 km/h).
- Ses caractéristiques d'adhérence sont une garantie de sécurité, dans les zones urbaines où le besoin de freinage est important (passages piétons, abords d'école, virages dangereux...).
- Il peut être appliqué sur des chaussées neuves ou pour l' entretien de chaussées usagées.

Nota : En BBTM, l'épaisseur moyenne est comprise **entre 2 et 3 cm**, avec une valeur minimale ≥ 1,5 cm en tout point.
En BBM, l'épaisseur moyenne est comprise **entre 3 et 4 cm**, avec une valeur minimale ≥ 2,5 cm en tout point.

NOTICE TECHNIQUE

CONSTITUANTS

GRANULATS

Les granulats sont conformes aux normes en vigueur (NF P 18-545 et NF EN 13043), pour les couches de roulement d'enrobés bitumineux. Leurs caractéristiques intrinsèques et de fabrication devront répondre aux trafics et contraintes du chantier, ainsi qu'aux spécifications du marché.

LIANT

- L'**utilisation d'un liant Colflex®** (bitume modifié par des polymères de type SBS), est indispensable pour :
  - assurer la cohésion des gravillons entre eux et éviter les arrachements sous l'effet de la circulation ;
  - éviter l'égouttage du liant durant le transport, grâce à sa viscosité élevée ;
  - posséder une plage de températures de service supérieure à celle d'un bitume pur ;
  - obtenir les propriétés viscoélastiques permettant d'encaisser des déformations répétées.
- Le **Colflex® S** est utilisé lorsque les contraintes du chantier sont sévères (trafic élevé, lent, lourd, avec tracé en pente, virages, etc.).
- Dans d'autres cas, on utilisera un **Colflex® N ou PA**.

FABRICATION ET MISE EN ŒUVRE

- La composition de l'enrobé (formule granulaire, type de Colflex®, teneur en liant) est définie et validée par des études de laboratoire.
- Les enrobés Rugosoft® sont fabriqués dans tout type de centrales.
- Les températures d'enrobage sont fonction du type de Colflex® choisi et des conditions du chantier (temps de transport, conditions météorologiques...).
- Si le support est trop déformé, un reprofilage préalable peut s'imposer.
- Une couche d'accrochage est indispensable, Rugosoft® étant poreux.
- Compte tenu des épaisseurs de mise en œuvre, de la formulation (à fort taux de gravillons) et du pourcentage de vides nécessaire aux propriétés de Rugosoft®, un compactage au cylindre lisse est suffisant.
- L'enrobé fabriqué ne doit pas être stocké en trémie.
- La mise en œuvre est effectuée au finisseur.
- Les camions sont bâchés et leurs bennes sont calorifugées pour des transports lointains.

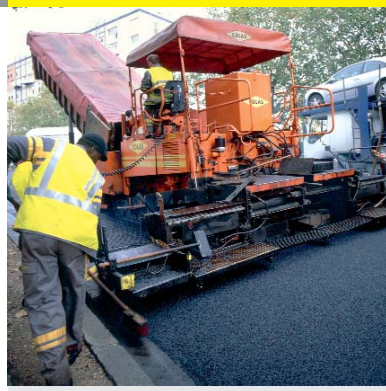
Les Rugosoft®

- Enrobé phonique
- Adhérence élevée
- Évite la formation de brouillard par temps de pluie
- Résiste bien à l'orniérage
- Supporte des trafics élevés
- Esthétique et homogène

Rugosoft®

Enrobé optimisé

NOTICE TECHNIQUE



RÉCOMPENSES

- Rugosoft® a obtenu en 2004 un **certificat de bon comportement**, après un suivi sur plusieurs années dans le cadre de la Charte de l'Innovation, décerné par le Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement.
- Rugosoft® a reçu différents prix pour l'excellence de ses performances : l'Award de l'IRF (International Road Federation) en 2004 et le décibel d'Or du Ministère de l'Environnement en 2005.

ETUDE DE LABORATOIRE

La validation de la formule passe par le respect des spécifications du tableau ci-dessous :

Essais		Rugosoft®
P.C.G. (NF EN 12697-31) % de vides à 25 girations	spécifications valeur type	20 ≤ V ≤ 25 23,5
Sensibilité à l'eau (NF EN 12 697-12) Rapport Immersion / Compression i/C		≥ 85
Orniérage (NF EN 12697-22), en %, à 60 °C, 5 cm d'épaisseur, au Colflex S		
	3000 cycles 30000 cycles	≤ 3 ≤ 5

PERFORMANCES CHANTIERS

- Elles sont fonction du type de Colflex®, des granulats, de la formule que l'on aura choisis.
- On peut proposer des Rugosoft® clairs ou colorés à base de liant de synthèse Bituclair®. On cumule ainsi les qualités de l'enrobé Rugosoft® et celles des enrobés Végéclair®.
- Les mesures de Coefficient de Frottement Longitudinal (CFL) effectuées sur chantier se situent dans le haut du fuseau national tous revêtements, même après plusieurs années de service, démontrant ainsi une adhérence de haut niveau et pérenne.
- L'enrobé Rugosoft® est 100 % recyclable en fin de vie.
- Exemples de mesures de bruit obtenues sur chantier après plusieurs années de service :

Mesures de bruit, in situ		Rugosoft® 0/6 mm
Mesures en VI, NF EN ISO 11819-1, à 20°C,	à 90 km/h à 50 km/h	70,7 dB(A) 64,8 dB(A)
Mesures en CPX, norme XP S31 145-1,	à 90 km/h à 50 km/h	92,0 dB(A) 84,0 dB(A)

Nota : En moyenne, Rugosoft® est moins bruyant de 5 à 8 dB(A) qu'un BBSG.

COLAS

7, place René Clair - 92653 Boulogne-Billancourt Cedex
Tél. : 01 47 61 75 00 – Fax : 01 47 61 74 72
www.produitscolas.com

COLAS se réserve à tout moment le droit d'apporter des modifications aux caractéristiques indiquées.
Document non contractuel - Octobre 2011.

NOTICE TECHNIQUE

Nanosoft®

Enrobé phonique

Nanosoft® crée le silence

Nanosoft® absorbe les bruits générés par la circulation des véhicules, de façon spectaculaire et durable, pour le confort des usagers et des riverains.
Nanosoft® possède également un niveau d'adhérence élevé, une drainabilité de surface, une bonne tenue à l'orniérage et un aspect esthétique et homogène remarquable.

COLAS

La route avance

Nanosoft®

Enrobé phonique

DÉFINITION

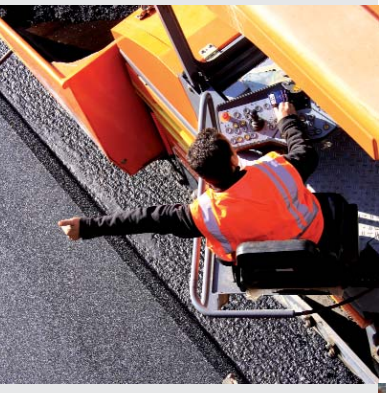
- Nanosoft® est un béton bitumineux mince ou très mince, de granularité 0/4 mm pour couche de roulement.
- Sa composition granulaire spécifique, riche en gravillons, permet de créer de nombreux petits vides qui piègent les sons émis par la circulation des véhicules et atténuent très fortement les niveaux sonores perceptibles. Nanosoft® se classe comme le plus efficace des revêtements dans ce domaine.
- L'absorption du bruit est optimale pour des épaisseurs d'enrobés comprises entre **30 et 35 mm**.

PROPRIÉTÉS

- Outre ses **performances phoniques exceptionnelles** (même à faible vitesse), Nanosoft® présente une **adhérence élevée** grâce à la multiplication des points de contact entre le pneu et la chaussée (formule à taux élevé en granulats).
- Cette structure de surface permet d'éviter la formation de brouillard par temps de pluie, renforçant ainsi la sécurité et le confort des usagers de la route.
- Sa faible granularité en fait un revêtement de texture très homogène et d'**aspect esthétique**.

DOMAINES D'EMPLOI

Nanosoft® peut être appliqué sur chaussées neuves ou en entretien, sous tout type de trafic, en zone urbaine ou périurbaine, quelle que soit la vitesse autorisée. Même pour des vitesses ≤ 50 Km/h, Nanosoft® reste phoniquement très efficace.



CONSTITUANTS

GRANULATS

La qualité des granulats sable et filler doit être conforme aux normes en vigueur pour les couches de roulement (NF P 18-545 et NF EN 13043), compte tenu des contraintes et du trafic du site. Pour les trafics ≥ T I, il est conseillé de choisir des granulats classés au moins **B III**.

CONSTITUANTS (SUITE)

LIANT

- Le liant utilisé pour Nanosoft® est obligatoirement un Colflex® :
  - Colflex® S pour les revêtements soumis à des trafics élevés et/ou subissant de fortes sollicitations, notamment en cisaillement.
  - Colflex® N ou PA dans les autres cas.
- Le choix du type de Colflex® doit être validé par le Service Technique de Colas.
- Son dosage est fonction de la granularité et de la masse volumique des granulats. Il est déterminé et optimisé après l'étude de formulation réalisée par le laboratoire de Colas.

FABRICATION ET MISE EN ŒUVRE

- Selon la formule et les granulats choisis, l'absorption du bruit est optimale pour des épaisseurs d'enrobés comprises entre 30 et 35 mm. Nanosoft® rentre dans la catégorie des enrobés en couches minces ou très minces :
  - **BBTM** : épaisseur moyenne de 2 à 3 cm et minimale en tout point ≥ 1,5 cm.
  - **BBM** : épaisseur moyenne de 3 à 4 cm et minimale en tout point ≥ 2,5 cm.
- Selon l'état du support, un reprofilage peut être nécessaire, pour respecter l'épaisseur nominale de mise en œuvre de Nanosoft®.
- Les règles de l'art habituelles liées à la fabrication et à l'application des bétons bitumineux minces ou très minces doivent être appliquées.
- La bonne exécution de la couche d'accrochage est primordiale. Elle est réalisée par les moyens habituels. Le liant utilisé est une émulsion de bitume pur ou modifié suivant le type de chantier. Le dosage est adapté à l'état et à la porosité du support, il est d'au moins 300 g/m² de liant résiduel.
- Tous les types de centrales d'enrobage peuvent être utilisés pour fabriquer Nanosoft®.
- La température d'enrobage est fonction du liant employé. Elle est fixée par Colas.
- Pour le transport de l'enrobé, les camions sont obligatoirement bâchés.
- La mise en œuvre est effectuée au finisseur. Le sablage de l'enrobé et l'application manuelle seront autant que possible limités.
- L'atelier de compactage se compose d'un ou de plusieurs cylindres lisses de type VT 0 ou VT I pouvant vibrer pour les points particuliers. Le nombre de passes est déterminé par Colas.

Les + Nanosoft®

- Réduction exceptionnelle des bruits de roulement
- Adhérence élevée
- Drainabilité de surface
- Revêtement esthétique
- Durabilité des propriétés phoniques et d'adhérence
- Sans additif
- Pour tous trafics

Nanosoft®

Enrobé phonique

NOTICE TECHNIQUE

ETUDE DE FORMULATION

La formule retenue doit répondre aux spécifications du tableau ci-dessous et être validée par le Service Technique de Colas.

Essais	Nanosoft®
P.C.G. (NF EN 12697-10 et 31) % de vides à 200 girations	23 ≤ V ≤ 30
Essai Duriez (NF EN 12697-12) Sensibilité à l'eau	≥ 80
Orniérage (NF EN 12697-22), en %, à 60 °C, 5 cm d'épaisseur, au Colflex S à 30 000 cycles	≤ 10

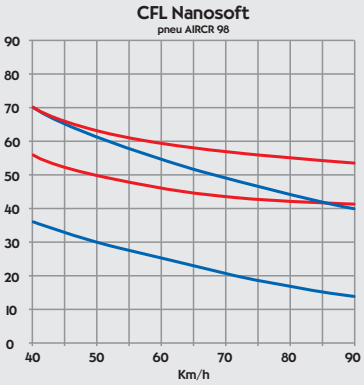
PERFORMANCES CHANTIERS

RUGOSITÉ

Les PMT mesurées sur site, selon la norme NF EN 13036-1, ont des valeurs comprises entre 0,4 et 0,8 mm, selon la formule et la forme des matériaux.

ADHÉRENCE

- La macrotexture ne caractérise pas à elle seule l'offre d'adhérence et la drainabilité de surface de Nanosoft®.
- Les coefficients de frottements longitudinaux (CFL), à toutes les vitesses, montrent que Nanosoft® présente un niveau d'adhérence élevé et pérenne.



Fuseau tous revêtements
Fuseau Nanosoft®

MESURES DE BRUIT :

- Les mesures de bruit en véhicules isolés (VI), effectuées selon la norme NF EN ISO 11819-1 (90 km/h et 20°C), donnent un LA max de 70 dB(A) en moyenne.
- Les performances acoustiques mesurées en CPX, selon la norme NF XP S 31-145-1, à 20°C, micro ISO, donnent les valeurs suivantes :
  - à 50 km/h : 84 dB(A)
  - à 70 km/h : 88 dB(A)
  - à 90 km/h : 92 dB(A)
- Quelques valeurs moyennes de mesures réalisées en VI à 90 km/h (extraites de la base de données des LRPC) sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

Type de revêtements	BBSG 0/10	ECF	BBTM 0/10	BB Dr 0/10	BBTM 0/6	BB Dr 0/6	Nanosoft®
dB(A)	78,1	77,7	75,4	73,8	73,5	71,2	69,4

- Toutes ces mesures de bruit montrent que Nanosoft® est l'enrobé le plus performant dans ce domaine.

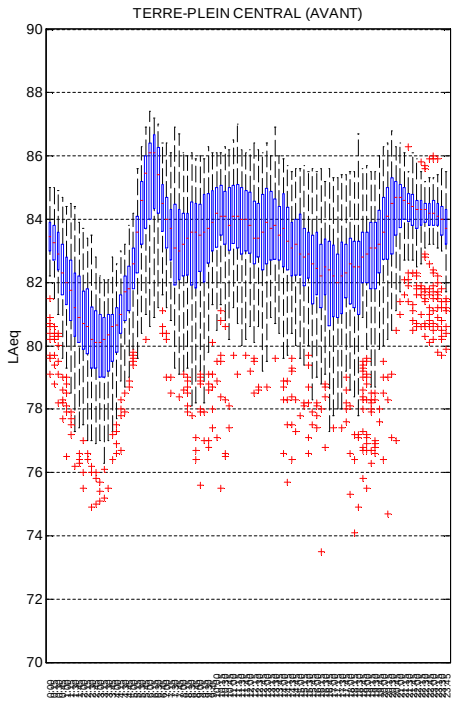
COLAS

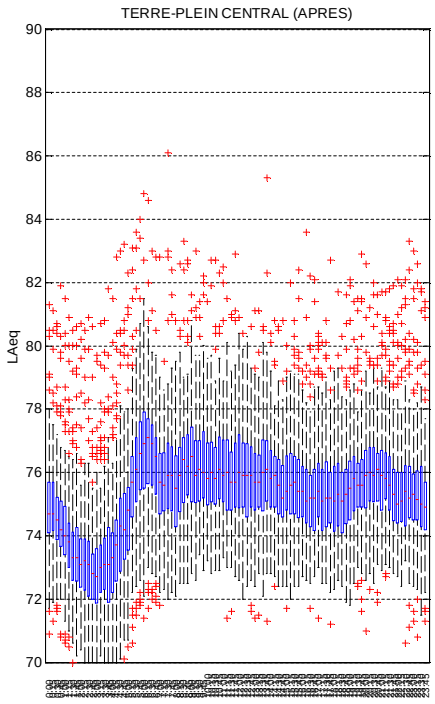
7, place René Clair - 92653 Boulogne-Billancourt Cedex
Tél. : 01 47 61 75 00 – Fax : 01 47 61 74 72
www.produitscolas.com

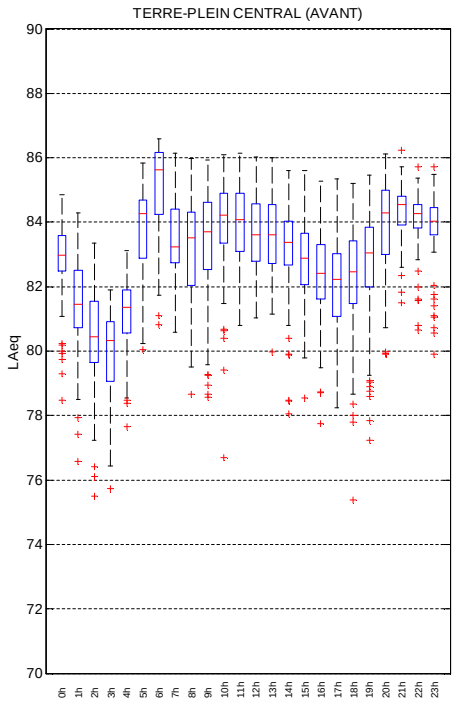
COLAS se réserve à tout moment le droit d'apporter des modifications aux caractéristiques indiquées.
Document non contractuel - Octobre 2011.

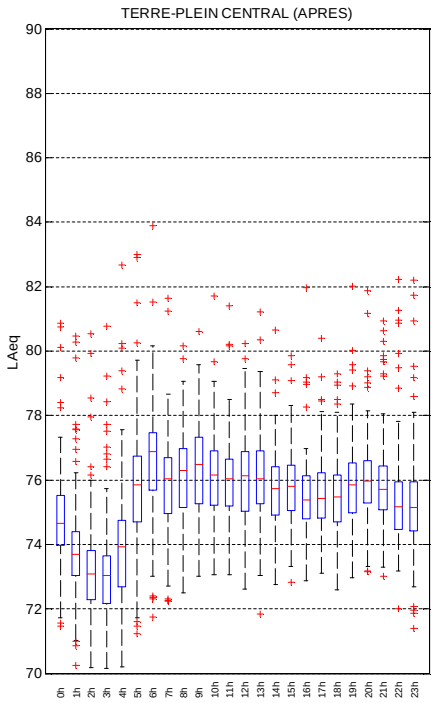
Annexe 2 : Résultats détaillés des mesures de bruit

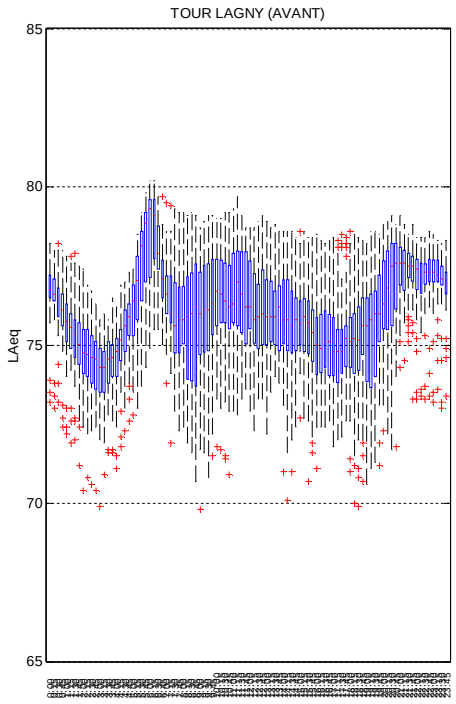
1. Tous jours confondus

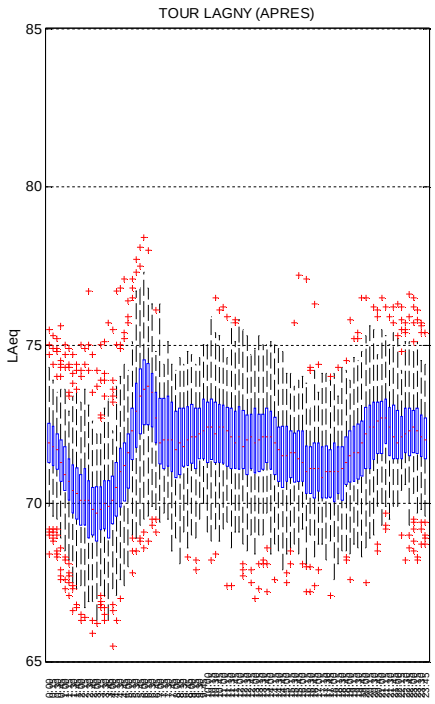


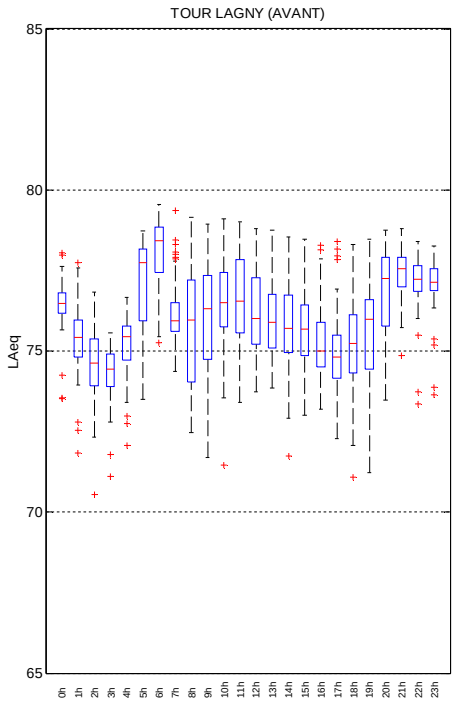


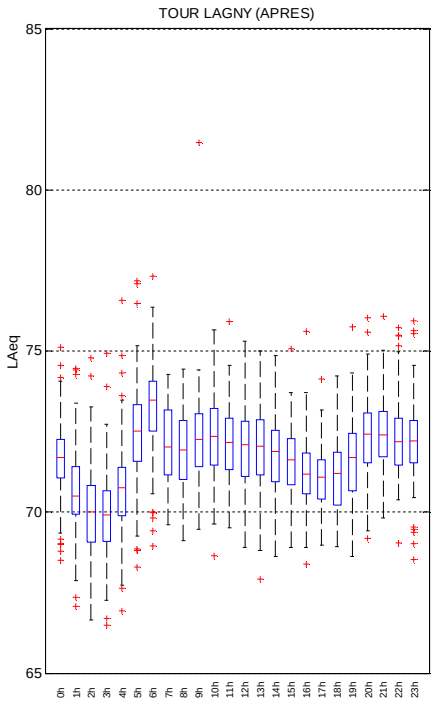


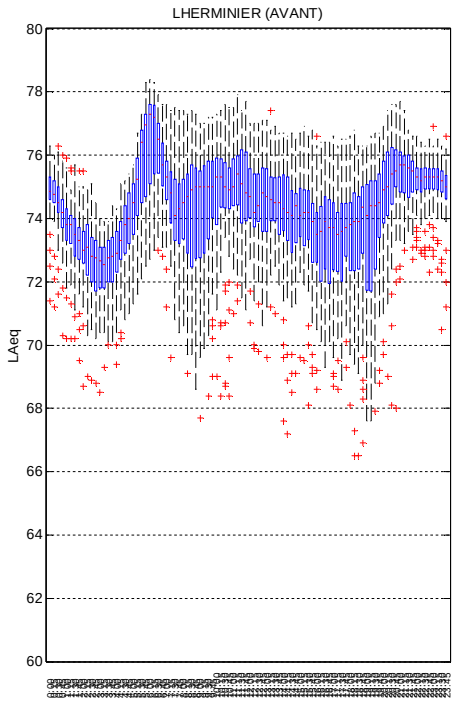


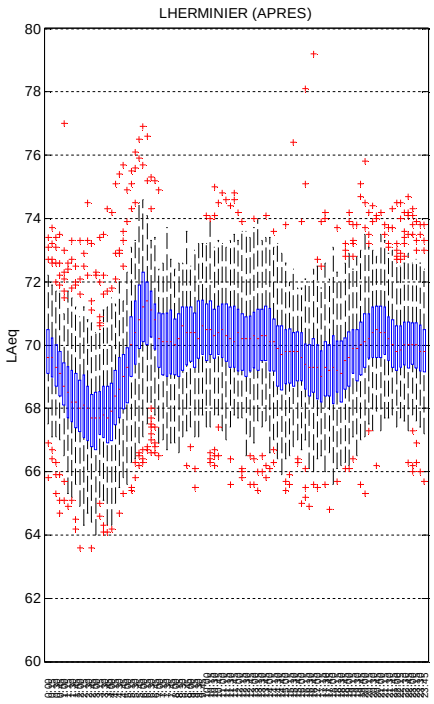

TOUR LAGNY (AVANT)
LAeq
85
80
75
70
65

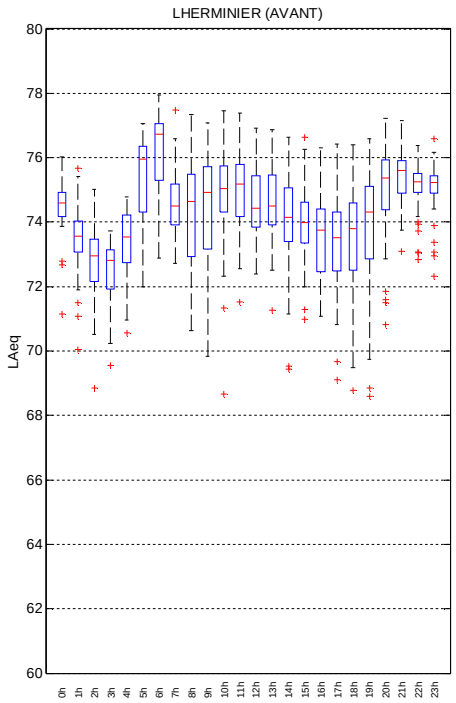

TOUR LAGNY (APRES)
LAeq
85
80
75
70
65

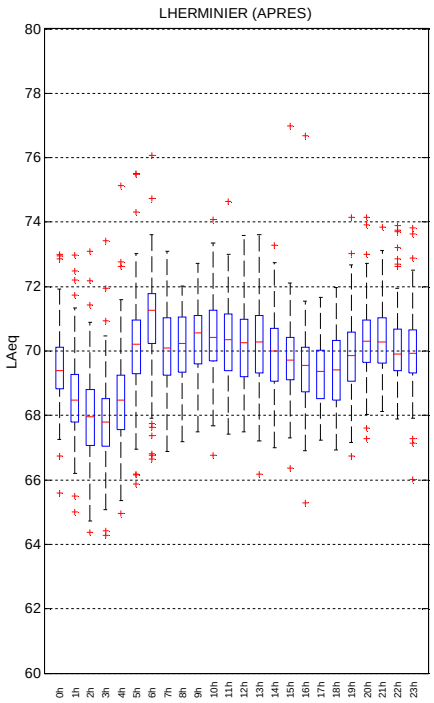

TOUR LAGNY (AVANT)
LAeq
85
80
75
70
65
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h

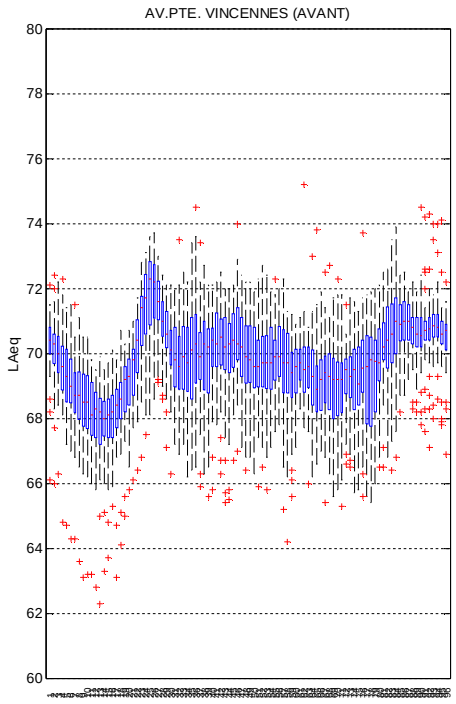

TOUR LAGNY (APRES)
LAeq
85
80
75
70
65
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h

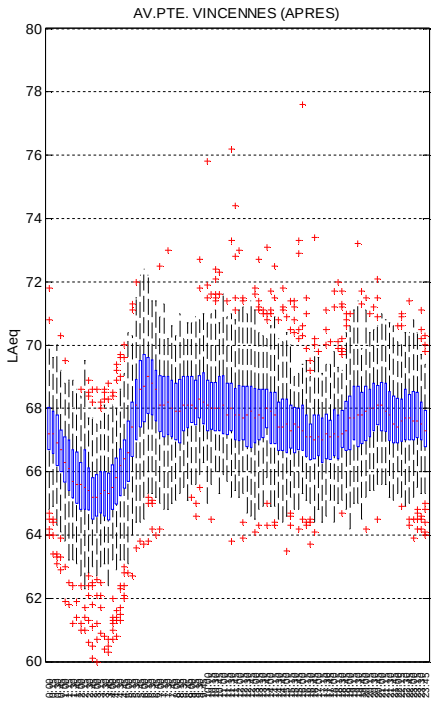

LHERMINIER (AVANT)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60

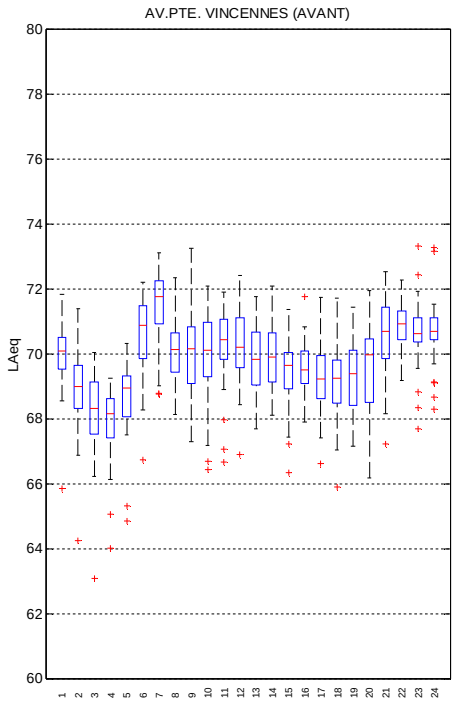

LHERMINIER (APRES)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60

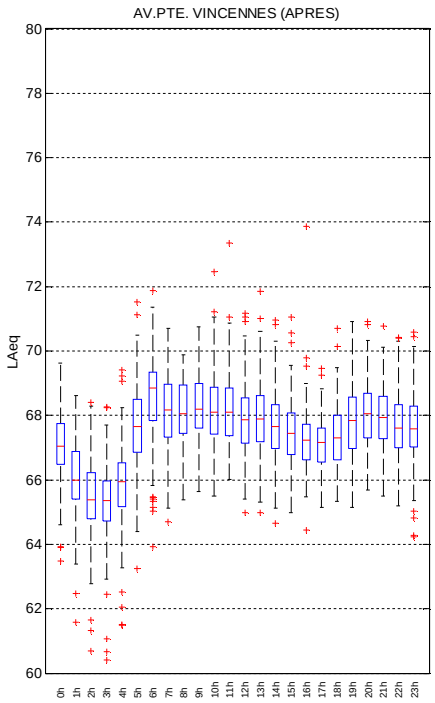

LHERMINIER (AVANT)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h

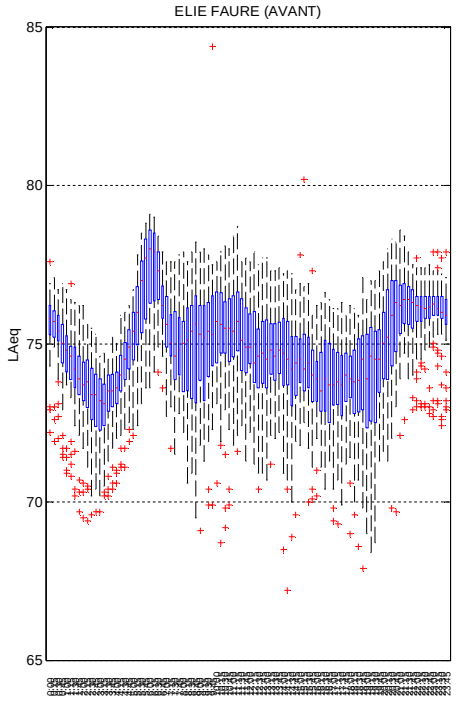

LHERMINIER (APRES)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h

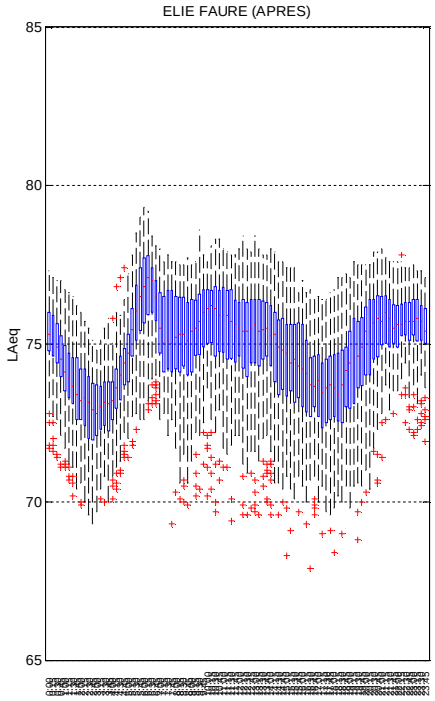

AV.PTE. VINCENNES (AVANT)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60

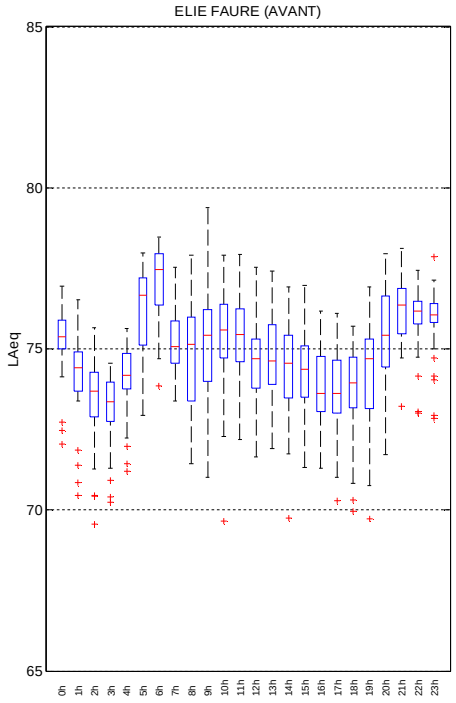

AV.PTE. VINCENNES (APRES)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60

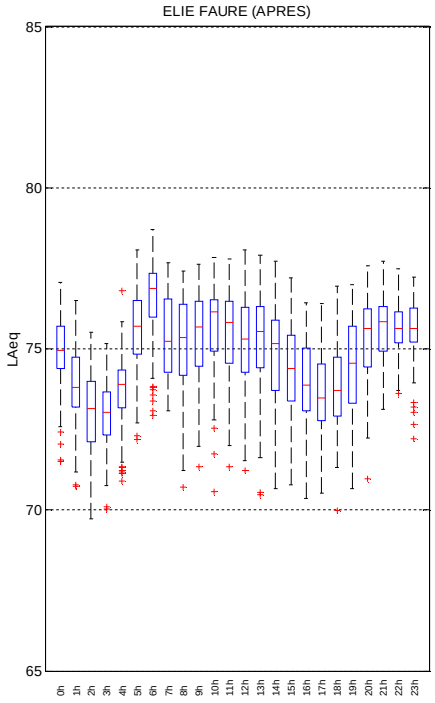

AV.PTE. VINCENNES (AVANT)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24


AV.PTE. VINCENNES (APRES)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h

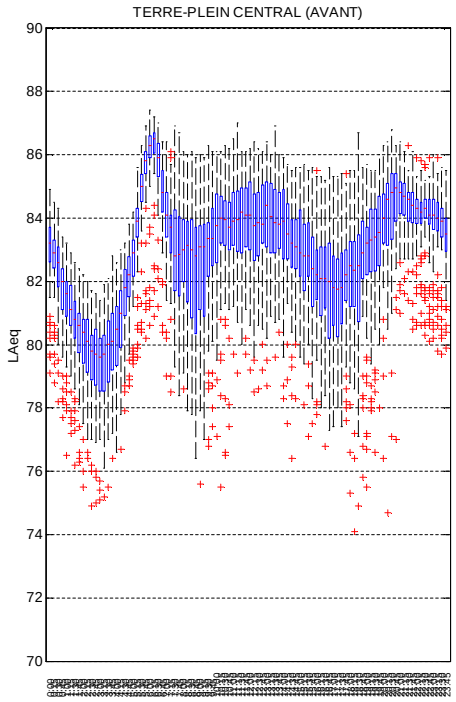

ELIE FAURE (AVANT)
LAeq
85
80
75
70
65

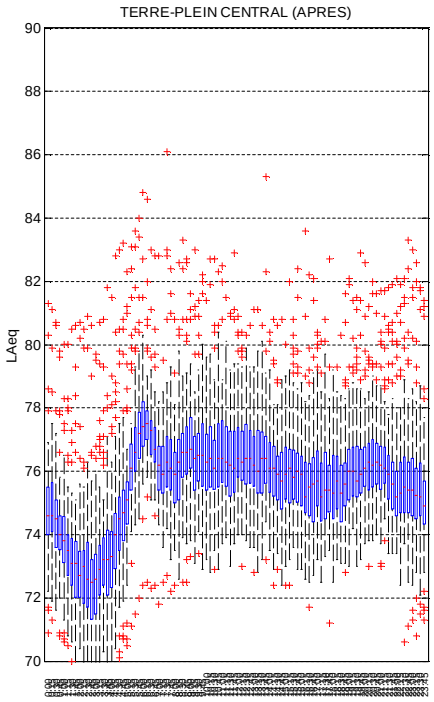

ELIE FAURE (APRES)
LAeq
85
80
75
70
65

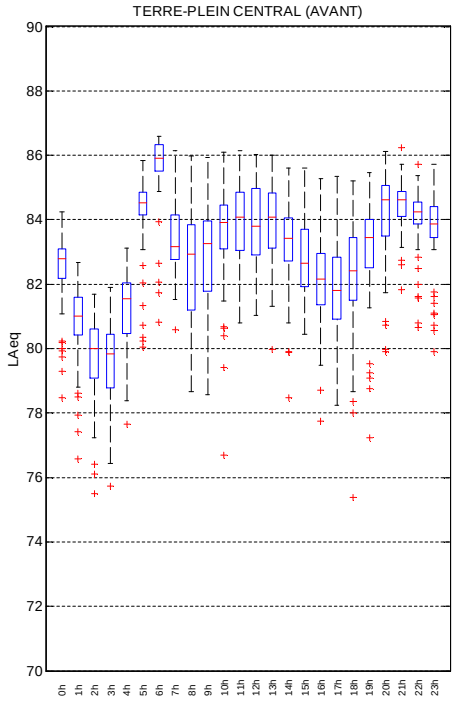

ELIE FAURE (AVANT)
LAeq
85
80
75
70
65
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h

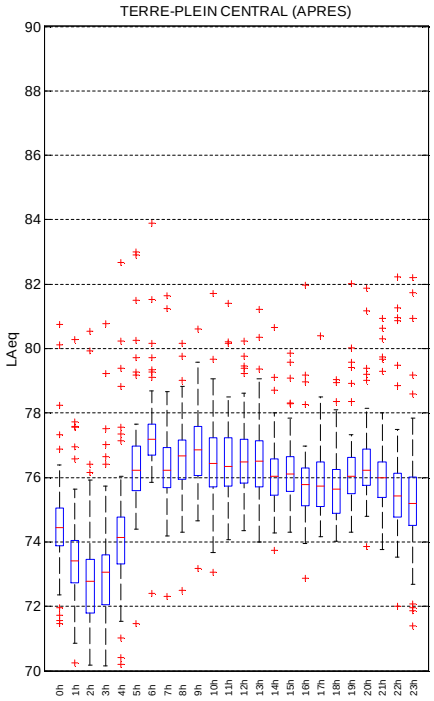

ELIE FAURE (APRES)
LAeq
85
80
75
70
65
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h

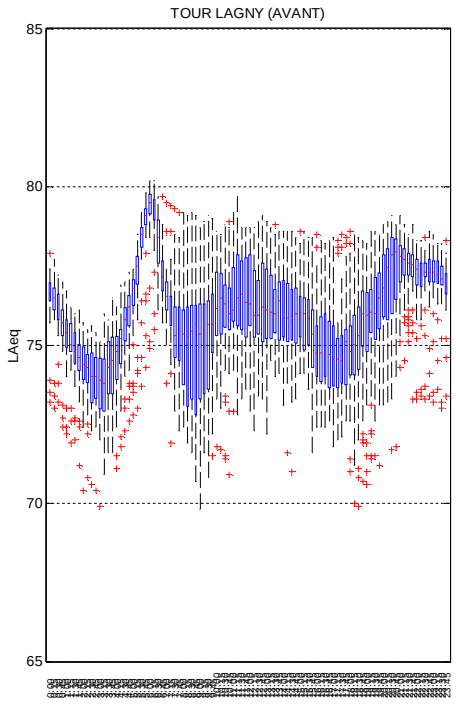
2. Jours ouvrables

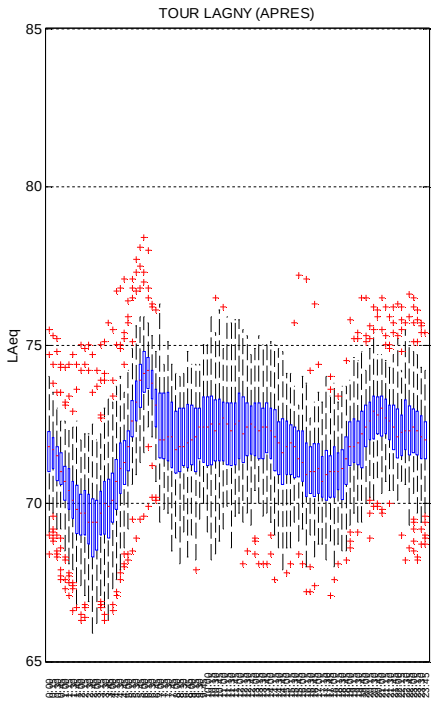


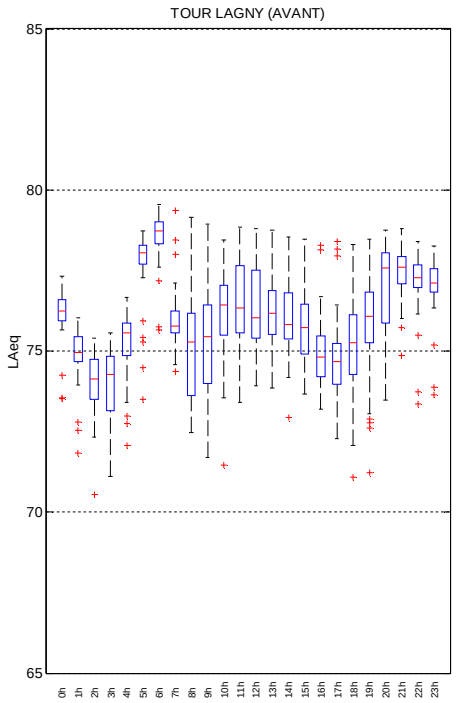


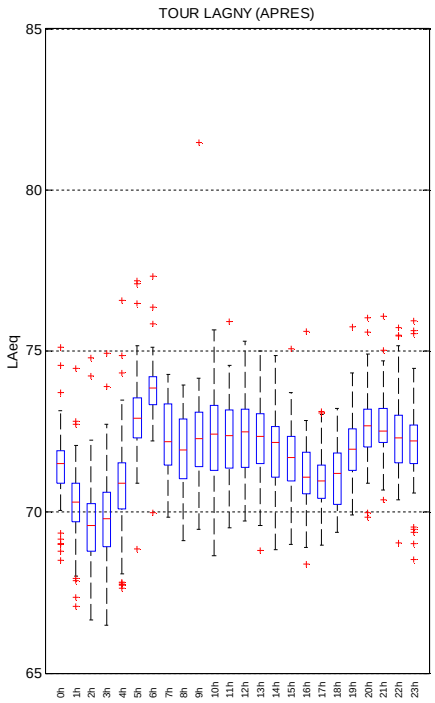


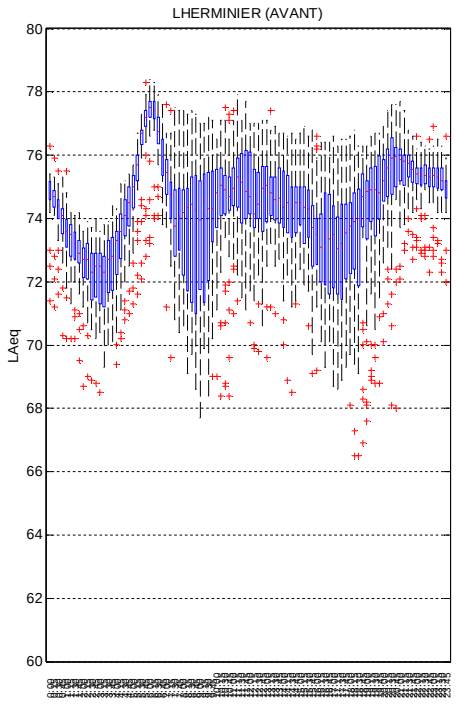


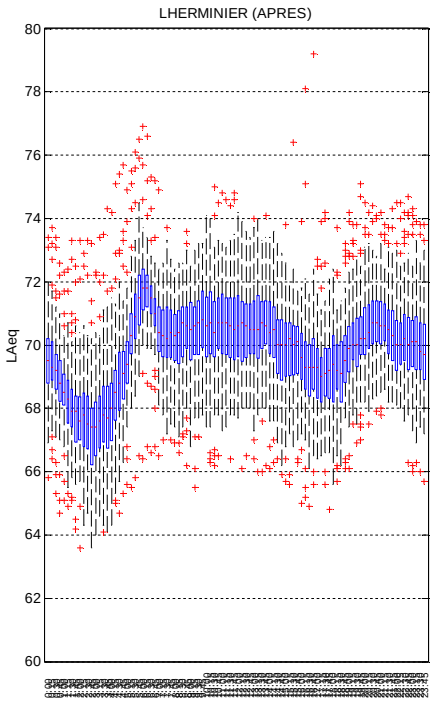

TOUR LAGNY (AVANT)
LAeq
85
80
75
70
65

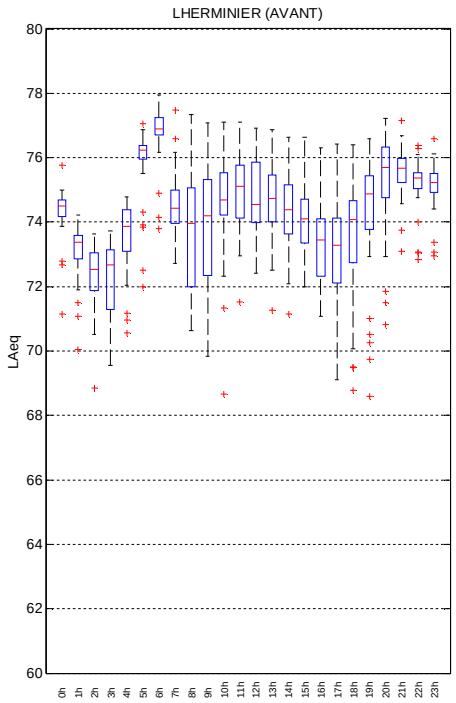

TOUR LAGNY (APRES)
LAeq
85
80
75
70
65

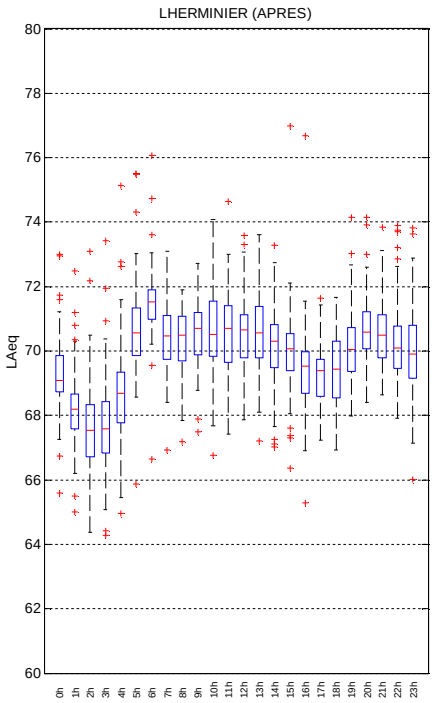

TOUR LAGNY (AVANT)
LAeq
85
80
75
70
65
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h

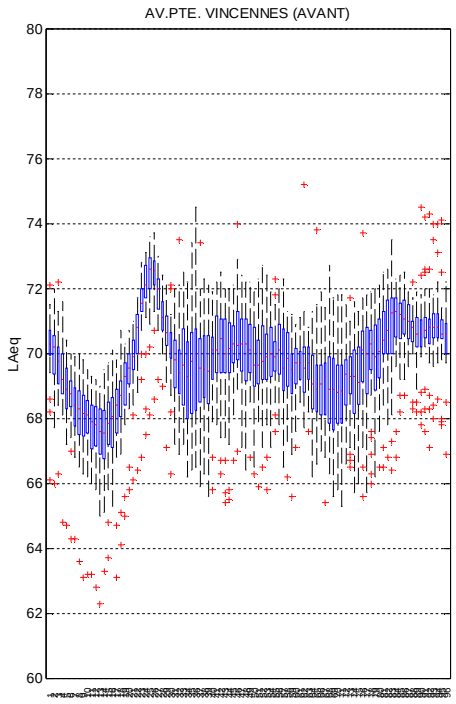

TOUR LAGNY (APRES)
LAeq
85
80
75
70
65
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h

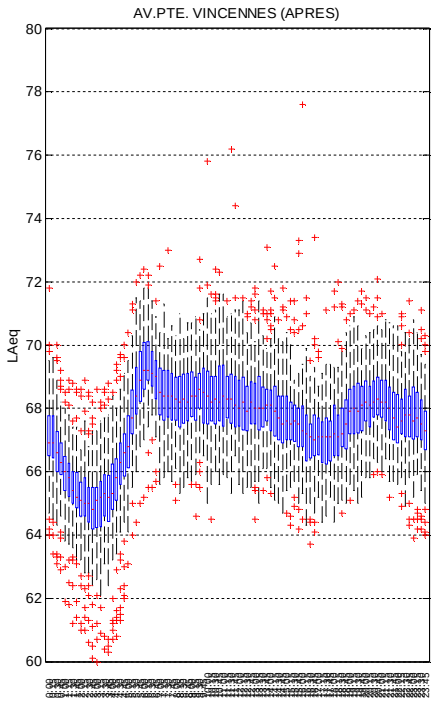

LHERMINIER (AVANT)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60

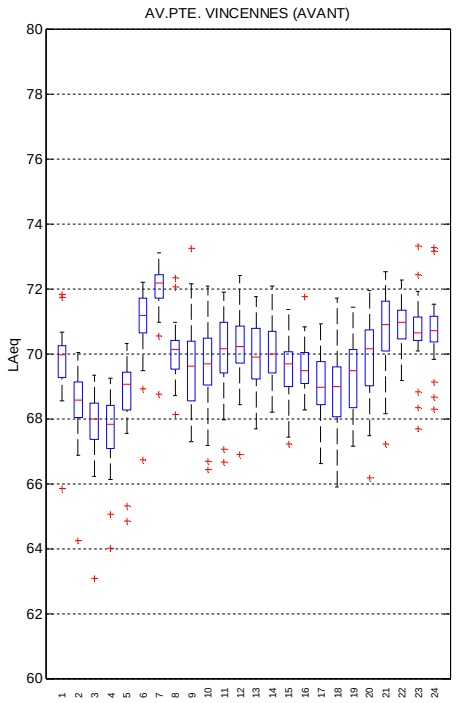

LHERMINIER (APRES)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60

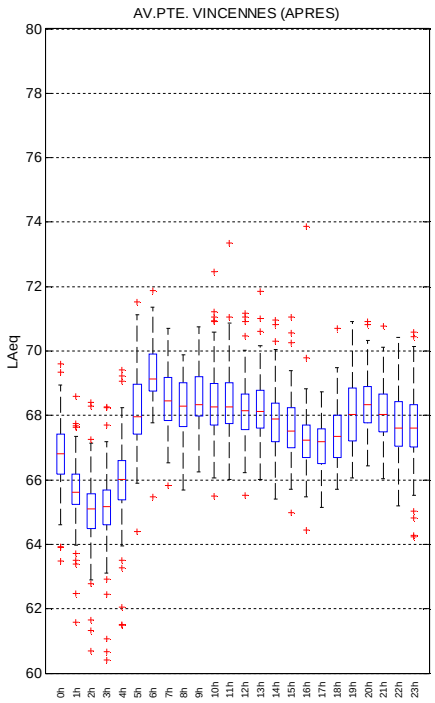

LHERMINIER (AVANT)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h

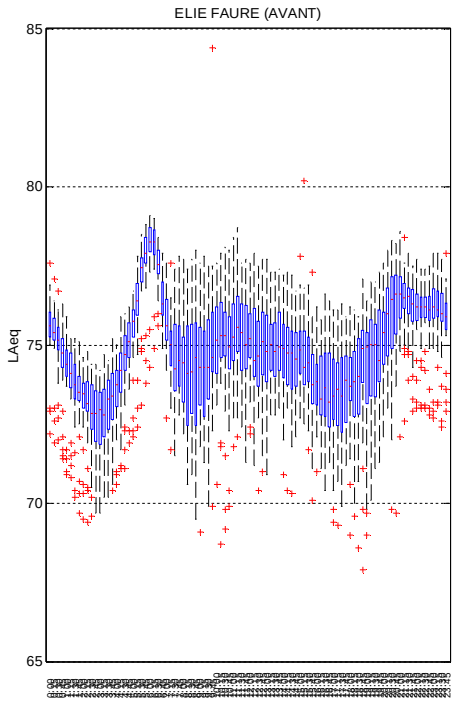

LHERMINIER (APRES)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h

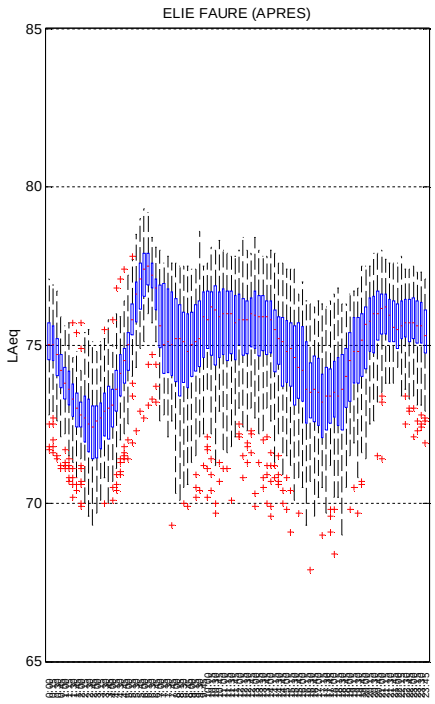

AV.PTE. VINCENNES (AVANT)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60

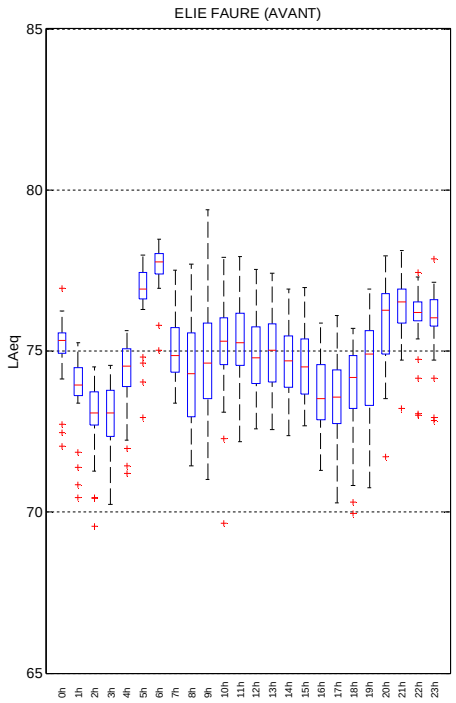

AV.PTE. VINCENNES (APRES)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60

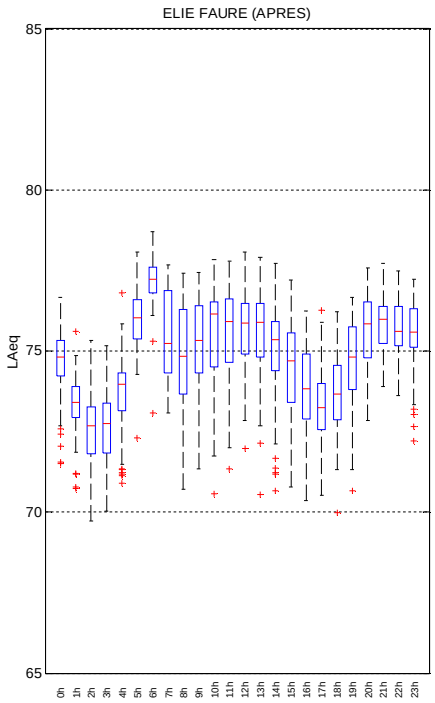

AV.PTE. VINCENNES (AVANT)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24


AV.PTE. VINCENNES (APRES)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h

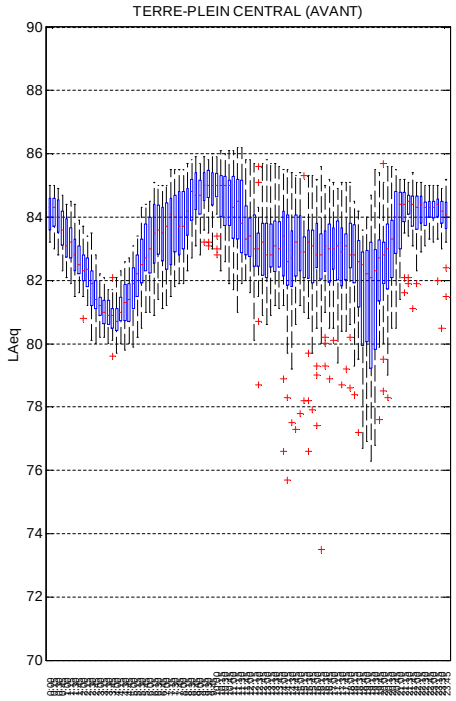

ELIE FAURE (AVANT)
LAeq
85
80
75
70
65

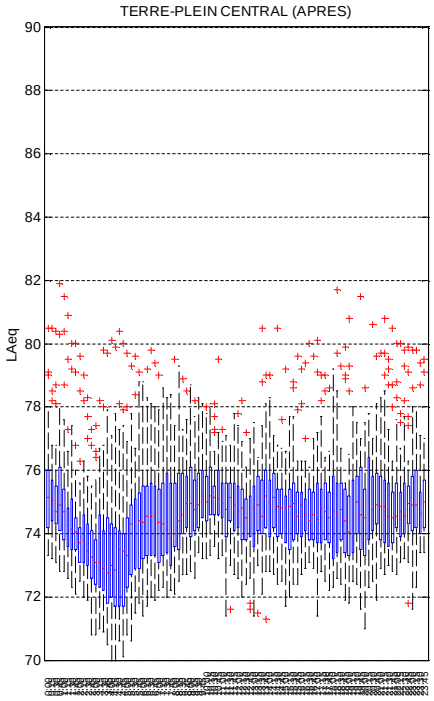

ELIE FAURE (APRES)
LAeq
85
80
75
70
65

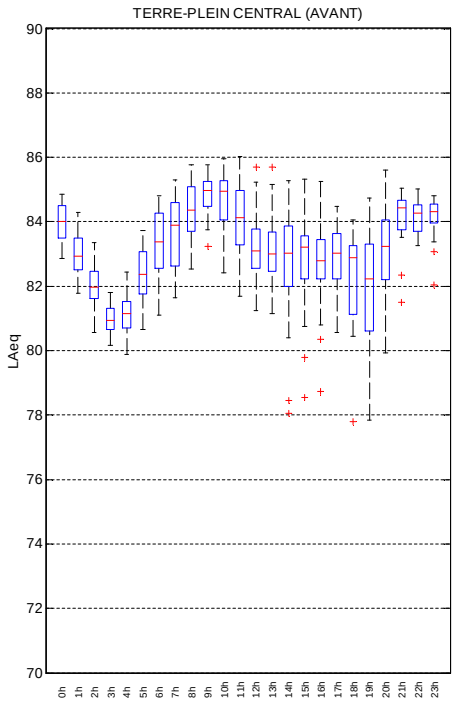

ELIE FAURE (AVANT)
LAeq
85
80
75
70
65
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h

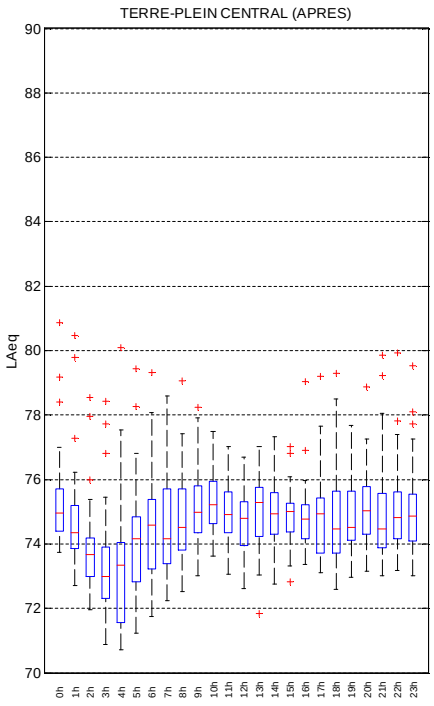

ELIE FAURE (APRES)
LAeq
85
80
75
70
65
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h

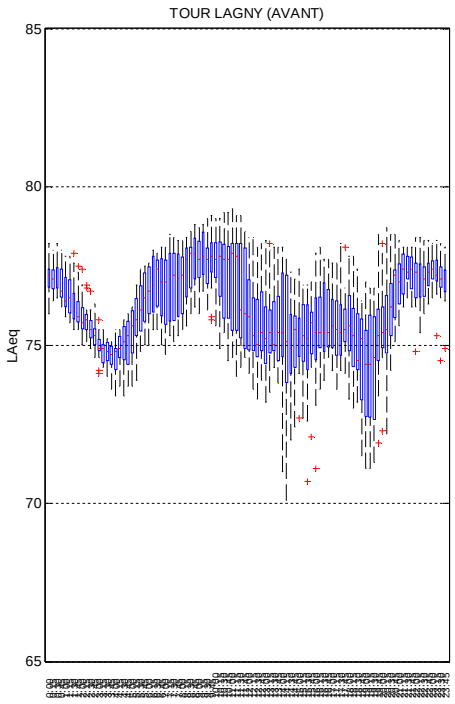
3. Samedis et dimanches

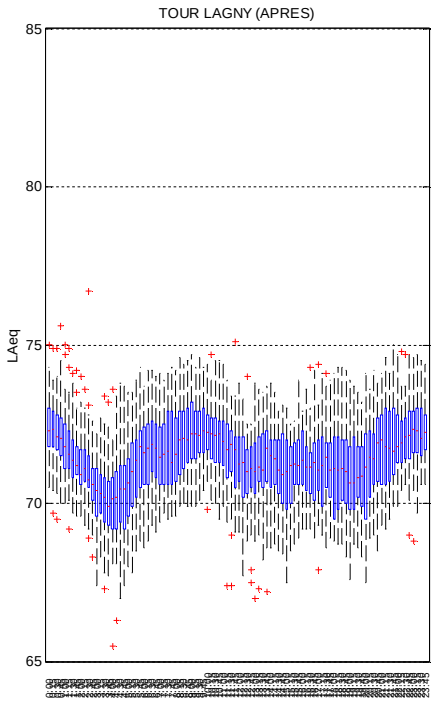


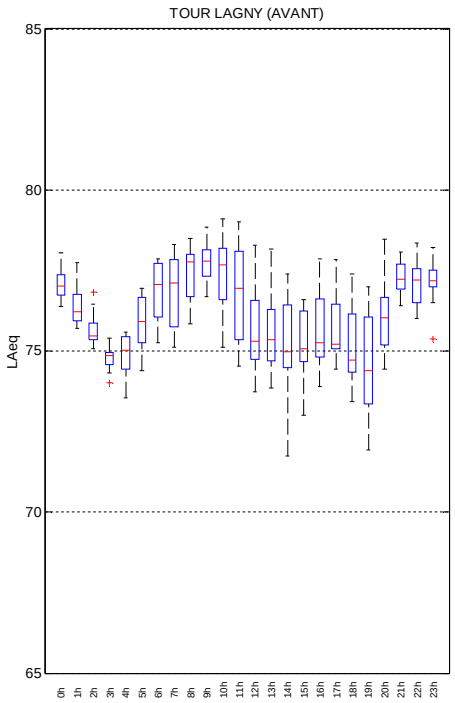


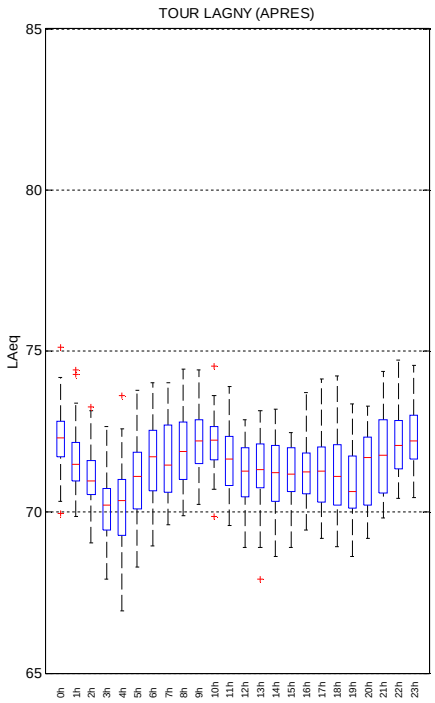


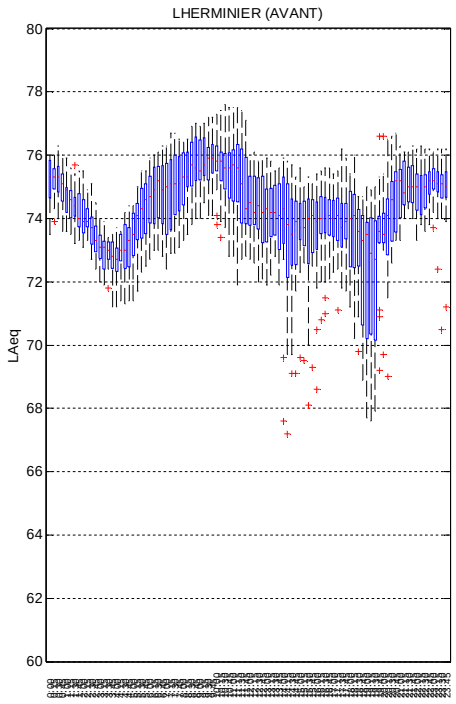


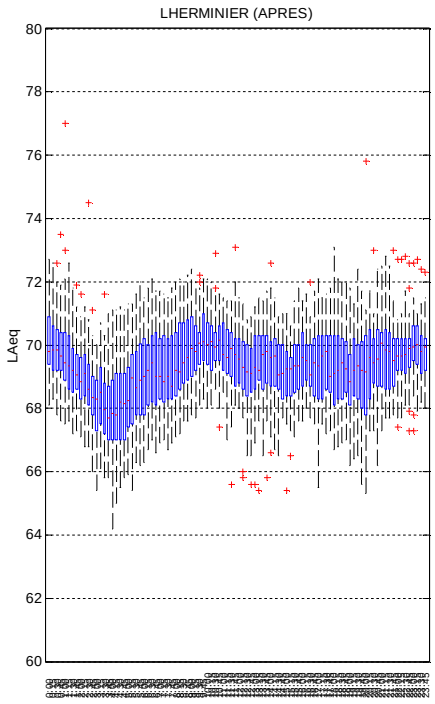

TOUR LAGNY (AVANT)
LAeq
85
80
75
70
65

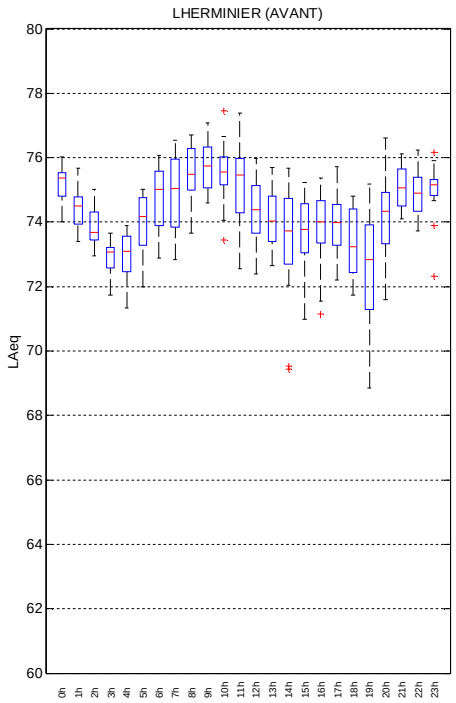

TOUR LAGNY (APRES)
LAeq
85
80
75
70
65

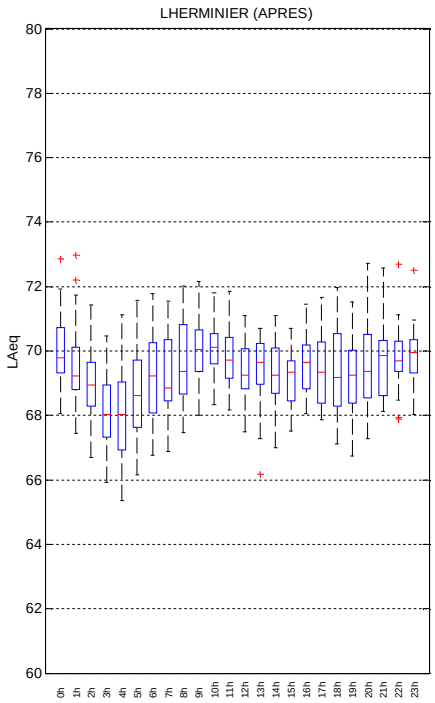

TOUR LAGNY (AVANT)
LAeq
85
80
75
70
65
0h
1h
2h
3h
4h
5h
6h
7h
8h
9h
10h
11h
12h
13h
14h
15h
16h
17h
18h
19h
20h
21h
22h
23h

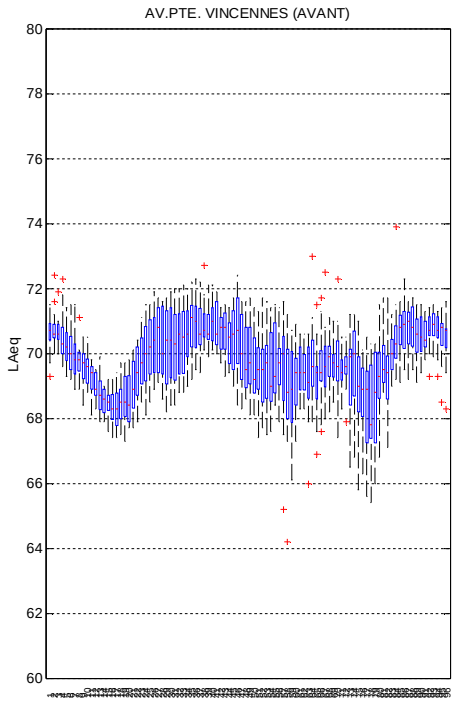

TOUR LAGNY (APRES)
LAeq
85
80
75
70
65
0h
1h
2h
3h
4h
5h
6h
7h
8h
9h
10h
11h
12h
13h
14h
15h
16h
17h
18h
19h
20h
21h
22h
23h

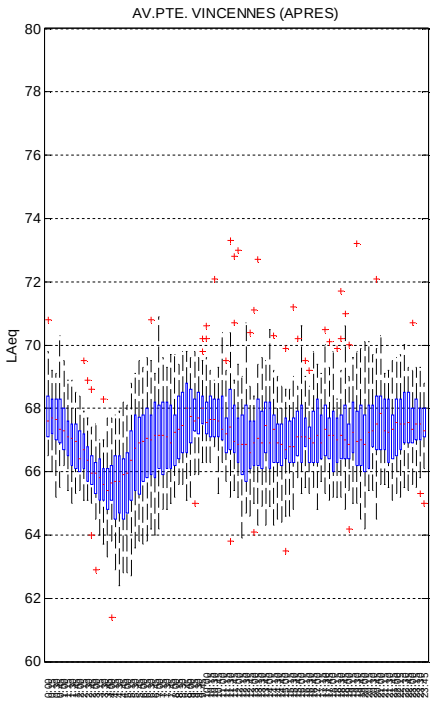

LHERMINIER (AVANT)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60

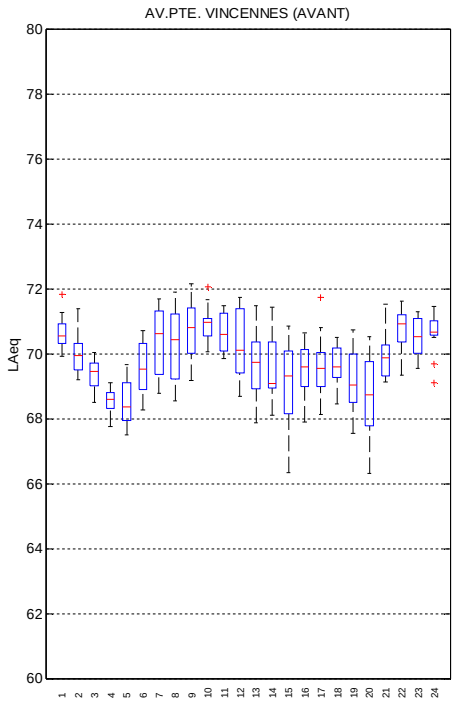

LHERMINIER (APRES)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60

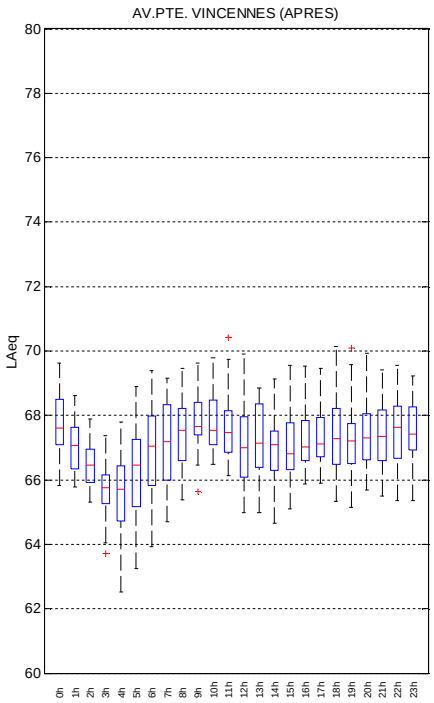

LHERMINIER (AVANT)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h

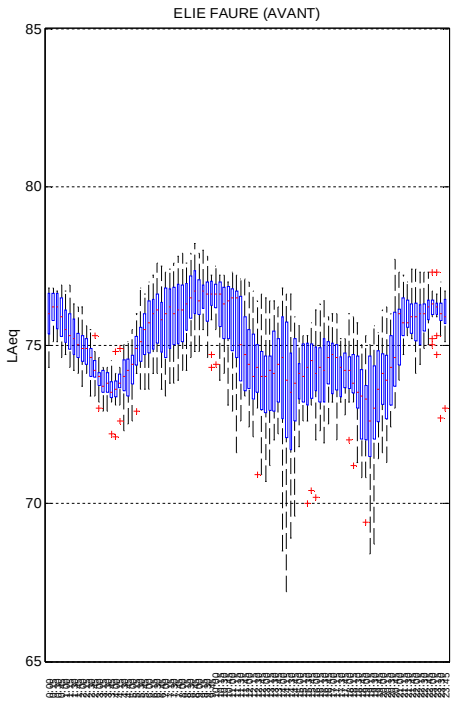

LHERMINIER (APRES)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h

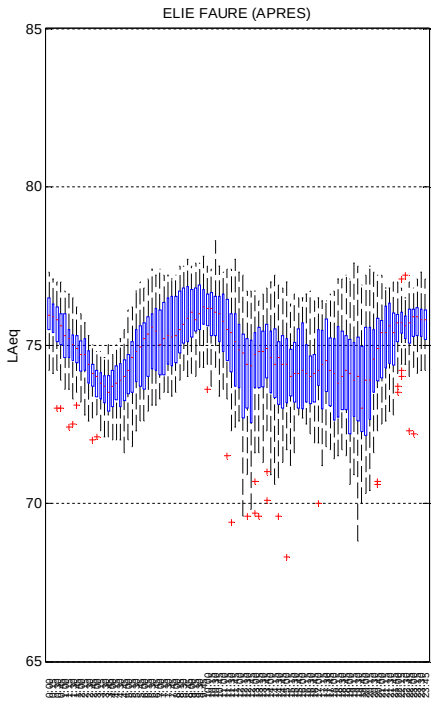

AV.PTE. VINCENNES (AVANT)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60

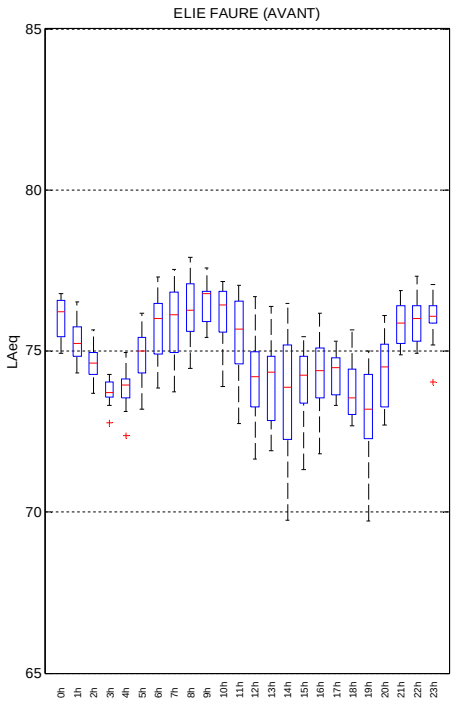

AV.PTE. VINCENNES (APRES)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60

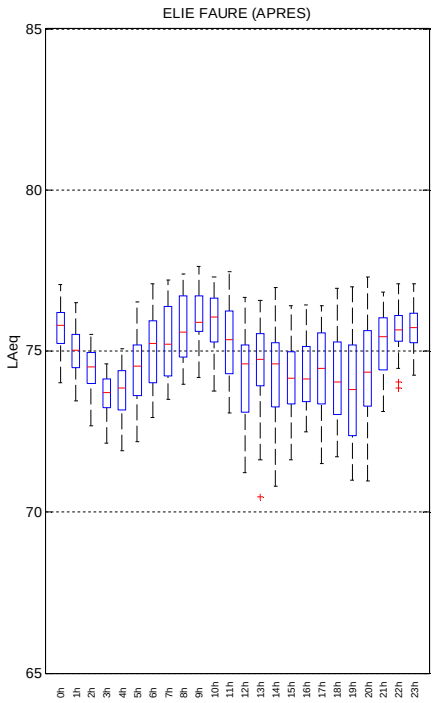

AV.PTE. VINCENNES (AVANT)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24


AV.PTE. VINCENNES (APRES)
LAeq
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h


ELIE FAURE (AVANT)
LAeq
85
80
75
70
65


ELIE FAURE (APRES)
LAeq
85
80
75
70
65


ELIE FAURE (AVANT)
LAeq
85
80
75
70
65
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h


ELIE FAURE (APRES)
LAeq
85
80
75
70
65
0h 1h 2h 3h 4h 5h 6h 7h 8h 9h 10h 11h 12h 13h 14h 15h 16h 17h 18h 19h 20h 21h 22h 23h