



## Offre CSTB N°26083891

ECRAN SONORE >>><>>> MOBILIER URBAIN

Projet lauréat de « Faire Paris 2019 »

Phase 1 : études amont

<b>Auteur(s)</b>	<b>Approbation</b>	<b>Vérificateur</b>
E. BAILLY ; P. JEAN ; S. LAROCHE ; J. MAILLARD ; A. JOLIBOIS	D. SAMRI	G. CAPOURET

INTRODUCTION ET CONTEXTE	3
1. ELEMENTS DE CONCEPTION PRELIMINAIRES	4
1.1. Etablissement des principes de bases du dispositif	4
1.2. Phénomènes acoustiques et méthodes de prévision	7
2. CHOIX DES MOBILIERS URBAINS	9
2.1. Échelle du dispositif	9
2.2. Échelle de la forme du mobilier	14
2.3. Échelle de la séquence	22
2.4. Comparaison des variantes étudiées	24
3. IMPLANTATION DU MOBILIER SELON CONTEXTE ET SELON LES TYPES D'USAGES	28
4. DESCRIPTIF DE LA VARIANTE RETENUE	32
4.1. Performances pour une personne assise (1m20)	33
4.2. Performances pour une personne debout (1m60)	36
ANNEXE N°1 : CHOIX DES MATERIAUX	40
ANNEXE N°2 : USAGES DU DISPOSITIF	44
ANNEXE N°3 : EXEMPLES DE CALCULS D'ATTENUATION	49

## Introduction et contexte

Le CSTB a proposé le projet **ECRAN SONORE >>><>>> MOBILIER URBAIN** dans le cadre de l'appel à projets Faire Paris 2019, organisé par le Pavillon de l'Arsenal. Ce projet a été désigné comme lauréat.

L'objet du projet est d'expérimenter une innovation de mobilier urbain dédié à la réduction des nuisances sonores, développée par le CSTB. Ce mobilier permet d'être inséré dans l'espace public et de limiter les nuisances pour les usagers de l'espace urbain, que ce soit à proximité des sources de bruit des transports terrestres urbains (trafic routier et tramway) ou au sein d'espaces publics. Il permet ainsi de créer une zone plus calme et accessible à tous.

Ce projet se décline en plusieurs étapes :

- Études amont
- Conception du dispositif
- Réalisation et installation
- Évaluation et retour critique

Le Pavillon de l'Arsenal a confié au CSTB la réalisation de la première phase du projet dédiée aux **études amont**.

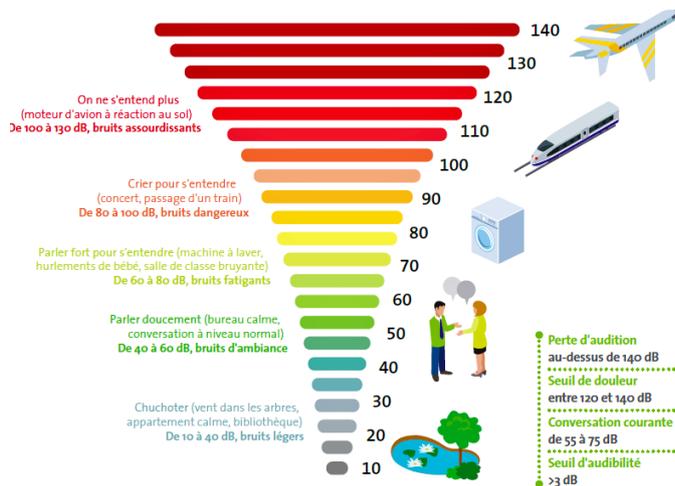
En particulier, il a été convenu de fournir les éléments suivants :

- Éléments de conception préliminaires (principe formel, matériau et mode constructif) pour **deux variantes du dispositif**
- Descriptifs des **deux scénarii d'implantation** choisis par variante, liste des **contraintes associées** (positionnement...) et **usages potentiels**
- **Schémas de principe** du dispositif après optimisation et **gain acoustique associé**, pour chacune des variantes et pour les scénarii d'implantation choisis
- **Descriptif synthétique** de l'approche de calcul pour la prévision du gain acoustique

# 1. Eléments de conception préliminaires

## 1.1. Etablissement des principes de bases du dispositif

### L'ÉCHELLE DE NIVEAU DE BRUIT



**Objectif de diminution 5 à 10 dB(A)**

Source : France Environnement

En milieu urbain, durant la période diurne d'activité de la ville, la sensation sonore peut être classée, en première approximation, selon la gamme de niveaux sonores ambiants moyens :

- Inférieur à 50 dB(A) : calme
- De 50 à 60 dB(A) : assez calme
- De 60 à 70 dB(A) : assez bruyant
- De 70 à 80 dB(A) : bruyant
- Supérieur à 80 dB(A) : très bruyant

L'objectif poursuivi est donc de passer, pour des espaces publics soumis à des niveaux sonores moyens supérieurs à 65 dB(A), à des valeurs inférieures à 60 dB(A), permettant de rentrer dans une zone de confort.

Une diminution du niveau ambiant de **5 à 10 dB(A)** correspond ainsi à une amélioration sensible de la situation acoustique, et cet objectif peut, dans de nombreux cas, être atteint par la mise en œuvre d'écrans acoustiques et plus généralement de mobiliers urbains adaptés.

Dans un premier temps, nous avons défini une liste d'éléments de conception préliminaires pour le dispositif d'écran acoustique / mobilier urbain. Nous les avons identifiés en prenant en compte dans la mesure du possible la faisabilité économique, la potentialité d'usages, les qualités urbaines, paysagères et d'ambiances, l'impact environnemental des matériaux ainsi que leur adéquation avec les contraintes liées à l'installation en milieu urbain (robustesse, durabilité...).

### Hypothèses structurantes à l'échelle du dispositif

Les recherches précédentes menées par le CSTB et d'autres partenaires [1, 2, 3] ont montré que l'installation en site urbain d'un dispositif antibruit peut s'avérer complexe et soulève plusieurs questions. On expose ici les principaux éléments à considérer en se plaçant essentiellement à l'échelle du dispositif.

- Pour que le dispositif fournisse un effet de diminution acoustique notable, la section doit tout d'abord être suffisamment « dense » pour limiter la transmission directe des ondes sonores au travers du dispositif. Cela implique typiquement que **la masse surfacique des éléments soit suffisante** (de l'ordre de 10 kg/m<sup>2</sup>). Par exemple, pour du bois de densité moyenne (700 kg/m<sup>3</sup>), cette valeur est atteinte pour un panneau d'épaisseur 14 millimètres. Cependant, la présence de fuites acoustiques peut fortement diminuer l'effet de réduction, même pour un dispositif constitué de matériaux suffisamment denses.
- L'installation sur site d'un tel dispositif peut s'avérer délicate et onéreuse<sup>1</sup>, en particulier si les éléments constitutifs sont lourds. Par exemple, les écrans routiers en béton ou en plaques métalliques peuvent nécessiter d'être spittés dans le sol ou dans une dalle de support. Pour éviter cet écueil, on a choisi ici **d'assembler le dispositif sur place** sans l'aide de machine de levage. Ceci est atteignable en décomposant le système en plusieurs petits éléments (chacun étant manœuvrable à la main) qu'il faut ensuite assembler sur place. On explorera plusieurs manières d'atteindre cet objectif.
- Afin de ne pas dégrader le lieu d'installation et rendre le dispositif démontable, il convient de choisir une géométrie qui n'a pas besoin d'ancrage dans le sol. Il faudra donc travailler soit sur **un système autoportant**, soit qui **s'appuie sur des éléments de mobilier existants** qui eux sont ancrés dans le sol, tels des grilles de protection, ....
- Nous avons également privilégié **des formes complexes** (en particulier pour la partie exposée au bruit incident) puisque des recherches précédemment menées au CSTB [2, 4, 5] ont montré que dans certains cas la forme irrégulière d'un dispositif antibruit permet d'accroître son effet d'atténuation (voir Figure 1).

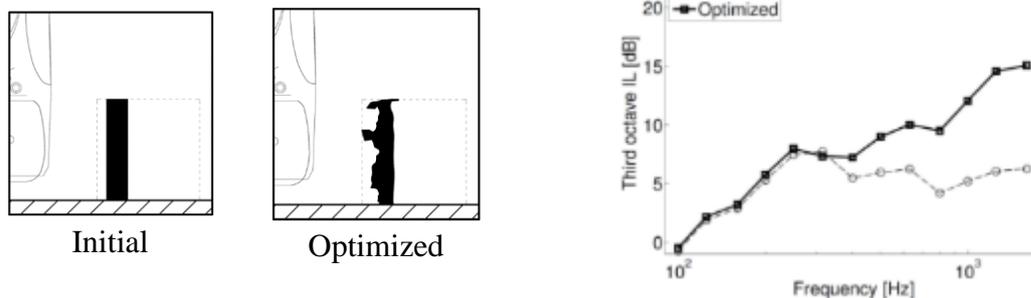


Figure 1 : Performance d'atténuation acoustique (perte par insertion par tiers d'octave en dB) pour deux formes d'écrans à proximité d'un tramway, calculée avec l'outil MICADO.

### Hypothèses structurantes à l'échelle de la forme

- **La hauteur** du mobilier devient le paramètre qui influence le plus la diffraction principale et donc l'effet de réduction sonore. Dans une logique purement acoustique, il faut donc choisir la hauteur la plus grande possible, mais il est évident que pour des raisons d'insertion urbaine cette hauteur doit être limitée. Nous cherchons à définir un mobilier sur lequel on pourra s'asseoir, la hauteur du dispositif variera de 0,90 m à 1,40 m (soit 20 cm au-dessus de l'oreille d'une personne assise de taille adulte, située en moyenne à 1,20 m).

<sup>1</sup> Voir Rapport d'étude Ademe portant sur l'intégration des écrans bas en milieu urbain, réalisé par le groupe de travail acoustique urbaine de la Commission de Normalisation des Écrans Acoustiques (GT - CNEA) dont fait partie le CSTB. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/rapport-mur-bas-antibruit-milieu-urbain-2018.pdf> [3]

- **La longueur** du mobilier constitue le deuxième critère permettant d'influencer sur la performance acoustique. Plus le mobilier est long, plus la zone de protection est importante. Cependant, on va limiter la longueur du dispositif afin de ne pas créer un effet de coupure entre les différents milieux environnants le mobilier urbain (effet de ségrégation urbaine).
- Enfin, il importe de considérer les configurations urbaines en présence, pour identifier des **géométries** variées :
  - Séquences linéaires
  - Séquence en angle de rue
  - Séquence arrondie (place en étoile)

### **Hypothèses structurantes à l'échelle de l'espace public (implantation de l'ouvrage)**

Nous proposons aussi de nous intéresser à l'effet de la **distance entre les mobiliers**. Plus les éléments composants le mobilier sont séparés, plus l'effet d'atténuation sonore pour les deux éléments est indépendant (il ne dépend pas de l'autre). À l'inverse, si les éléments composant le mobilier sont proches, plus la zone de confort est grande.

### **Hypothèses structurantes selon le contexte urbain**

Nous souhaitons aussi prendre en compte la **distance entre le mobilier urbain et les façades des bâtiments environnants**. L'écran sonore peut en effet perdre de son efficacité acoustique si des bâtiments sont proches du mobilier urbain. Ces derniers introduisent alors des réflexions qui viennent potentiellement s'ajouter aux contributions atténuées par le mobilier. Ce phénomène peut être à l'origine d'une diminution de la performance et nécessite d'être évalué par le calcul.

### **Distinction des échelles d'analyse**

Pour mettre à l'épreuve ces différentes hypothèses, il est important de bien identifier que le dispositif que nous cherchons à concevoir fait intervenir plusieurs phénomènes acoustiques et plusieurs contraintes d'implantation urbaine, que nous cherchons à faire travailler de manière concomitante. L'analyse du système doit donc se faire à plusieurs échelles, notamment :

- L'échelle du **dispositif**, c'est-à-dire du **principe constructif et géométrique** qui fait intervenir le choix matériaux, leur agencement géométrique, et le principe constructif pressenti, et donc qui correspond à des détails techniques du dispositif
- L'échelle de la **configuration spatiale**, qui fait intervenir la longueur du dispositif, ses finitions latérales et sa forme urbaine, qui correspond plutôt au dessin en plan et en coupe d'un élément du dispositif.
- L'échelle de la **séquence (espace entre chaque élément)**, qui fait intervenir l'agencement et le séquençage d'un ou plusieurs dispositifs avant d'obtenir un effet acoustique notable sur une large zone. Il s'agira principalement des vues de face du dispositif.
- L'échelle de **l'espace public (en fonction du contexte urbain)**, qui varie selon les scénarios choisis et fait intervenir la disposition des bâtiments situés à proximité du dispositif.

Les phénomènes acoustiques mis en jeu, les enjeux et les contraintes, et donc les paramètres de conception, ne sont pas les mêmes en fonction de l'échelle que l'on considère, bien qu'elles interviennent toutes dans l'effet de réduction acoustique que l'on cherche à obtenir. Il convient donc de mener une analyse pour chacune de ces échelles, en essayant in fine de recombinaison les informations pour obtenir un effet global selon le contexte urbain.

## 1.2. Phénomènes acoustiques et méthodes de prévision

L'atténuation acoustique associée au dispositif fait intervenir plusieurs phénomènes physiques que l'on décrit brièvement ici.

### Diffraction principale et latérale

Le dispositif que nous cherchons à concevoir impacte de plusieurs manières les ondes sonores qui le rencontrent. Deux phénomènes nous intéressent particulièrement :

- **La diffraction « principale »**, qui regroupe à la fois la transmission au travers du dispositif et la diffraction au-dessus du dispositif (voir Figure 2 et 3). Cette première diffraction dépend de sa géométrie dans un plan de coupe verticale (dimensions, forme...) et des matériaux qui le constitue.
- **La diffraction « latérale »**, qui regroupe les ondes sonores pouvant « contourner » l'obstacle latéralement. Cette deuxième diffraction dépend essentiellement de la longueur du dispositif.

Ces deux phénomènes sont illustrés schématiquement sur la figure 4.

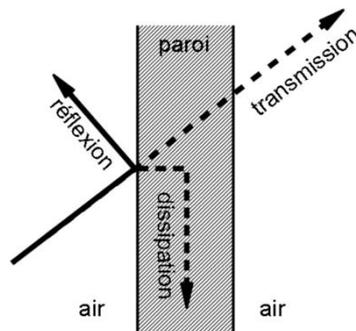


Figure 2 : Illustration des phénomènes de réflexion, d'absorption (dissipation) et de transmission acoustique à travers une paroi. (source : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00845852/document>).

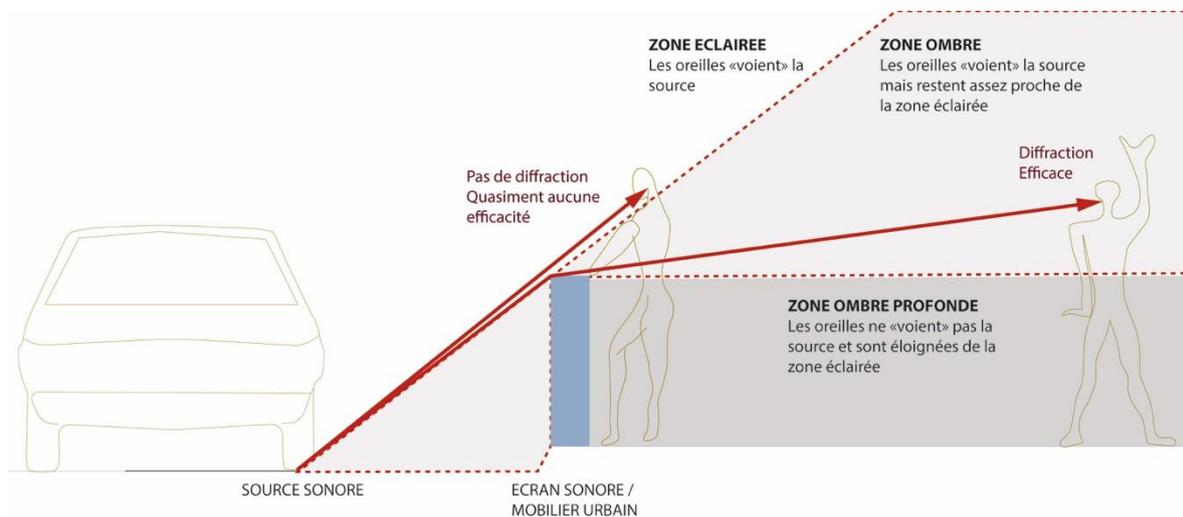


Figure 3 : Principe acoustique de l'écran urbain

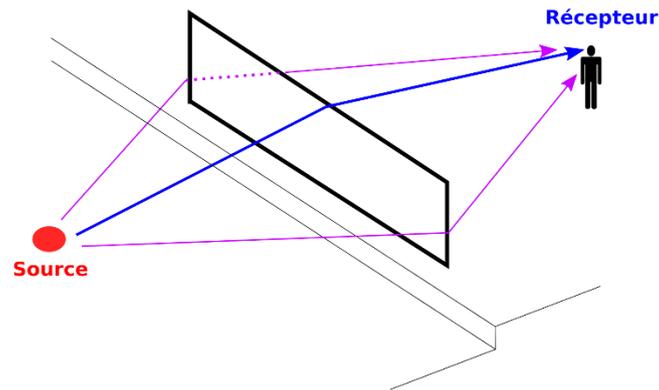


Figure 4 : Illustration schématique des deux phénomènes de diffraction, principale (en bleu) et latérale (en magenta)

Du point de vue de la conception, il convient donc de distinguer ce qui impacte l'un ou l'autre des phénomènes :

- la **diffraction principale** est liée à la **conception du dispositif** au sens strict du terme (choix des matériaux, agencement géométrique, dimensions) et à l'**échelle** du mobilier
- la **diffraction latérale** dépend surtout de sa **longueur** et de son **implantation urbaine**, qui est un paramètre à définir en fonction du site d'implantation. Plus le dispositif est long, plus la diffraction latérale devient négligeable, et donc plus l'effet d'atténuation est dû uniquement à la conception du dispositif.

Ces phénomènes physiques de diffraction peuvent être évalués par le calcul suivant différentes méthodes en fonction du contexte (voir les sections suivantes). Dans tous les cas, la performance globale du dispositif se caractérise généralement à partir de la différence des niveaux de bruit, évalués sur un ou plusieurs récepteurs dans la zone de protection, entre la situation sans le dispositif et la situation avec le dispositif et ce bien-sûr, pour une même configuration de sources. Cette différence de niveaux est positive et sera d'autant plus élevée que le dispositif est performant.

## 2. Choix des mobiliers urbains

### 2.1. Échelle du dispositif

#### Caractéristiques :

##### **Le bois comme matériau**

Nous avons choisi le bois comme matériau principal du mobilier. Celui-ci permet :

- de proposer une surface lisse pour produire un effet de diminution acoustique notable ;
- de concevoir une grande variété de forme puisqu'il est facilement usinable ;
- d'être assez lourd tout en étant modulable, si le mobilier est composé de plusieurs éléments transportables par une personne ;
- de rendre le dispositif durable et faible en termes d'émission de GES.

##### **Deux options pour le système constructif**

##### Ajouré :

Le système constructif avec structure (bois et acier) et remplissage de lattes en bois L'enveloppe du mobilier est composée de plusieurs éléments en bois superposés les uns sur les autres. Ce système peut également s'appuyer sur les barrières de type « Saint Georges ».

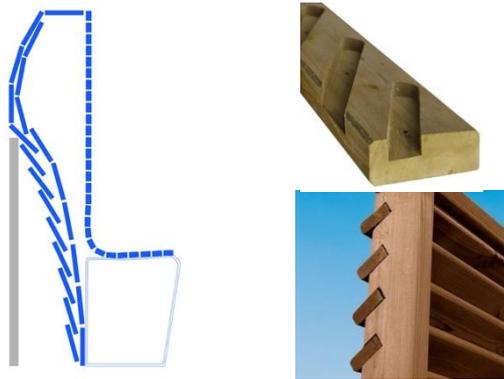


Figure 4 : Coupe du premier principe constructif (hauteur : 1,4 m) accompagnée de photos d'assemblage.



Figure 5 : Références de l'Atelier Pierre Thibault et Studio Weave.

Massif:

Système constructif avec assemblage de panneaux bois par le biais de tiges métalliques. Pour ce principe constructif, le mobilier est composé de plusieurs éléments en bois juxtaposés les uns aux autres. Le poids de l'ensemble de ces éléments sera assez lourd pour rendre le système autoportant.

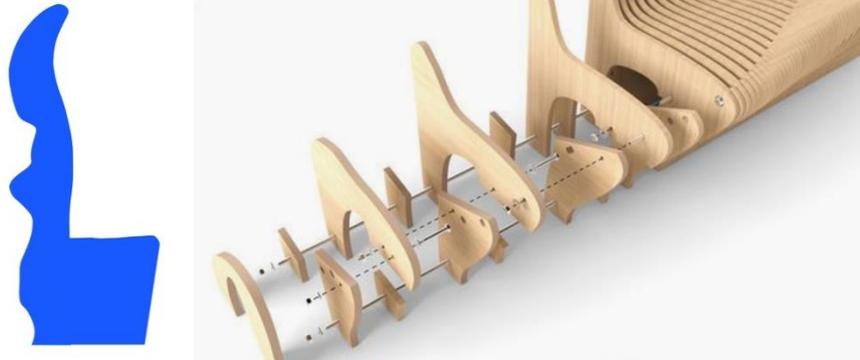


Figure 6 : Coupe du second principe constructif (hauteur : 1,4 m) accompagnée d'une photo d'assemblage.



Figure 7 : Références de ParametricArch & University Melbourne MArch students).

**Méthode de calcul de la performance acoustique à l'échelle du dispositif**

Afin d'évaluer l'effet de réduction des nuisances sonores à l'échelle du dispositif, on utilise une représentation dans un plan de coupe verticale (en 2D), afin d'évaluer l'effet de **diffraction principale**. Il existe des méthodes normalisées (méthode française NMPB, méthode européenne Cnossos-EU, méthode ISO 9613-2...) pour calculer cet effet mais uniquement pour des géométries très simples (murs droits et fins). Ces méthodes ne sont pas adaptées à des dispositifs à géométrie complexe comme c'est le cas ici. On aura donc recours à une méthode plus avancée basée sur l'approche des **éléments finis de frontière** (ou **BEM** pour **Boundary Element Method** en anglais). Le CSTB a développé l'outil MICADO qui implémente cette méthode et a été utilisé dans de nombreux cas similaires.

La méthode BEM utilise les hypothèses simplificatrices suivantes :

- On modélise la situation uniquement dans un plan de coupe verticale (modélisation 2D).
- Les sources de bruit et les récepteurs sont représentés par des points. Le comportement des ondes acoustiques vis-à-vis des surfaces est idéalisé, le cas le plus courant étant que les matériaux sont considérés acoustiquement rigides, c'est-à-dire qu'ils n'absorbent aucune énergie acoustique (ils sont parfaitement réfléchissants). Cependant, toute la finesse géométrique des objets et leur impact sur le champ acoustique sont précisément prises en compte par cette méthode, ce qui en est le principal intérêt. De plus, l'approximation de comportement parfaitement rigide des matériaux est justifiée pour la plupart des matériaux urbains qui sont suffisamment denses et lisses, comme le béton, les parements de bois, la pierre, ou encore les revêtements de chaussée classiques (par opposition, les revêtements de type « enrobés drainants » qui présentent une absorption acoustique notable ne peuvent pas être considérés comme rigides).

L'approche BEM permet de **calculer le champ acoustique aux points récepteurs dû aux différentes sources pour un ensemble de fréquences**. Le bruit urbain est généralement considéré important dans la bande de 100 à 5000 Hz, ce sont donc les fréquences que nous utiliserons.

On supposera de plus que les sources émettent un bruit dont le contenu fréquentiel suit la norme EN 1793-3 (spectre normalisé pour le bruit routier, utilisé dans les indicateurs de performances des écrans acoustiques routiers classiques).

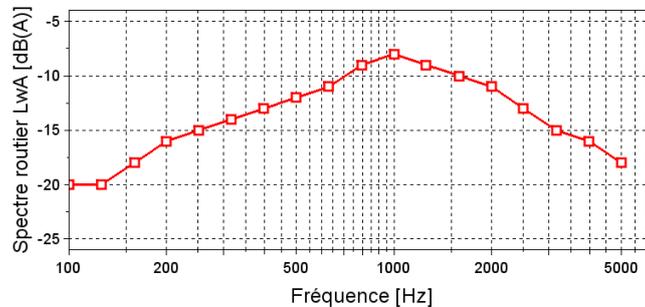


Figure 8 : Correction spectrale de puissance pour une source routière normalisée (norme EN 1793-3) par tiers d'octave pondéré A.

On effectue un calcul pour un ensemble de sources représentant le contact pneu-chaussée pour une route de 6 voies (soit 12 sources, disposées sur 20 m environ), et pour deux types de récepteurs :

**Récepteur assis** : la position de l'oreille d'une personne assise sur le dispositif (1,20 m au-dessus du sol)

**Zone de récepteurs** : zone dans lesquels les personnes peuvent se tenir debout, plus ou moins près du dispositif (à une distance d'au moins 1m du front du dispositif, et 1m et 1,80 m

Ces hypothèses sont synthétisées dans le schéma ci-dessous.



Figure 9 : Coupe schématique du contexte du mobilier urbain.

Enfin, on évalue par tiers d'octave la **perte par insertion IL** (pour Insertion Loss) du dispositif, c'est-à-dire la différence de niveau sonore entre la situation avec et sans le dispositif : plus cette perte est élevée, plus le dispositif est efficace en termes d'atténuation acoustique.

Cet indicateur est calculé pour chacun des points récepteurs et en faisant une moyenne pour chacune des sources, puis intégré sur toutes les fréquences pour obtenir une perte par insertion moyenne en dB(A). On calcule une perte par insertion pour le récepteur assis et pour la zone de récepteurs (on présente dans ce cas la valeur moyenne, minimale et maximale de l'indicateur sur les différents points).

**Il est important de préciser que cet indicateur (qui représente une différence entre deux situations) n'est pas sensible à la quantité de trafic et donc au niveau sonore que l'on pourrait mesurer à proximité d'une telle route. Il ne quantifie que la réduction due à la présence du dispositif.**

La représentation en coupe verticale du dispositif correspond à la diffraction principale. On compare les variantes géométriques proposées, à savoir les deux types de systèmes constructifs (ajouré et massif).

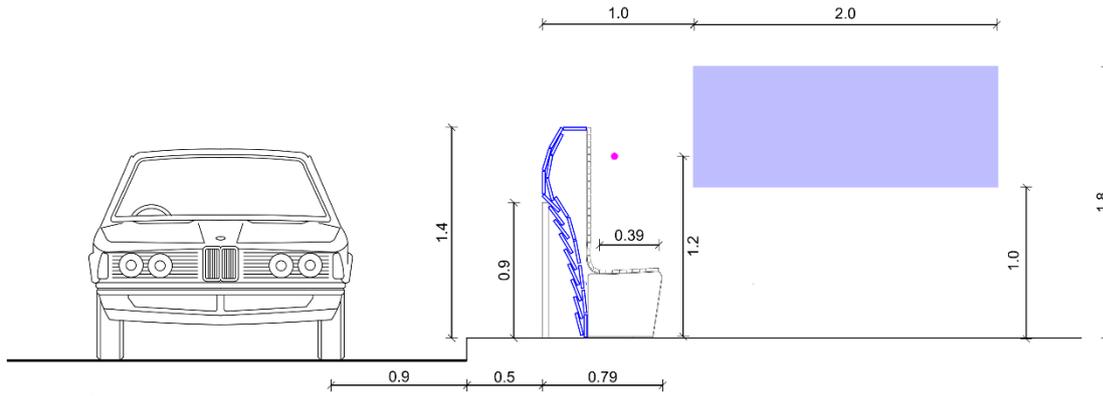


Figure 10 : Coupe schématique du principe constructif ossature et remplissage et positionnement des récepteurs de calculs.

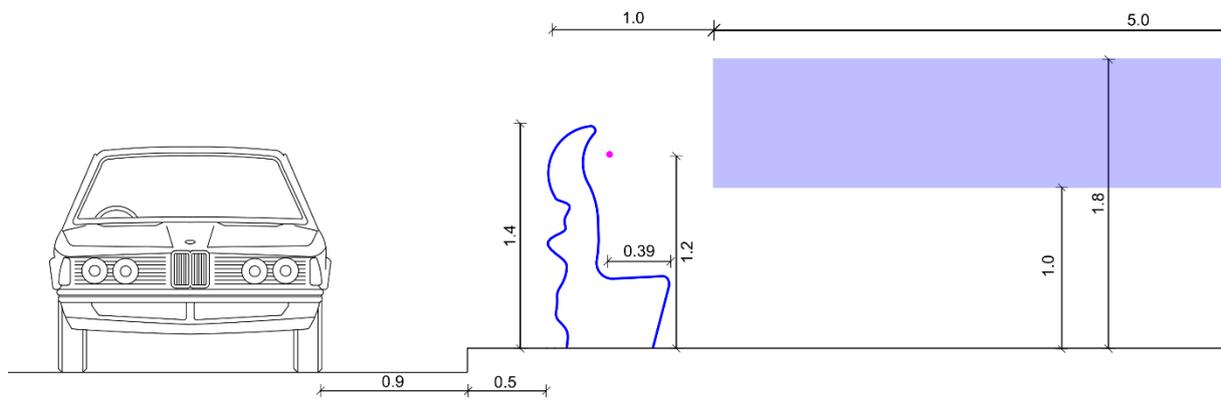


Figure 11 : Coupe schématique du principe constructif avec assemblage de panneaux bois et positionnement des récepteurs de calculs.

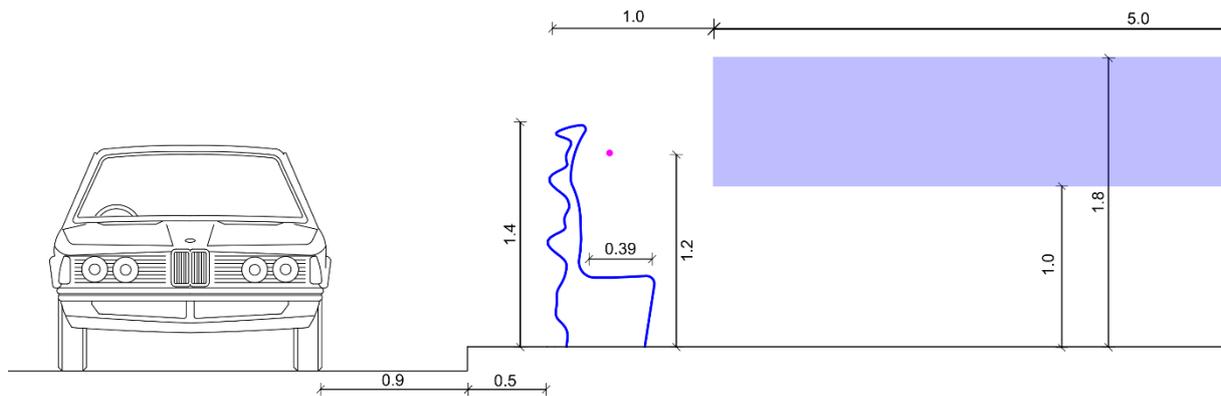


Figure 12 : Coupe schématique du principe constructif avec assemblage de panneaux bois et une forme plus complexe du mobilier.

### Résultats de calcul de l'effet de la diffraction principale

On présente ci-dessous les résultats d'atténuation pour les variantes considérées, soit pour le récepteur assis (oreille d'une personne assise sur le dispositif) soit sur la zone de récepteurs piétons debout, en moyenne, au minimum et au maximum.

Variante	Atténuation [dB(A)] Récepteur assis	Atténuation [dB(A)] – Zone de récepteurs debout		
		Moyenne	Minimum	Maximum
1 : ajouré	6.7	5.1	1.8	6.5
2 : massif	12.5	8.6	1.6	13.7
3 : massif + forme complexe	12.9	9.2	2.1	14.4

### Analyse de la performance acoustique des dispositifs

Dans la première variante, malgré la superposition des éléments les uns sur les autres pour former une enveloppe continue, il se crée des « fuites » acoustiques entre chaque pièce. De plus, le dispositif est beaucoup plus léger que le second système constructif. Ces deux facteurs diminuent la performance acoustique avec une atténuation maximale calculée de 6 dB(A) environ pour les personnes assises et debout. Ce niveau d'atténuation est perceptible mais faible en termes d'amélioration ressentie du confort acoustique.

Dans la seconde variante, la massivité du dispositif permet de créer de forte atténuation pour les personnes assises sur le banc et une atténuation moyenne importante dans la zone située à proximité.

**Devant ces résultats, nous avons choisi de garder une seule variante pour la suite de l'étude, à savoir le système constructif en bois composé d'un assemblage de panneaux en bois.**

## 2.2. Échelle de la forme du mobilier

### Caractéristiques

#### *Hauteur*

Il s'agit d'identifier la hauteur minimale pour que le mobilier puisse avoir une influence sur la diffraction sonore tout en offrant différentes postures pour les usagers de ce mobilier.

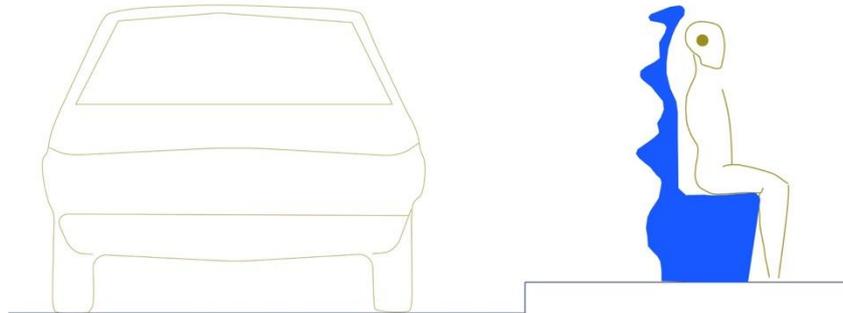


Figure 13 : Coupe schématique du mobilier avec une hauteur d'environ 1,40 mètre.

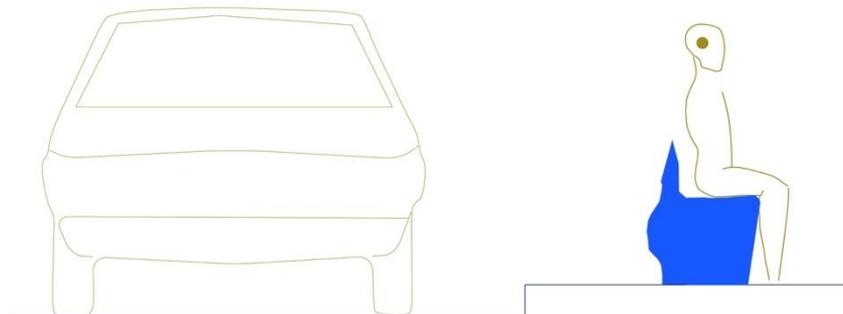


Figure 14 : Coupe schématique du mobilier avec une hauteur d'environ 0,90 mètre.

Notons que la hauteur de 0.90 m n'apporte aucune amélioration acoustique pour une personne assise, cette dernière étant en visibilité directe des sources de bruit routières.

Concernant les personnes de bout à proximité du dispositif, l'atténuation est non-nulle mais demeure faible (inférieure à 6 dB) compte-tenu de la distance entre le bord diffractant du dispositif et les sources de bruit. Des calculs supplémentaires associés à cette configuration pourront préciser ces niveaux d'atténuation attendus.

### Longueur

On considère que la longueur maximale acceptable pourrait être de 15 m, mais on explorera avant tout des longueurs plus faibles plus à même de s'insérer dans le tissu urbain. En particulier, on s'intéressera à des éléments de 7,5 m qui permette de recevoir en moyenne 10 personnes assises. Ils seront à même d'être séquencés sur des avenues exposées à des nuisances sonores.

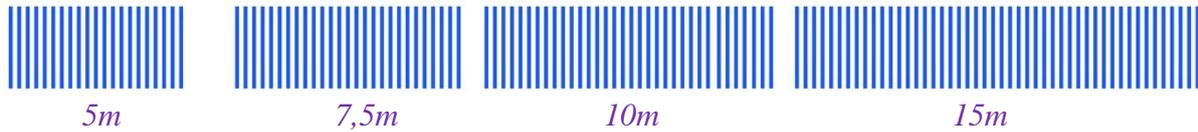


Figure 15 : Plan schématique du mobilier avec une variation de longueur.

### Géométrie

Afin de considérer les configurations urbaines en présence, la géométrie du mobilier urbain pourra varier selon son épaisseur : de la forme linéaire à la forme concave.



Figure 16 : Plan schématique du mobilier avec une longueur de 15 mètres.

La géométrie du mobilier urbain pourra aussi varier dans son implantation, d'une implantation rectiligne à l'angle droit.

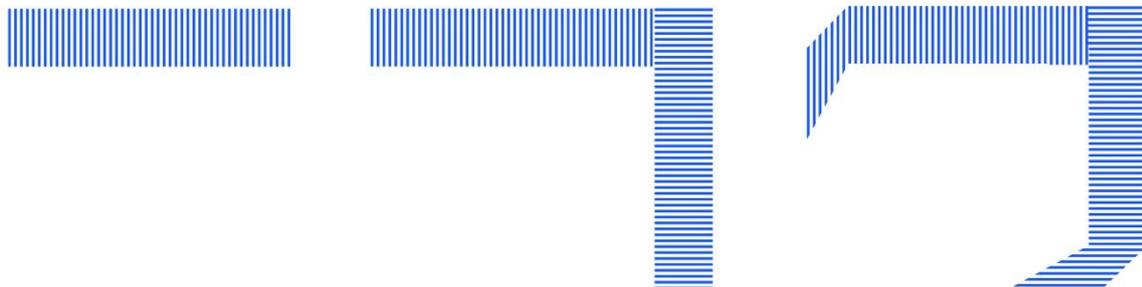


Figure 17 : Plan schématique du mobilier avec une longueur de 15 mètres à deux éléments en angle de 7,5 mètres.

### Méthode de calcul pour l'évaluation de la forme du dispositif

La forme du dispositif fait intervenir sa hauteur dans le plan de coupe mais également son étendue dans le plan horizontal. La méthode de calcul utilisée pour étudier l'influence de la forme sur la performance est donc une méthode de calcul 3D : on est en présence d'un ensemble de sources de bruit sur des lignes (la trajectoire des véhicules) et d'un objet de longueur et de hauteur finie qui protège une zone. Pour cette configuration 3D, la méthode BEM présentée précédemment est inadaptée, le temps de calcul associé étant prohibitif.

On utilise pour ce type de calcul des méthodes normalisées pour l'exposition au bruit en zone urbaine, en particulier via le logiciel MithraSIG (co-développé par le CSTB et la société Geomod).

**Un point important de ces méthodes normalisées concerne la modélisation des écrans acoustiques basée sur l'hypothèse d'un écran vertical mince.** Cette hypothèse est nécessaire pour simplifier le calcul

de la diffraction principale et latérale. Les résultats qui suivent s'intéressent donc uniquement à l'échelle de la forme du dispositif et de l'implantation urbaine.

Pour mener à bien le calcul, on se donne un ensemble de lignes sources placées de manière cohérente avec le positionnement choisi dans le cas du calcul de la diffraction principale. Six voies de circulation sont positionnées conformément à la géométrie des calculs BEM de la diffraction principale. Notons que les méthodes normalisées font l'hypothèse d'une ligne source unique par voie de circulation, regroupant les sources moteur et de contact pneu-chaussée, centrée sur la chaussée et de hauteur non-nulle. Cette différence par rapport aux calculs BEM a une influence négligeable sur les résultats : ces derniers considérant des différences de niveaux entre la situation sans et avec dispositif, les différences de modélisation des sources s'annulent. L'écran droit représentant le dispositif a une hauteur de 1.4 m (la hauteur de design choisie à l'échelle du dispositif). Une vue de dessus du modèle comprenant les sources et l'écran est présentée sur la Figure 18.

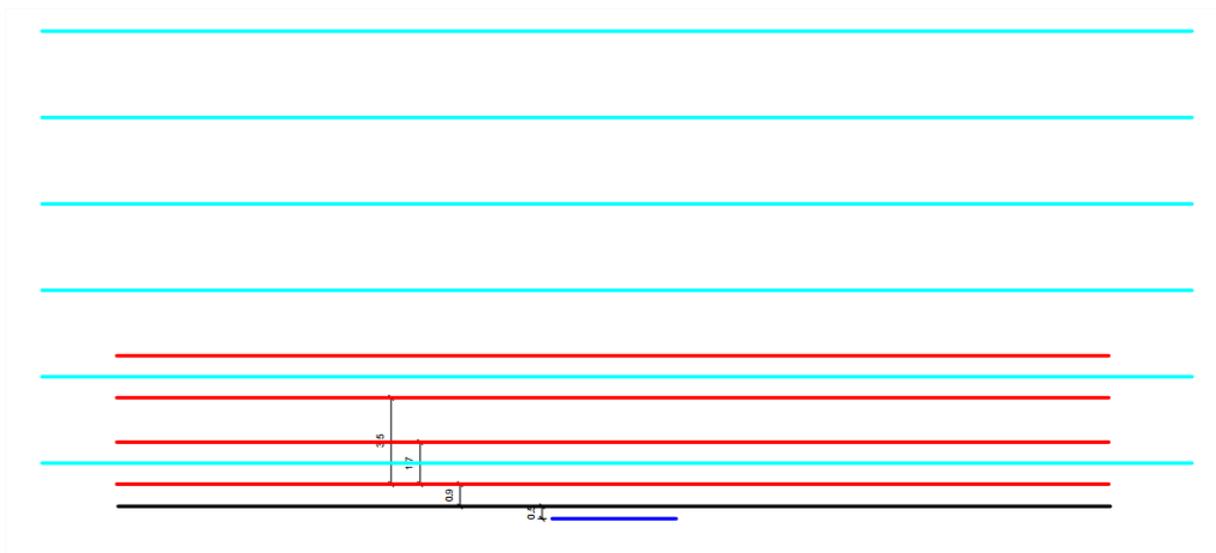


Figure 18 : Vue en plan des sources (lignes bleu clair) et de l'écran (ligne bleu foncé) considérés.

Les niveaux sonores avec et sans écran sont calculés sur une surface horizontale positionnée derrière l'écran, autour de la zone à protéger, à une hauteur de 1.2 m au-dessus du sol (voir Figure 19). La hauteur est cohérente avec le choix du récepteur assis de l'approche à l'échelle du système.



Figure 19 : Zone de calcul (surface rose) des niveaux de bruit avec et sans dispositif.

On peut ensuite calculer la différence de niveau entre les deux cas et obtenir l'atténuation due à la présence de l'écran en dB(A) en tous les points du domaine.

On choisit de représenter cette atténuation suivant une échelle de couleur spécifique, par pas de 1 dB, et telle que la zone où l'atténuation excède 6 dB(A) soit clairement visible. Cette échelle est représentée sur la Figure 20.

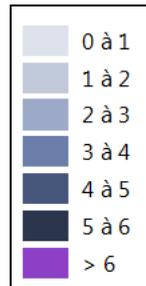


Figure 20 :: Echelle de couleurs représentant la réduction du niveau sonore en dB(A) générée par le dispositif.

Notons que cette valeur de 6 dB(A) d'atténuation correspond à un seuil pour lequel il y a un effet notable de réduction du bruit perçu [6].

Les résultats qui suivent présentent les cartes d'atténuation associées aux différentes variantes de forme du dispositif.

**Résultats**

*Pour le critère de la longueur :*

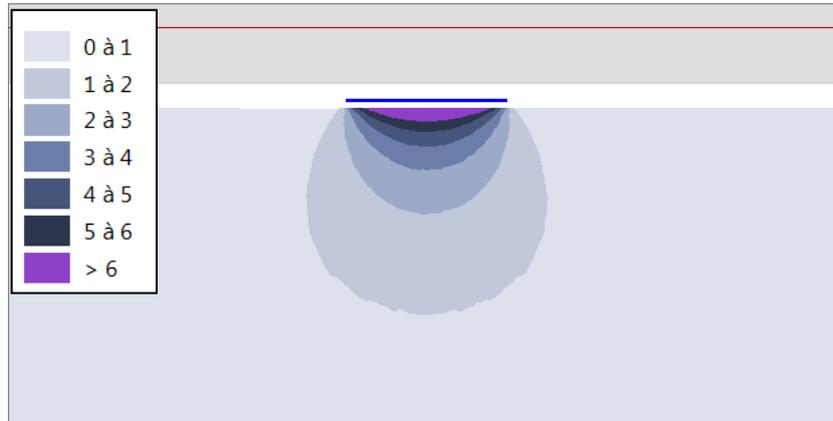


Figure 21 : Réduction du niveau sonore pour un dispositif de longueur 5 m (cas 1a).

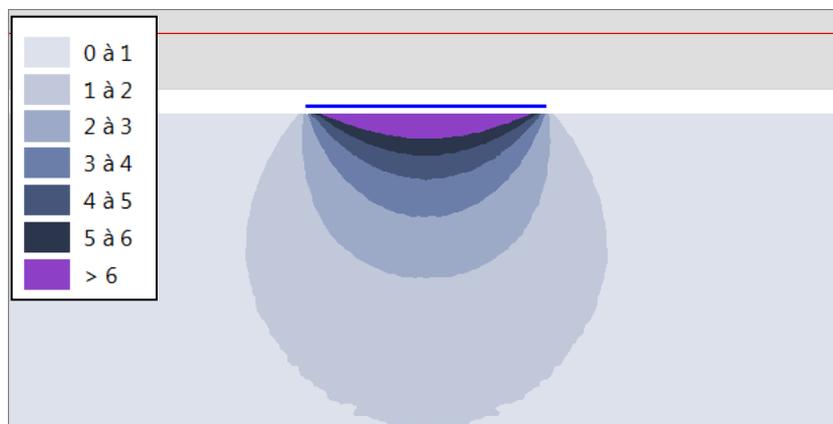


Figure 22 : Réduction du niveau sonore pour un dispositif de longueur 7.5 m (cas 1b).

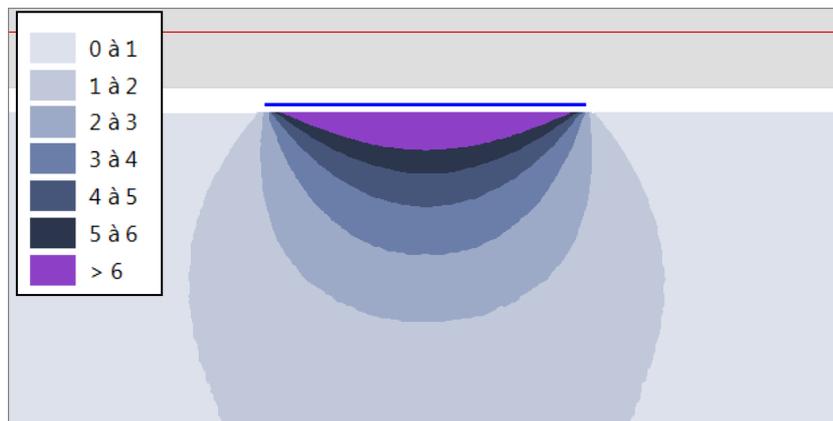


Figure 23: Réduction du niveau sonore pour un dispositif de longueur 10 m (cas 1c).

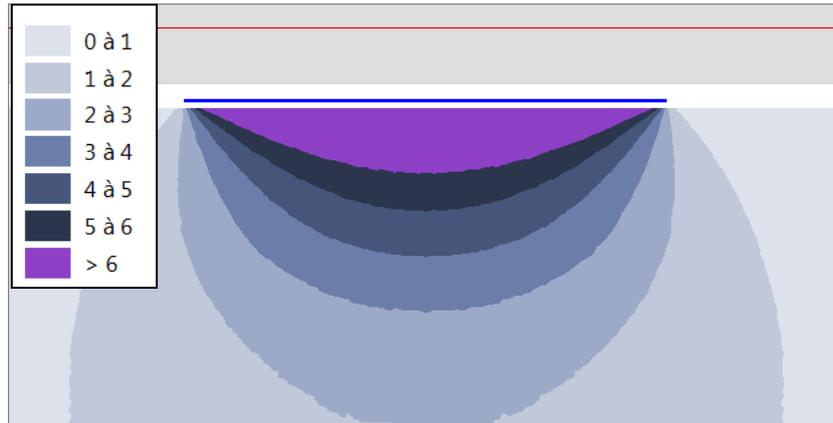


Figure 24 : Réduction du niveau sonore pour un dispositif de longueur 15 m (cas 1d).

**Pour le critère de la géométrie :**

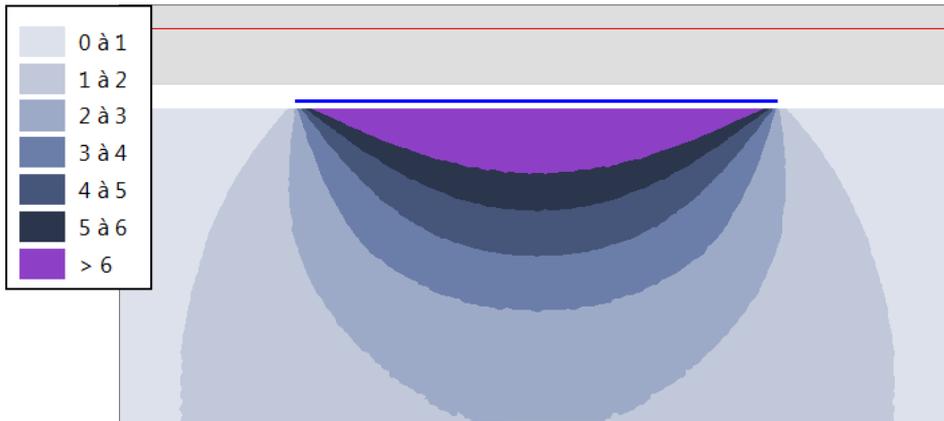


Figure 25 : Réduction du niveau sonore pour un dispositif sans retour (longueur 15 m) (cas 2a/1d).

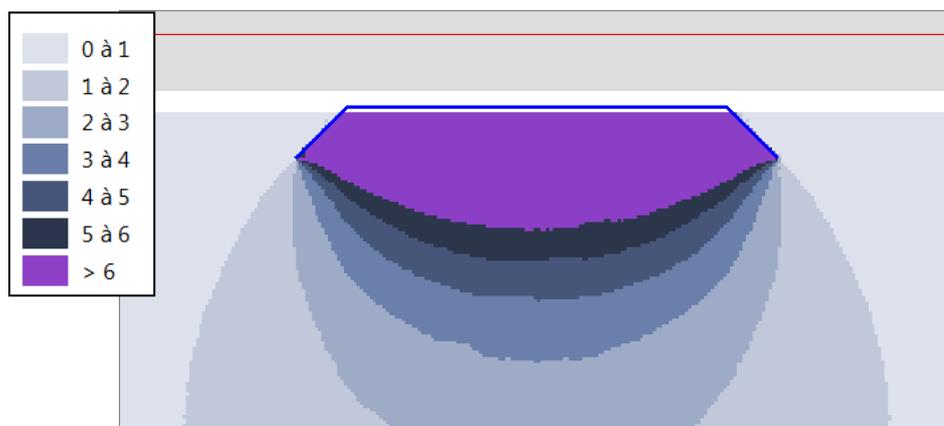


Figure 26 : Réduction du niveau sonore pour un dispositif avec retour 45° (longueur 15 m) (cas 2b).

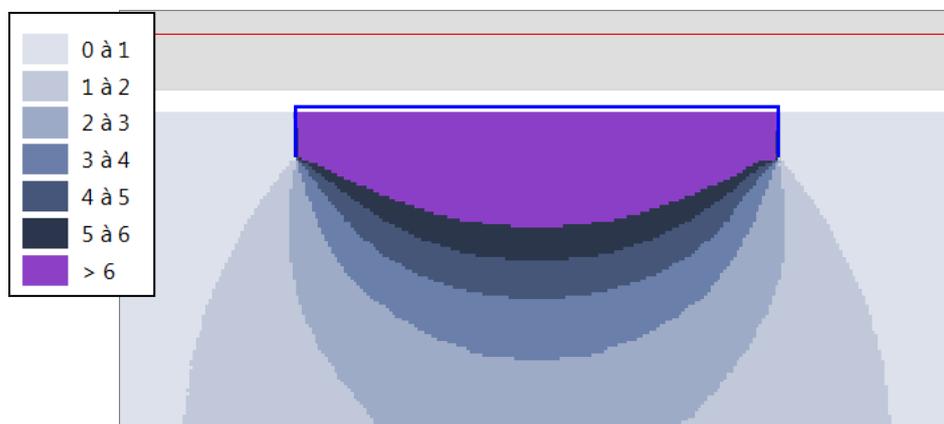


Figure 27 : Réduction du niveau sonore pour un dispositif avec retour 90° (longueur 15 m) (cas 2c).

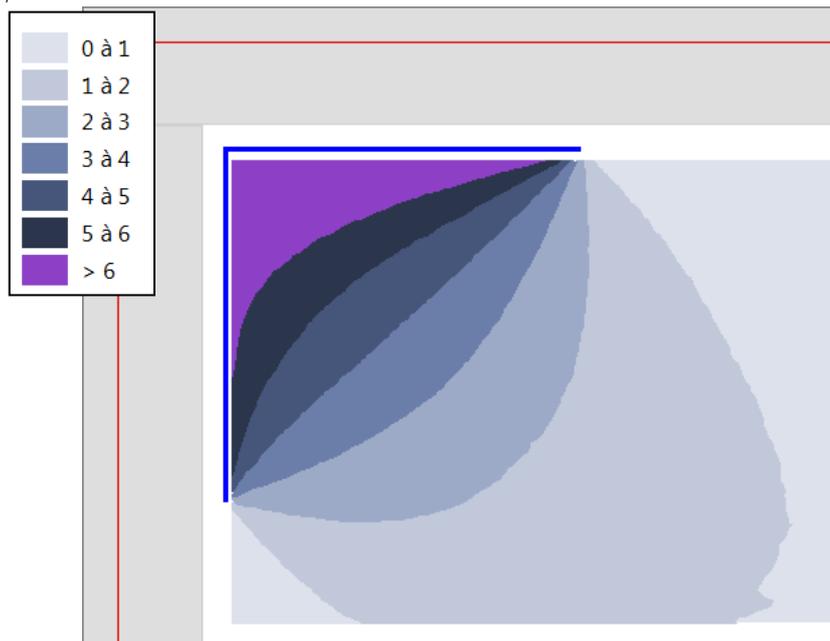


Figure 28 : Réduction du niveau sonore pour un dispositif en angle (longueur 7.5+7.5 m) (cas 3a).

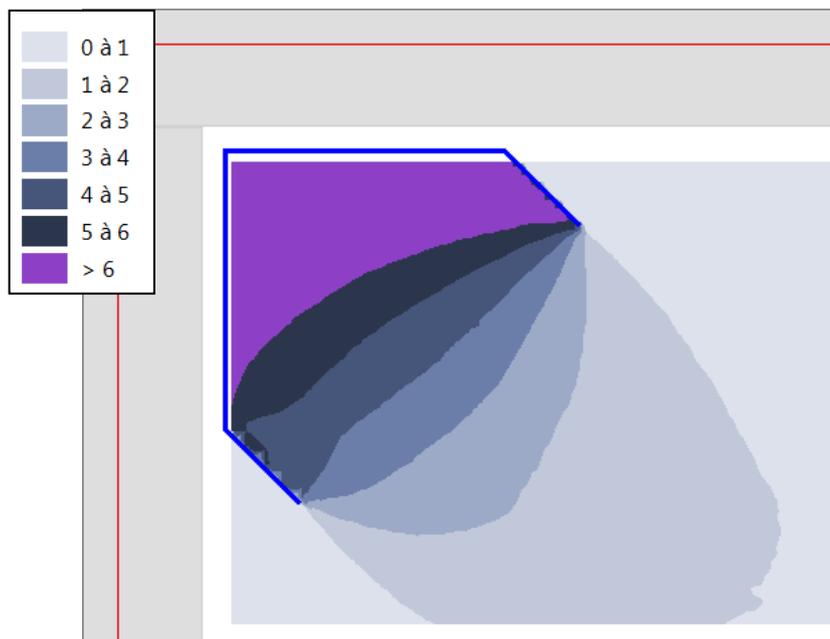


Figure 29 : Réduction du niveau sonore pour un dispositif en angle avec retour 45° (longueur 7.5+7.5 m) (cas 3b).

### Analyse de la performance acoustique des dispositifs

Les résultats présentés plus haut montrent que :

- La longueur du dispositif a une influence directe sur la profondeur de la zone d'atténuations supérieures à 6 dB(A) ;
- La présence de retours aux extrémités du dispositif permet d'augmenter de manière significative la zone d'atténuations positives. Les formes géométriques les plus performantes sont notamment linéaires avec retours (cas 2b, Figure 26 et 2c, Figure 27). Pour la configuration en angle (Figure 29 et Figure 30), la présence de retours augmente là-encore de manière significative la surface protégée.

## 2.3. Échelle de la séquence

### Caractéristiques

De face, l'espace entre chaque dispositif d'écran sonore / mobilier urbain peut être plus ou moins proche. Il s'agira ainsi de croiser le confort acoustique recherché et les porosités désirées (vue, possibilité de passer pour une ou deux personnes)

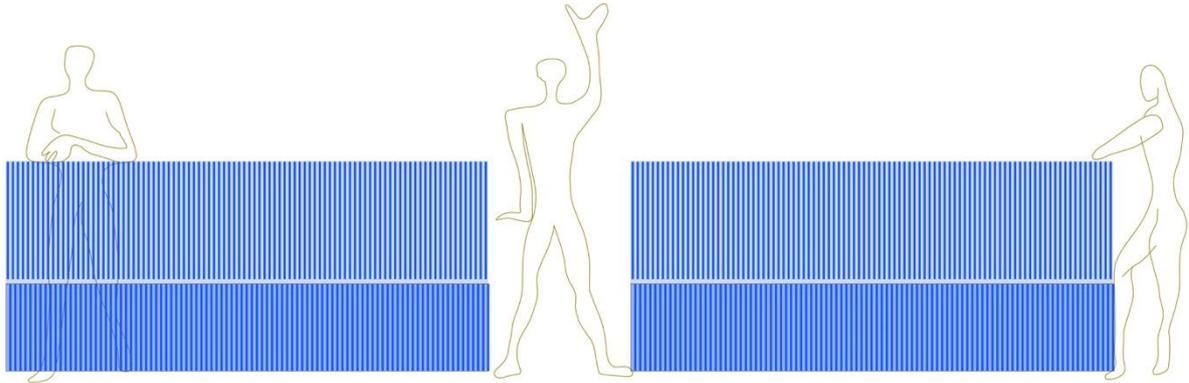


Figure 30 : Coupe schématique du mobilier d'une longueur de 7,5 mètres avec un espace central de 0,7 m et de 2,5 m.

### Méthode

La méthode utilisée pour cette échelle est identique à l'échelle de la forme.

### Résultats

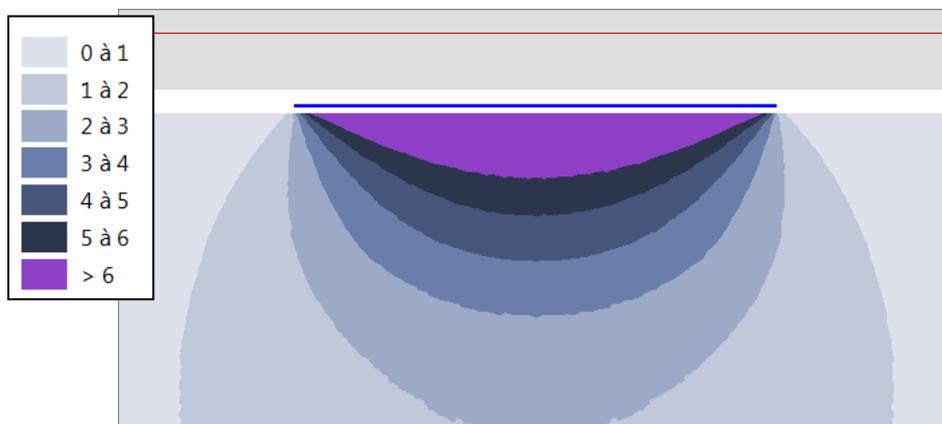


Figure 31 : Réduction du niveau sonore pour deux dispositifs de longueur 7.5 m sans espace (cas 4a/1d).

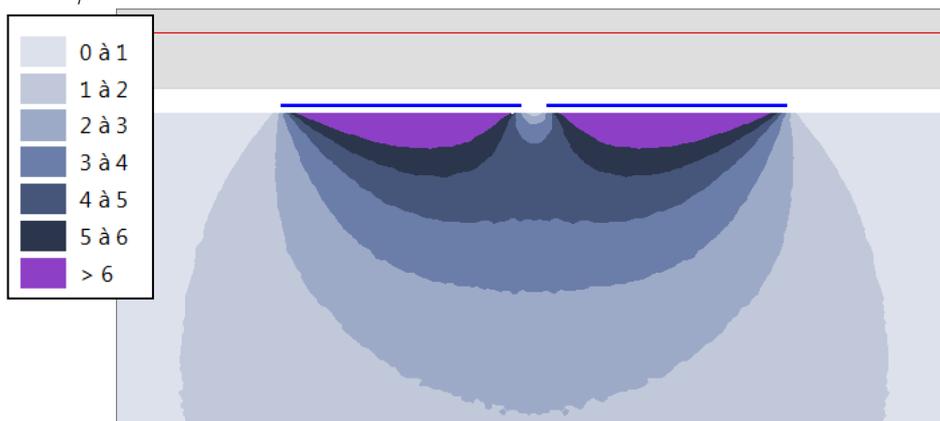


Figure 32 : Réduction du niveau sonore pour deux dispositifs de longueur 7.5 m espacé de 0.7 m (cas 4b).

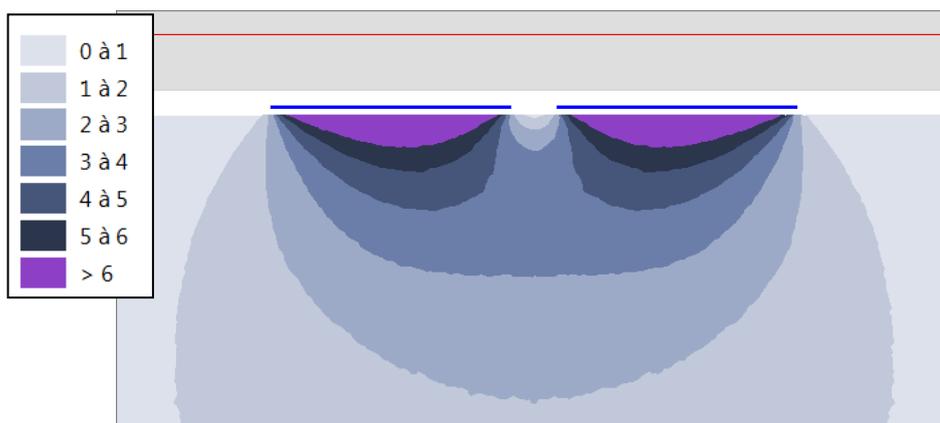


Figure 33 : Réduction du niveau sonore pour deux dispositifs de longueur 7.5 m espacé de 1.4 m (cas 4c).

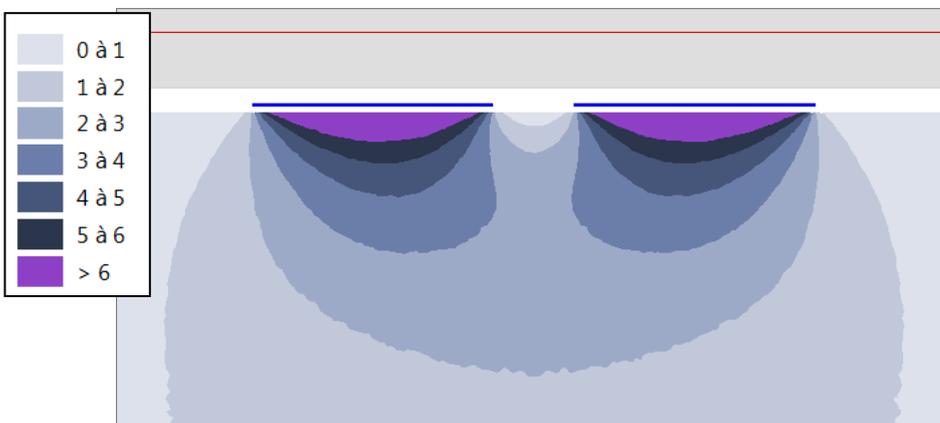


Figure 34 : Réduction du niveau sonore pour deux dispositifs de longueur 7.5 m espacé de 2.5 m (cas 4d).

### Analyse de la performance acoustique des dispositifs

On constate que plus l'espace entre deux dispositifs augmente plus la performance de l'ensemble se réduit à la performance d'un dispositif unique de même longueur, considéré individuellement.

A l'inverse, plus l'espace entre deux dispositifs se réduit, plus la performance obtenue approche celle d'un dispositif unique de longueur double. Des espacements étroits entre les dispositifs sont dès lors envisageables pour favoriser leurs insertions urbaines et maintenir une zone de protection acoustique optimale.

## 2.4. Comparaison des variantes étudiées

On propose ici de comparer les différentes variantes de formes et de séquençement présentées dans les deux sections précédentes sur la base d'un indicateur unique.

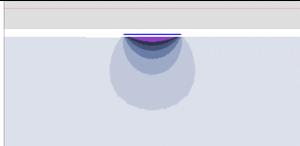
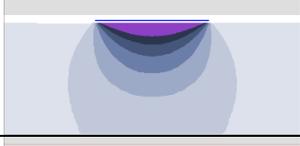
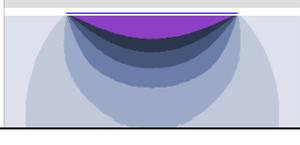
Cet indicateur, dénommé **profondeur de protection sonore équivalente à 6 dB**, représente la profondeur de la zone de protection à l'arrière de l'écran obtenue en répartissant la zone d'atténuation supérieure à 6 dB(A) sur un rectangle couvrant toute la longueur de l'écran. Cette profondeur représente ainsi un indicateur de comparaison de l'efficacité de dispositifs de forme et de longueurs différentes. Plus la profondeur de protection équivalente est élevée, plus l'efficacité acoustique du dispositif est importante.

La profondeur équivalente, exprimée en mètres, s'obtient en divisant l'aire de la zone d'atténuation supérieure à 6 dB(A) (zone en violet sur les figures précédentes) par la longueur du dispositif.

Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux qui suivent. Les colonnes indiquent respectivement :

- La variante concernée (indiquée par la vignette de la carte d'atténuation et l'identifiant) ;
- La longueur du dispositif en mètre ;
- La superficie en mètre carrés de la zone d'atténuations supérieures à 6 dB(A) ;
- La profondeur de protection sonore équivalent à 6 dB en mètres.

### Variation du mobilier selon sa longueur :

Cas	Longueur (m)	Surface att. > 6 dB(A) (m <sup>2</sup> )	Profondeur équivalente (m)
 1a	5	<b>1.034</b>	<b>0.21</b>
 1b	7.5	<b>3.238</b>	<b>0.43</b>
 1c	10	<b>6.781</b>	<b>0.68</b>
 1d	15	<b>18.087</b>	<b>1.21</b>

Les valeurs de profondeur équivalente obtenues montrent que :

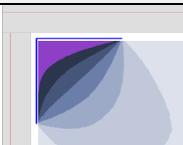
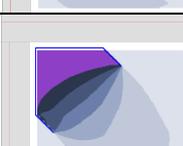
- plus le mobilier est long, plus l'efficacité acoustique est intéressante ;
- pour la plus petite longueur, le mobilier a très peu d'efficacité ;
- **la zone de confort est multipliée par un facteur 2 en passant d'une longueur de 10 à 15 m.**

**Variation du mobilier selon sa géométrie en linéaire :**

Cas	Longueur (m)	Surface att. > 6 dB(A) (m <sup>2</sup> )	Profondeur équivalente (m)
 2a (1d)	15	<b>18.087</b>	<b>1.21</b>
 2b	15	<b>39.971</b>	<b>2.67</b>
 2c	15	<b>40.950</b>	<b>2.73</b>

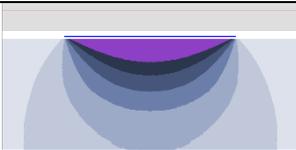
Les valeurs de profondeur équivalente obtenues montrent que la présence de retours améliore de manière significative la performance du dispositif, la profondeur équivalente étant plus que doublée pour les deux configurations de retours (à 45° et à 90°). Le type de retour a lui peu d'influence sur l'amélioration obtenue.

**Variation du mobilier selon sa géométrie en angle :**

Cas	Longueur (m)	Surface att. > 6 dB(A) (m <sup>2</sup> )	Profondeur équivalente (m)
 3a	7.5	<b>8.001</b>	<b>1.07</b>
 3b	7.5	<b>16.174</b>	<b>2.16</b>

La configuration en angle sans retour permet d'atteindre des valeurs de profondeur équivalente similaires à une configuration droite de 15 m (cas 1d). Avec la présence de retour, la profondeur équivalente est doublée. En revanche, cette configuration risque de poser des questions d'insertion urbaine.

**Variation du mobilier selon l'espace entre chaque élément :**

Cas	Longueur (m)	Surface att. > 6 dB(A) (m <sup>2</sup> )	Profondeur équivalente (m)
 4a (1d)	15	18.087	1.21
 4b	15	9.406	0.63
 4c	15	8.389	0.56
 4d	15	7.554	0.50
 1b	15	6.616	0.44

Les valeurs de profondeur équivalente obtenues pour les différentes configurations de séquençement montrent que la performance acoustique est divisée par un facteur 2 dès que le dispositif de 15 m est remplacé par 2 dispositifs espacés de 0.7 m (cas 4b). Plus cet espace augmente, plus la performance décroît (cas 4c et 4d). Au-delà de 1.4 m d'espacement (cas 4d), les éléments peuvent être considérés comme indépendants et d'efficacité environ équivalente à celle d'un élément unique (cas 1b) de même longueur.

**Conclusion générale sur le choix de la forme**

Les résultats discutés plus haut peuvent orienter le choix d'une configuration optimale suivant les critères suivants :

- La longueur du dispositif a une influence significative sur la performance ;
- Une longueur supérieure ou égale à 10 m permet d'atteindre une profondeur de protection importante ;
- La présence de retours aux extrémités du dispositif permet de doubler la profondeur de protection ;
- Le séquençement du dispositif divise la profondeur de protection par un facteur 2 environ lorsque l'on passe d'un dispositif de longueur L à deux dispositifs de longueur L/2 espacés de 1.4 m ou moins.

Au vu de ces résultats, c'est la forme linéaire (10 m. minimum) avec retour, qui présente des performances suffisantes pour améliorer de manière significative le confort perçu. La forme à privilégier constitue donc un mobilier urbain imposant. Le séquençement semble dès lors difficile à envisager dans

un contexte urbain. La variabilité de la hauteur est envisageable au delà d'un mètre. Des calculs supplémentaires prenant en compte une forme spécifique de mobilier pourront établir la variation de performance acoustique en fonction de différentes hauteurs de dispositif.

En conclusion, nous privilégierons donc l'option d'un mobilier urbain d'envergure, qui ne pourra s'implanter que dans des contextes singuliers (lieu d'attente, source sonore d'un seul côté, proximité de la source sonore) et en offrant des usages combinés (assise, jeux, abris bus, garage à vélo,...).

### 3. Implantation du mobilier selon contexte et selon les types d'usages

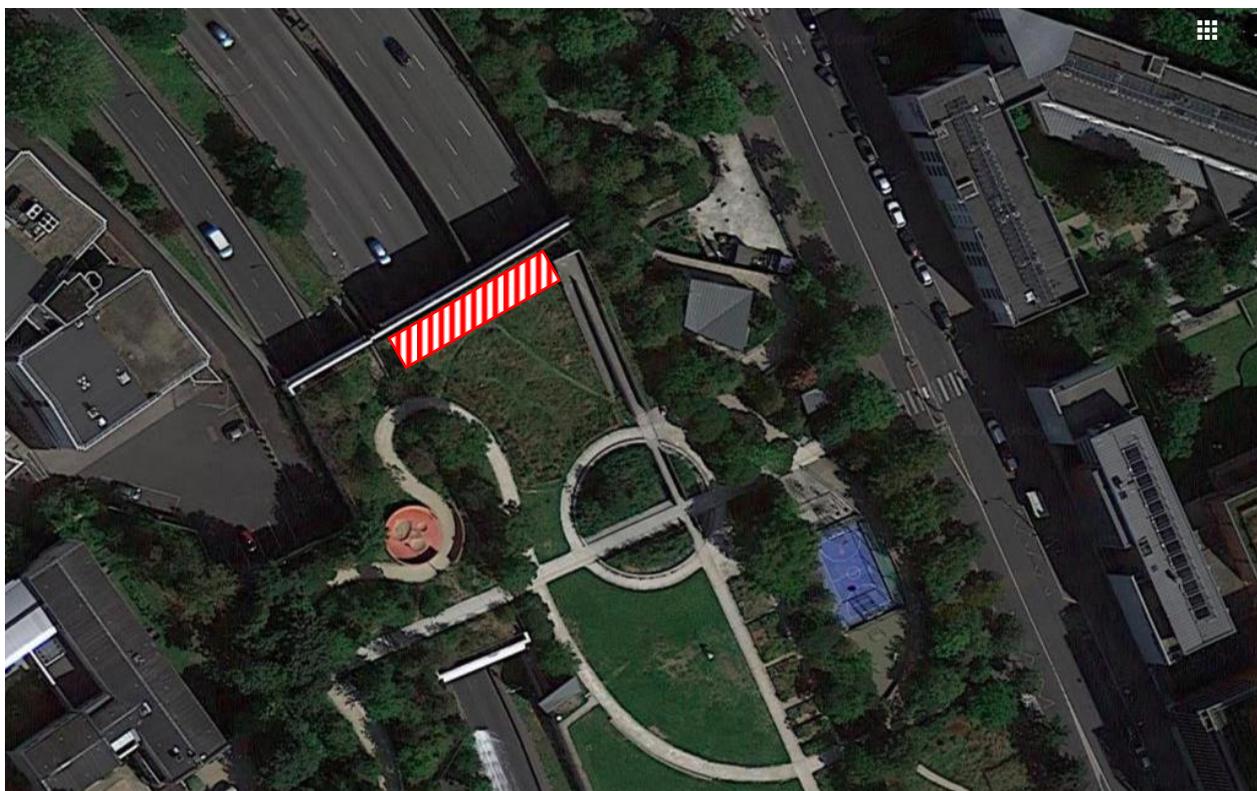
Le CSTB a contacté Bruitparif qui a suggéré une liste de lieux potentiels d'implantation, majoritairement de type squares et parcs en bordure de voiries. D'autres sites ont été ajoutés à cette liste en considérant les aspects suivants :

- Usages environnants le lieu (possibilité, voire obligation d'attendre à une aire de jeux, une terrasse de restaurant, entrée d'un logement...);
- Dimension de l'espace à protéger ;
- Présence des sources sonores prépondérantes sur un seul côté ;
- Pas de végétation autour du parc et un trottoir de faible largeur pour rapprocher le mobilier des sources sonores.

Six sites ont été retenus au regard de ces critères. Ils sont présentés par ordre d'intérêt. Pour ces six sites, une visite in situ devra être effectuée avant la sélection définitive. Il s'agira d'identifier et d'évaluer s'il existe d'autres sources sonores que celles identifiées par les représentations cartographiques et si elles ne viennent pas polluer la zone à protéger.



: zone d'emplacement du mobilier urbain- écran sonore

Lieu / Info. GPS	Particularités du site
<p><b>1/ Jardin Serge Gainsbourg sur le Bd Périphérique</b> 48.879101, 2.407880</p> 	<p>Sources sonores en contrebas du parc Assises en direction du parc</p>
<p><b>2/ Extension des espaces piétons sur les zones de stationnement</b> <b>Exemple Rue de Batignolles :</b> 48.883369, 2.323411</p> 	<p>Proximité des sources sonores (protéger les oreilles) Installation d'un Parklet, extension des espaces piétons sur les zones de stationnement</p>

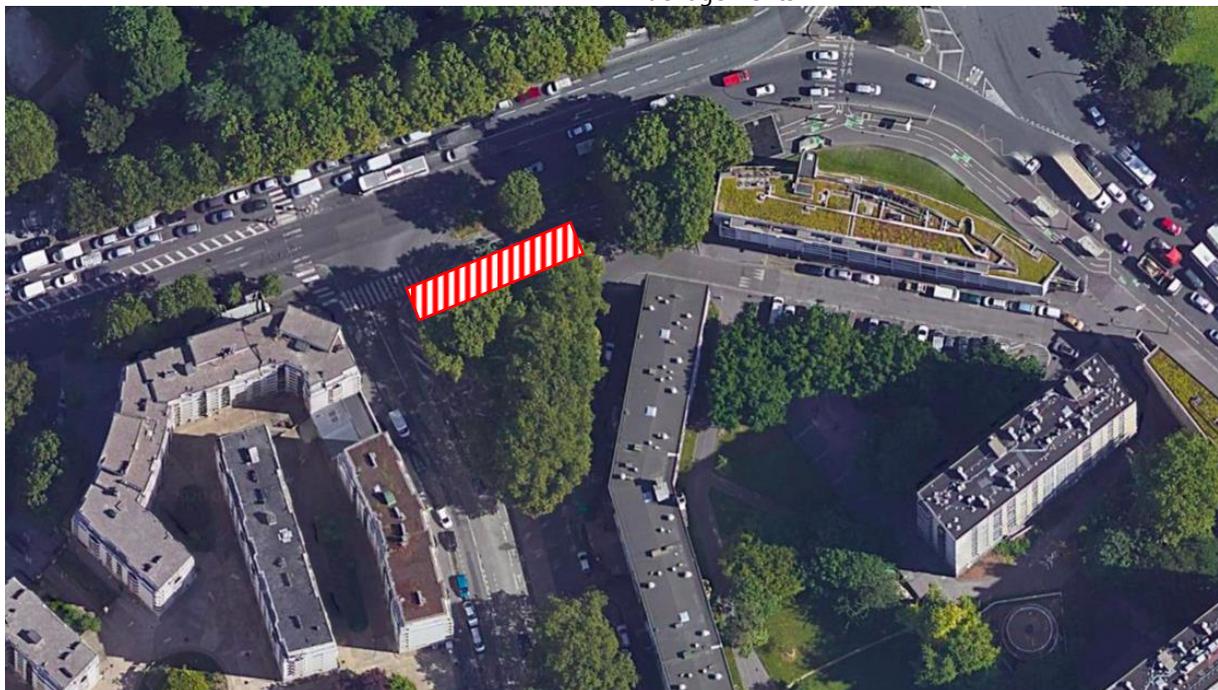
**3/ Square Emile-Chautemps**  
48.867058, 2.354280

Square suffisamment grand pour que la zone protégée ne soit pas polluée par les rues opposées  
Mobilier urbain situé le long du jeux enfants



**4/ Entrée du quartier Python Duvernois**  
48.864754, 2.410669

Protection du triangle entre l'axe Porte Bagnolet, la rue Louis lumière et la rue Joseph Python  
Aménagement d'une entrée piétonne à cet ensemble de logements

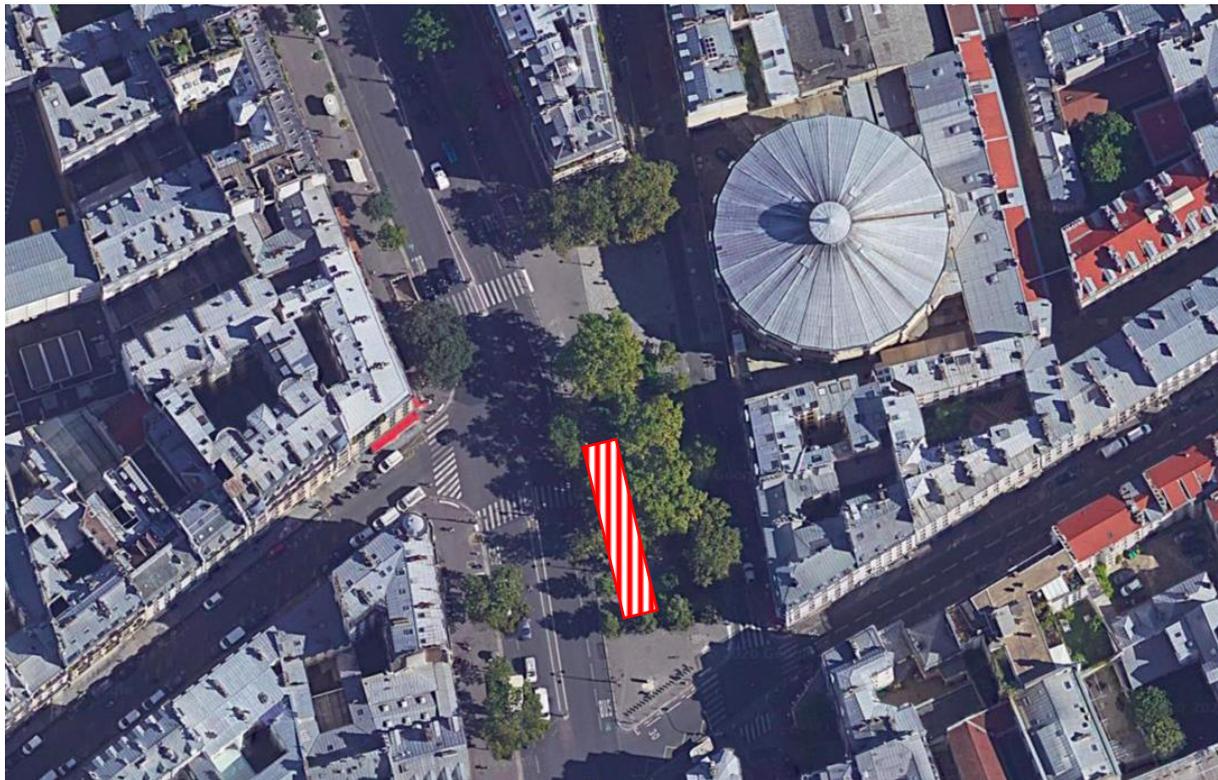


**2/ Square de la Place Padeloup le long du Boulevard**

Point de vigilance : éloignement des sources sonores

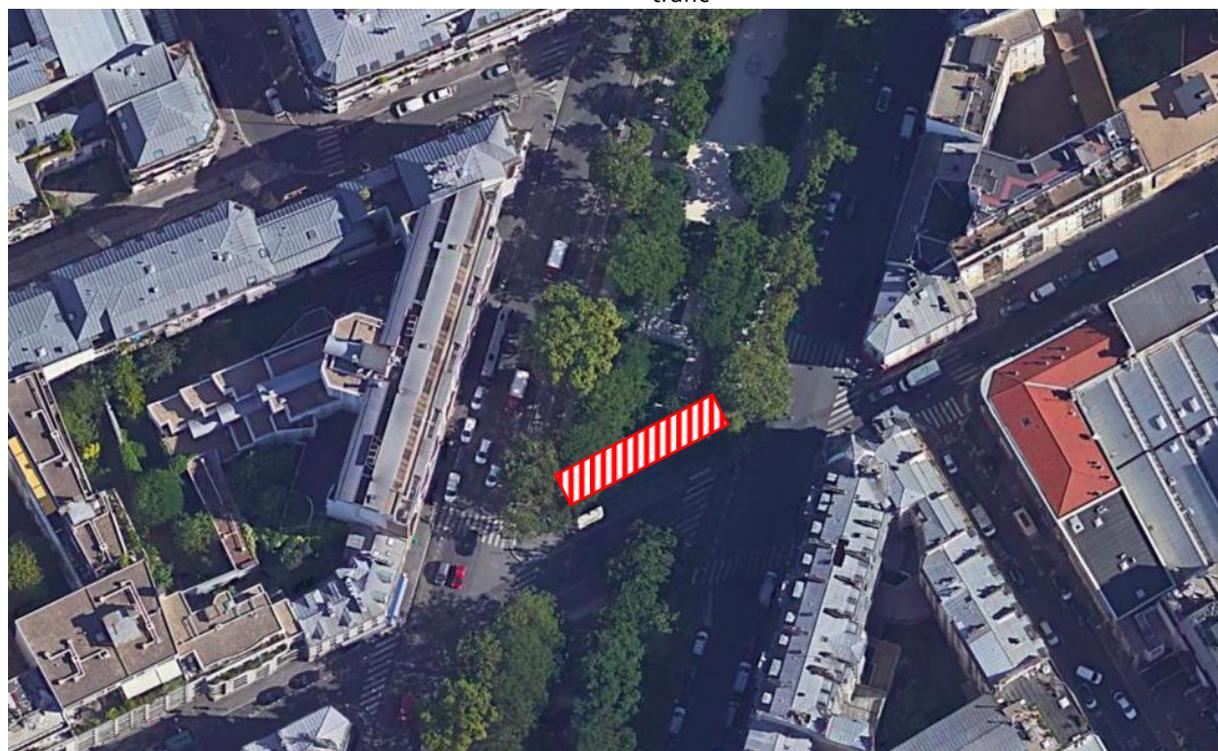
du Temple  
48.863031, 2.366990

principale (largeur trottoir et végétation de la couronne du square) et influence possible du trafic des autres voiries.



**4/ Parc au croisement** 19 Rue chemin vert et Boulevard Richard Lenoir  
48.857985, 2.371326

Parc potentiellement trop petit et zone protégée exposée à la voie opposée d'autant que les 2 côtés du bd et la rue du chemin vert ont à peu près le même trafic



## 4. Descriptif de la variante retenue

Afin de maximiser les bénéfices du dispositif étudié en termes de performances, il a été décidé de privilégier une configuration de mobilier de type « Parklet », destiné à protéger une zone de terrasse en bordure de voirie. Ce type de mobilier, déjà utilisé dans plusieurs villes dont Paris, est particulièrement adapté à une version « acoustique » permettant de protéger les usagers des nuisances sonores issues du trafic routier. En effet, comme déjà expliqué, le dispositif d'écran est d'autant plus efficace qu'il est proche des sources sonores, de manière à maximiser la « zone d'ombre » qui en résulte.

On propose dans cette section d'étudier les performances d'un mobilier de type « Parklet » implanté sur un site réel et intégrant l'ensemble des phénomènes acoustiques du lieu.

Le site choisi est le trottoir face à l'entrée du Pavillon de l'Arsenal (voir Figure 35).



Figure 35: Site d'implantation du mobilier urbain de type "Parklet".

La largeur du trottoir à cet emplacement est de 6 m. La zone à traiter est située entre les deux arbres, de part et d'autre de l'entrée principale du bâtiment, soit une longueur de 9 m.

Notons que l'espace retenu constitue un test fictif. En effet, ce type de mobilier aurait plus de pertinence sur la chaussée, au niveau des espaces de stationnement et dans ce contexte, les paysages en vis à vis ne sauraient être invisibilisés, la placette ayant été récemment réaménagée et paysagée et donne un horizon depuis et vers le Pavillon de l'Arsenal. Cependant, cet espace nous paraît intéressant car soumis aux nuisances sonores du boulevard Morland en façade de l'équipement. Par ailleurs, l'espace face aux deux terrasses du café Le Sully, initialement envisagé, n'est pas compatible avec un mobilier proche de la voirie en bordure du trottoir du fait de la présence d'arbres rapprochés et des passages piéton.

Le mobilier simulé ici intègre un écran rigide similaire aux dispositifs étudiés précédemment, positionné à 50 cm de la bordure de trottoir. La hauteur de l'écran est de 1m40 par rapport au niveau de la chaussée, et non du trottoir. Il faut donc soustraire la hauteur du trottoir pour obtenir la hauteur réelle du mobilier. Le mobilier intègre également un « retour » perpendiculaire aux deux extrémités de la zone sur une profondeur de 2m50.

Ce type de géométrie représente l'effet d'un mobilier opaque dont l'arrête haute côté voirie serait positionnée à 0.5 m en retrait et 1m40 au-dessus de la chaussée.

La Figure 36 présente la vue 2D du site modélisé à l'aide du logiciel MithraSIG.

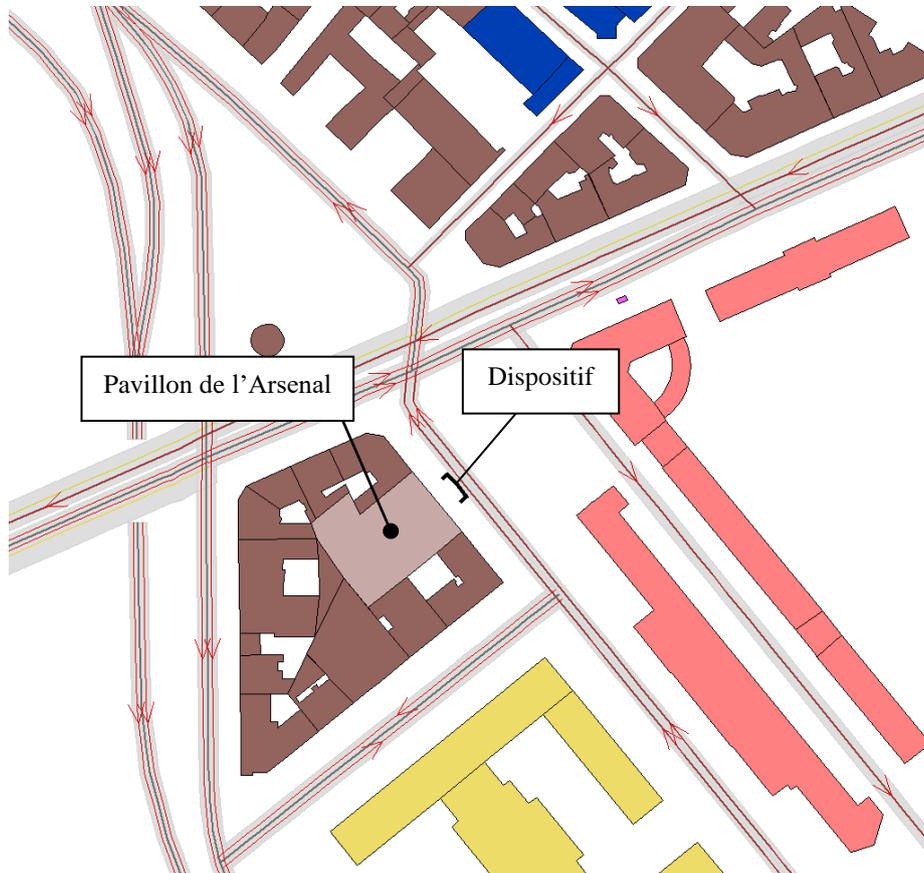


Figure 36: Vue de dessus du modèle de la zone simulée intégrant le bâti, les voiries et le mobilier urbain (en noir face à l'entrée du Pavillon de l'Arsenal).

Les calculs effectués tiennent compte des données de trafic disponibles sur le site public *opendata.paris.fr* avec une vitesse moyenne de 40 km/h sur l'ensemble des tronçons.

Pour cette simulation, on s'intéresse aux niveaux de bruit moyens calculés sur la zone de trottoir face au Pavillon avec et sans mobilier afin de quantifier l'atténuation liée au mobilier. Ces calculs sont effectués dans le cas d'une personne assise et dans le cas d'une personne debout, soit en considérant une hauteur moyenne de 1m20 dans le premier cas et 1m60 dans le second cas.

#### 4.1. Effet acoustique du dispositif pour une personne assise (1m20)

La Figure 37 montre les niveaux sonores moyens en dB(A) sur la zone avec et sans dispositif en considérant le trafic moyen sur l'ensemble des voiries du site, c'est-à-dire à la fois la rue longeant le dispositif mais également le reste des voiries.

La Figure 38 montre les mêmes niveaux sonores lorsque les véhicules ne circulent que sur la voie proche du dispositif, tandis que la Figure 39 correspond à des véhicules ne circulant que sur la voirie éloignée. Sur ces deux figures, la contribution acoustique du Boulevard Morland est logiquement diminuée et l'on constate l'influence du trafic sur le Bd Henry IV qui génère des niveaux plus élevés sur la zone proche de ce boulevard d'où la dissymétrie plus marquée sur ces deux dernières figures.

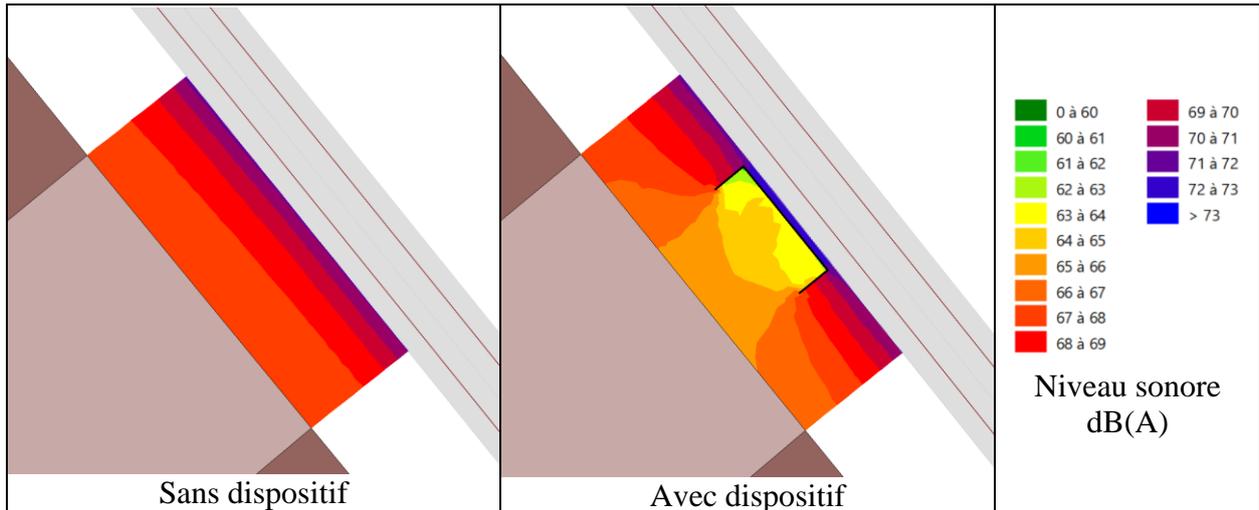


Figure 37: Niveaux avec et sans dispositif - trafic sur les deux voies.

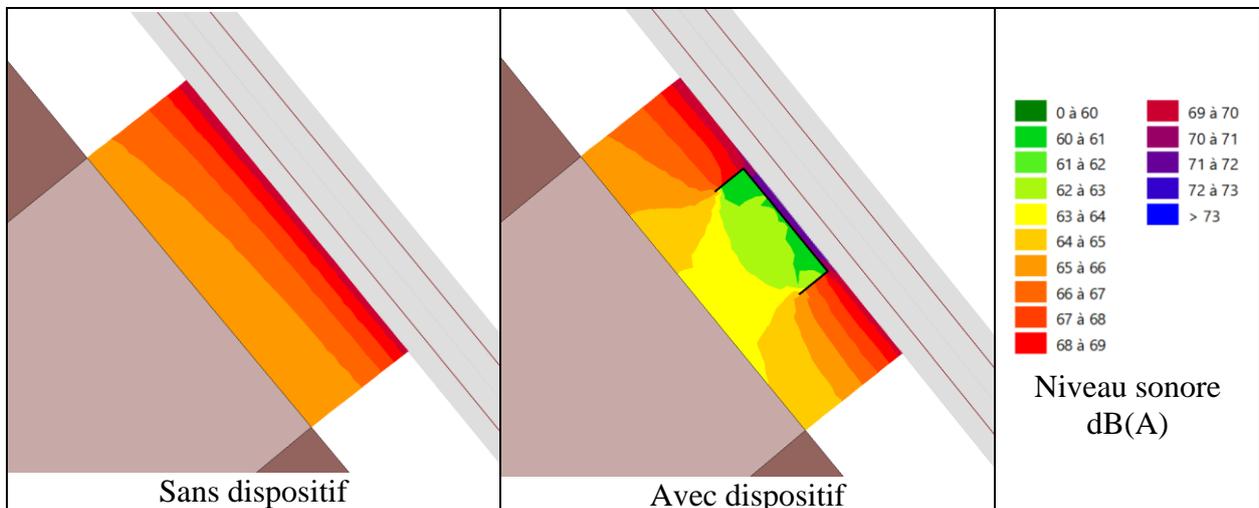


Figure 38: Niveaux avec et sans dispositif - trafic sur la voie proche (de gauche) seule.

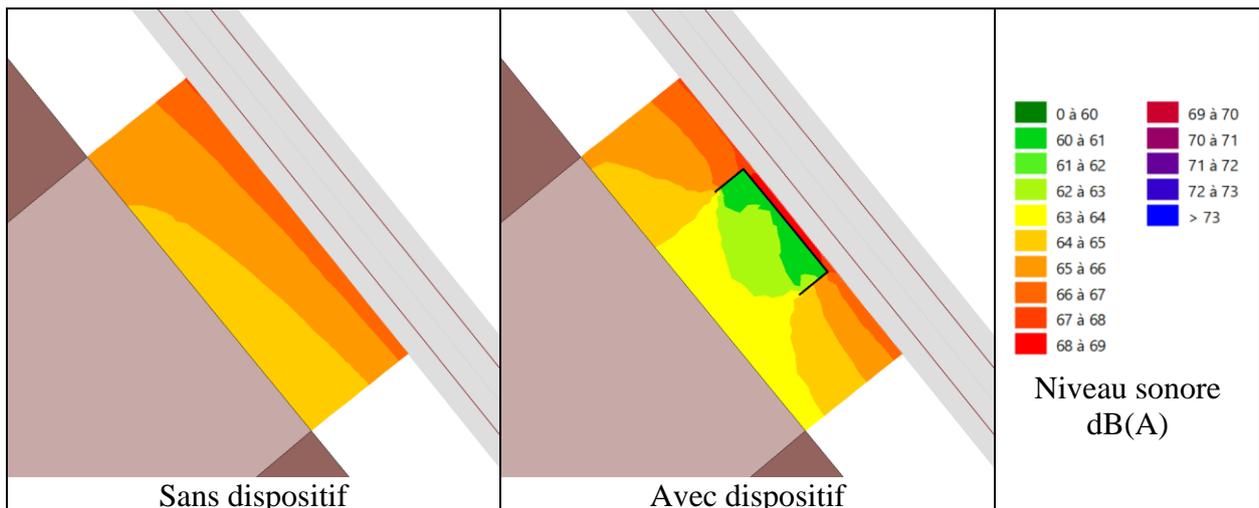


Figure 39: Niveaux avec et sans dispositif - trafic sur la voie éloignée (de droite) seule.

Le bénéfice acoustique du dispositif est avéré. Les niveaux de bruit moyens sont ramenés à des valeurs comprises entre 61 et 63 dB avec le dispositif quand ces mêmes niveaux sont compris entre 66 et 69 dB sur la même zone pour des véhicules circulant sur la voie proche.

Notons que le niveau moyen associé à la voie proche bénéficie d'une efficacité accrue du dispositif qui compense le niveau supérieur sans dispositif, comparé à la voie éloignée. Finalement les niveaux avec dispositifs sont globalement équivalents que le véhicule circule sur la voie proche ou sur la voie éloignée.

Ce phénomène constitue un atout du dispositif puisqu'il tend à uniformiser l'impact acoustique des véhicules, indépendamment de la voie. Sans dispositif, un véhicule sur la voie proche sera plus gênant qu'un véhicule sur la voie éloignée. Avec le dispositif, la gêne perçue pour des véhicules sur l'une ou l'autre aura tendance à s'uniformiser, ce qui constitue un élément positif d'un point de vue perceptif.

Le gain acoustique lié au dispositif peut être quantifié comme précédemment à partir de la différence des niveaux sonores avec et sans dispositif. Ce gain est donné sur la Figure 40 dans le cas d'un trafic sur les deux voies du Bd Morland, sur la Figure 41 dans le cas d'un trafic sur la seule voie proche et sur la Figure 42 dans le cas d'un trafic sur la seule voie éloignée.

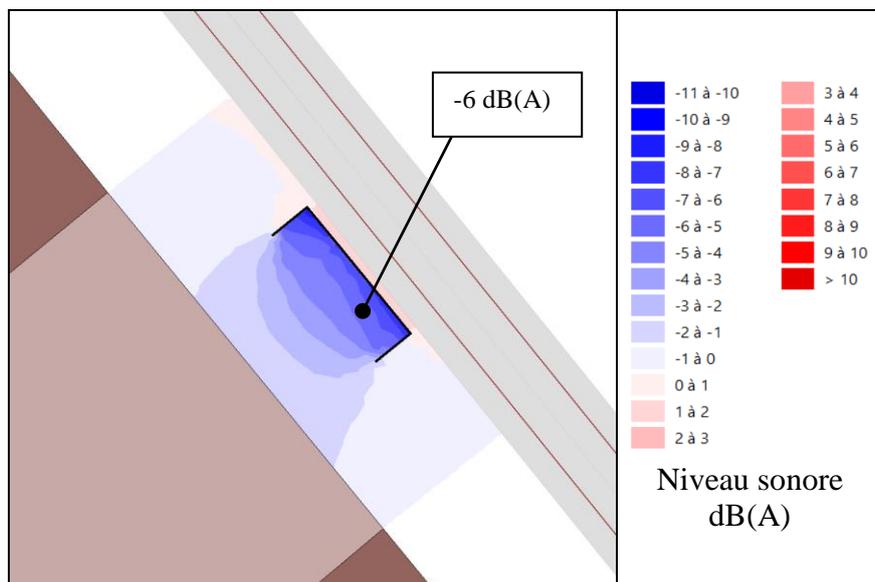


Figure 40: Gain du dispositif - trafic sur les deux voies.

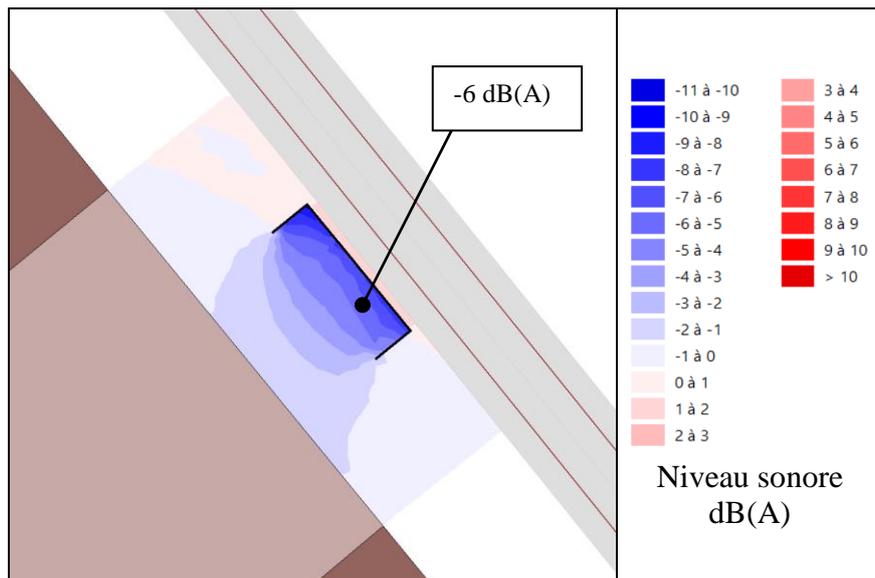


Figure 41: Gain du dispositif - trafic sur la voie proche (de gauche) seule.

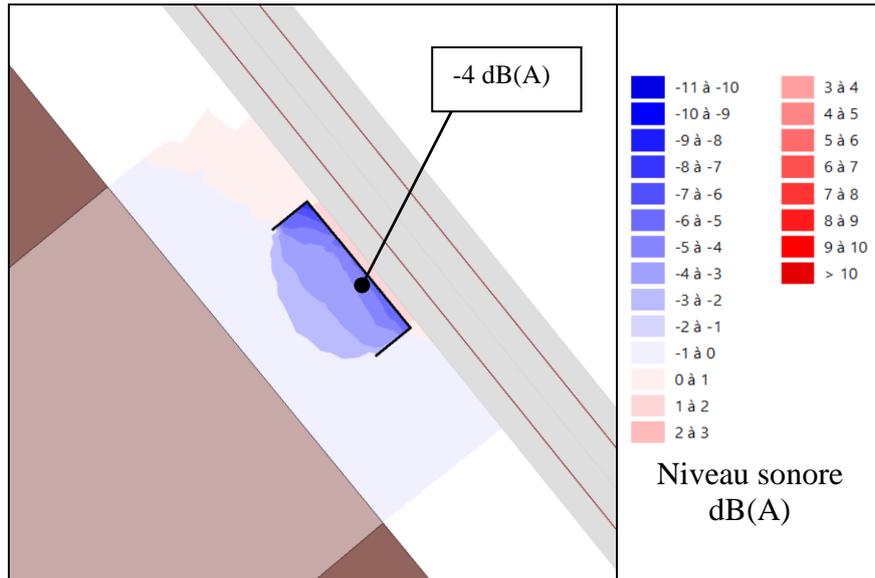


Figure 42: Gain du dispositif - trafic sur la voie éloignée (de droite) seule.

Comme expliqué précédemment, l'efficacité du dispositif augmente pour des véhicules proches. Cependant la diminution de l'efficacité pour des véhicules éloignés est compensée par la diminution des niveaux induits par ces mêmes véhicules, étant plus éloignés de la zone.

Globalement, le dispositif apporte un gain de 6 dB(A) pour les véhicules proches et de 4 dB(A) pour les véhicules éloignés. Rappelons que 6 dB(A) constitue le seuil à partir duquel, les sujets notent une amélioration clairement perceptible de la gêne sonore lors des enquêtes de perception sonore.

#### 4.2. Performances pour une personne debout (1m60)

Les gains obtenus pour des personnes debout à 1m60 du sol sont présentés pour les trois configurations de trafic décrites précédemment sur les figures suivantes.

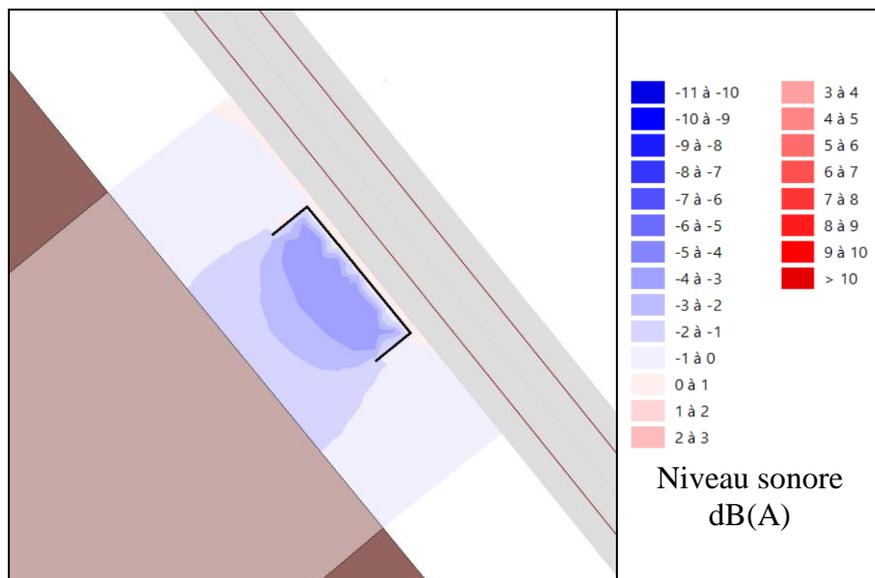


Figure 43: Gain du dispositif - trafic sur les deux voies.

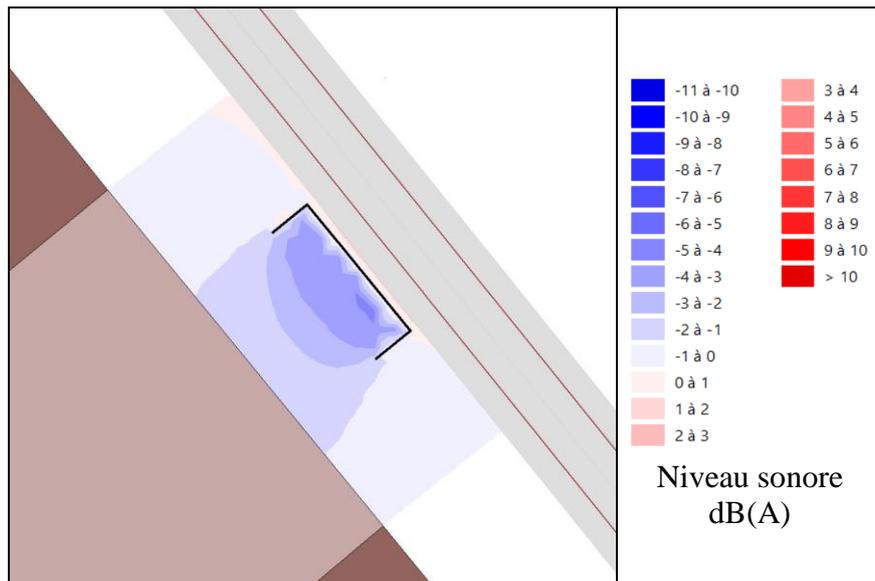


Figure 44: Gain du dispositif - trafic sur la voie proche (de gauche) seule.

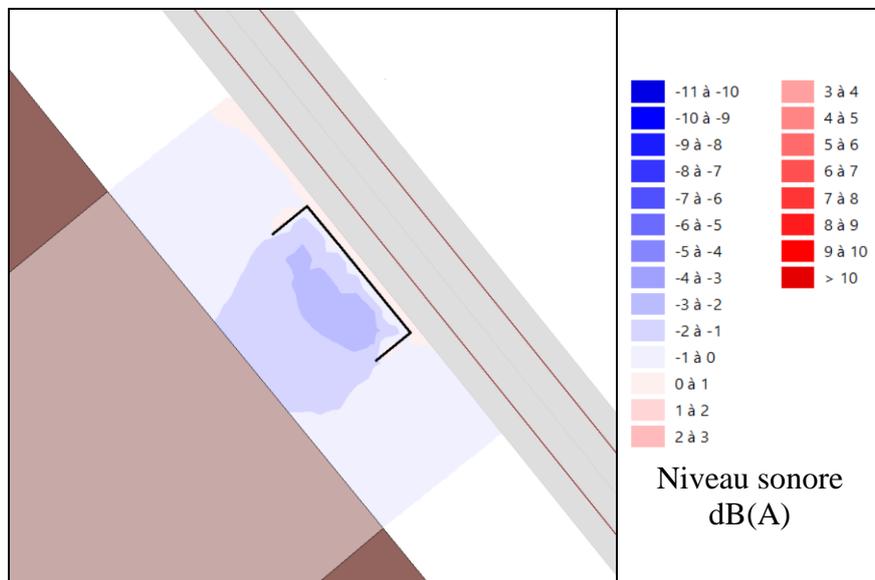


Figure 45: Gain du dispositif - trafic sur la voie éloignée (de droite) seule.

Globalement la diminution des niveaux sur la zone à protéger atteint 3 dB(A) dans ce cas. Le gain sera donc faiblement perçu par le piéton debout comparé à une position assise. A cette hauteur, le dispositif perd en efficacité, les récepteurs étant plus proche de la limite de la zone d'ombre associée sources sonores des deux voies de circulation.

## 4.2. Conclusion

Ces résultats montrent que, si l'efficacité du dispositif étudié implique des mobiliers urbains trop massifs pour être insérés dans l'espace public, le principe du parklet est une option pertinente. Il peut aisément être inséré urbainement en remplacement des espaces de stationnement sur la chaussée, comme cela a pu s'expérimenter avec l'extension des terrasses suite au confinement. Il offre un gain acoustique pour les personnes assises, permettant un usage apaisé de ces espaces.

Dans cette perspective, le dispositif pourrait intéresser les propriétaires de cafés, restaurants ou bars, les gestionnaires d'équipements ou services qui souhaiteraient ouvrir des activités sur la rue (par exemple les bibliothèques ou ludothèques,...). Il offrirait en outre l'opportunité de proposer un mobilier design plus esthétique que les extensions plus ou moins heureuses des restaurateurs, notamment sur les linaires de

rues avec restaurants exposés à des nuisances sonores, comme le montrent les exemples ci-dessous, rue des Pyrénées et rue de Belleville.



Rue des Pyrénées



Rue de Belleville

## Références

- [1] van Maercke, D., Defrance, J., Maillard, J., Anselme, C., Mandon, A., Altreuther, B., Smyrnova, Y., Van Renterghem, T., Jeon, J.Y., Jang, H.S., Kim, Y.H., "Technical report for task 6.1", FP7 HOSANNA Deliverable 6.1, 2013.
- [2] Jolibois, A., "A study on the acoustic performance of tramway low height noise barriers: gradient-based numerical optimization and experimental approaches", Ph.D. in mechanics - Université Paris-Est – Dec. 2013.
- [3] Groupe de travail Acoustique urbaine de la Commission de Normalisation des Ecrans Acoustiques (CNEA), « Etude de l'intégration des écrans bas en milieu urbain », Ademe, Oct. 2018.
- [4] Baulac, M., "Optimisation des Protections Anti-bruit Routières de Forme Complexe", Ph.D. in mechanics - Université du Maine – Oct. 2006.
- [5] Koussa, F., « Algorithmes génétiques BEM Barrières antibruit Circulation -- Bruit Cristaux soniques Gabions Merlons acoustiques Mesures in-situ Moyens naturels Protections antibruit », Ph.D. in mechanics – Ecole Centrale de Lyon – Sept. 2012
- [6] Mats E. Nilsson, and coll. A soundwalk study on the relationship between soundscape and overall quality of urban outdoor places Conference paper (acoustic 2012-Hong Kong) in The journal of the acoustical society of America. April 2012

## Annexe n°1 : Choix des matériaux

Rappel : Pour que le dispositif fournisse un effet de diminution acoustique notable, la section doit tout d'abord être suffisamment « dense » pour limiter la transmission directe des ondes sonores au travers du dispositif (le dispositif ne « vibre » pas). Cela implique typiquement que **la masse surfacique des éléments soit suffisante** (de l'ordre de 10 kg/m<sup>2</sup>). Par exemple, pour du bois de densité moyenne (700 kg/m<sup>3</sup>), cette valeur est atteinte pour un panneau d'épaisseur 14 millimètres. Par ailleurs, le matériau doit être plein ou très faiblement poreux pour limiter la propagation de l'onde à travers le dispositif. Enfin, la présence de fuites acoustiques (ouvertures) peut fortement diminuer l'effet de réduction, même pour un dispositif constitué de matériaux suffisamment denses.

Masses volumiques (kg/m <sup>3</sup> )	
<b>Bétons</b>	
Béton	2400
Béton armé	2500
Béton cellulaire	300 – 650
Béton bitumeux (enrobés)	2350
<b>Produits isolants</b>	
Laine minérale en rouleau	18
Polystyrène expansé	18
Mousse de polyuréthane	34
<b>Matériaux de construction</b>	
Ardoise	2900
Brique pleine	2300
Verre	2500
Moellons durs	2500
Blocs béton creux (agglos)	1300 – 1700
Monomur 37 cm	740
Plaque plâtre BA 13	825
Carreau de plâtre	957
<b>Métaux</b>	
Acier – Fer	7800
Aluminium	2700
Fonte	7400
Laiton	8600
Plomb	11300
Zinc	7100
Cuivre	8900
<b>Bois</b>	
Acajou	660
Chêne	600 – 900
Pin blanc	350 – 500
Hêtre	800
Bois lamellé collé	500
Panneau de particules	500 – 800
MDF	750
Contreplaqué CTBX feuillu	500
Contreplaqué CTBX résineux	650
<b>Terres et roches</b>	
Calcaire compact	2700
Craie	1250
Granite	2700
Grès	2200 – 2600
Marbre	2800
Sable sec	1600
Gravier	1900
Argile	1800 – 2600
Terre végétale	1250

Source : Prévention BTP

Nous pouvons envisager le mobilier urbain – écran sonore en une seule matière comme :

- **Le bois**



Oleg Soroko



Camposaz

- **Pisé**



Yves Mettler



Atelier Kara

- **Le béton**



DSDHA

Arktikter White

- L'aluminium



Edge Design

Nous pouvons aussi envisager l'utilisation de plusieurs matériaux comme :

- **Composition bois / terre**



Wmb studio

- **Composition bois / béton**



Living Innovation Zone de San Francisco

- **Bois / acier**



- Interboro Partners .

## Annexe n°2 : Usages du dispositif

### Parklet



The screenshot shows the Paris website navigation bar with the following items: Services, Municipalité, Participez!, Que faire à Paris?, and Mon Paris. Below the navigation bar is a news article titled "Le « parklet », le mobilier urbain qui s'insère sur les places de stationnement". The article is dated 08/08/2019. The main image of the article shows a group of people sitting on a wooden parklet with green metal frames on a city street.



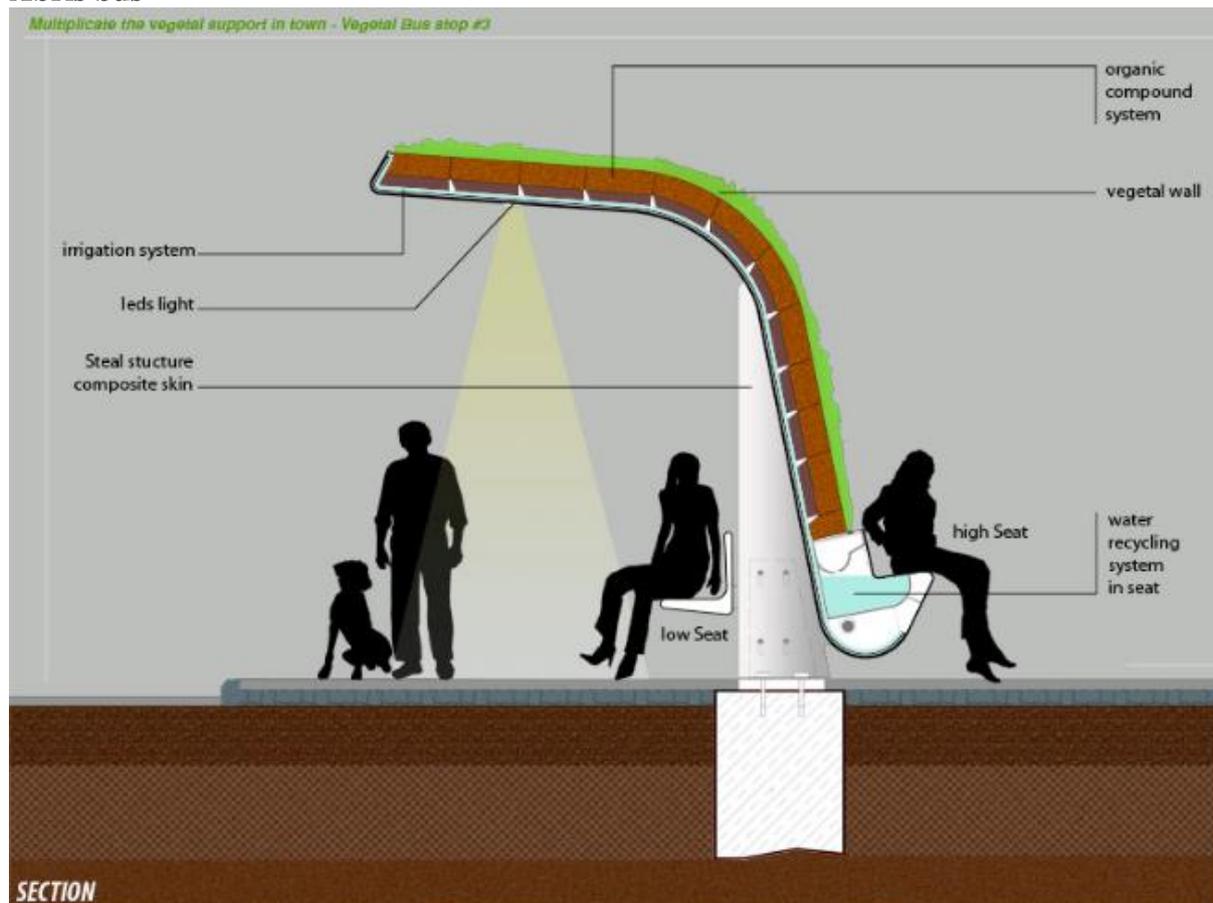


**Parklet São Paulo**  
**Purificateur de l'air :**



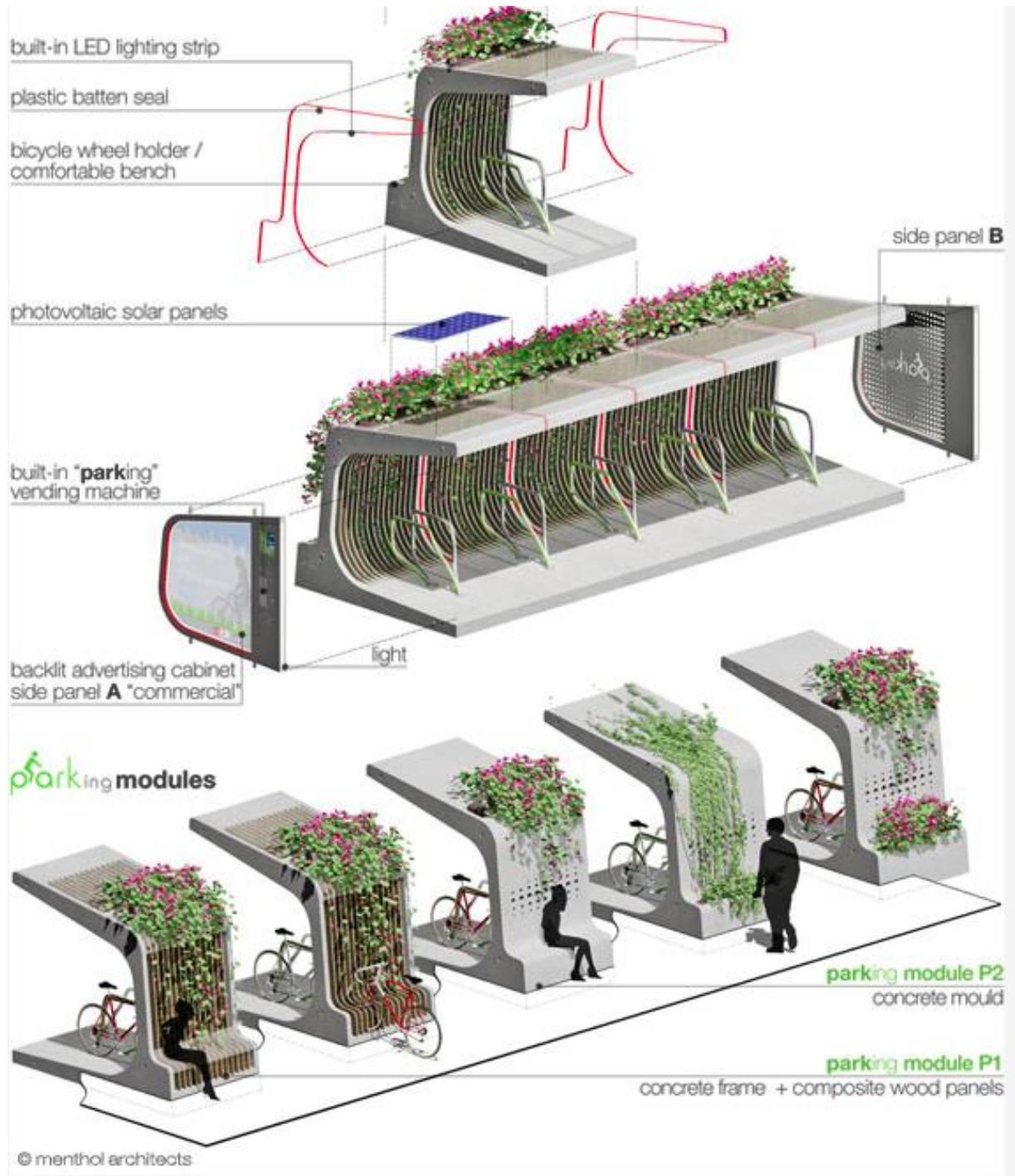
<https://greencitysolutions.de/en/solutions/#section2>

### Abris bus



Source : designBoom

**Abris vélo :**



## Jeux enfants



Landskap

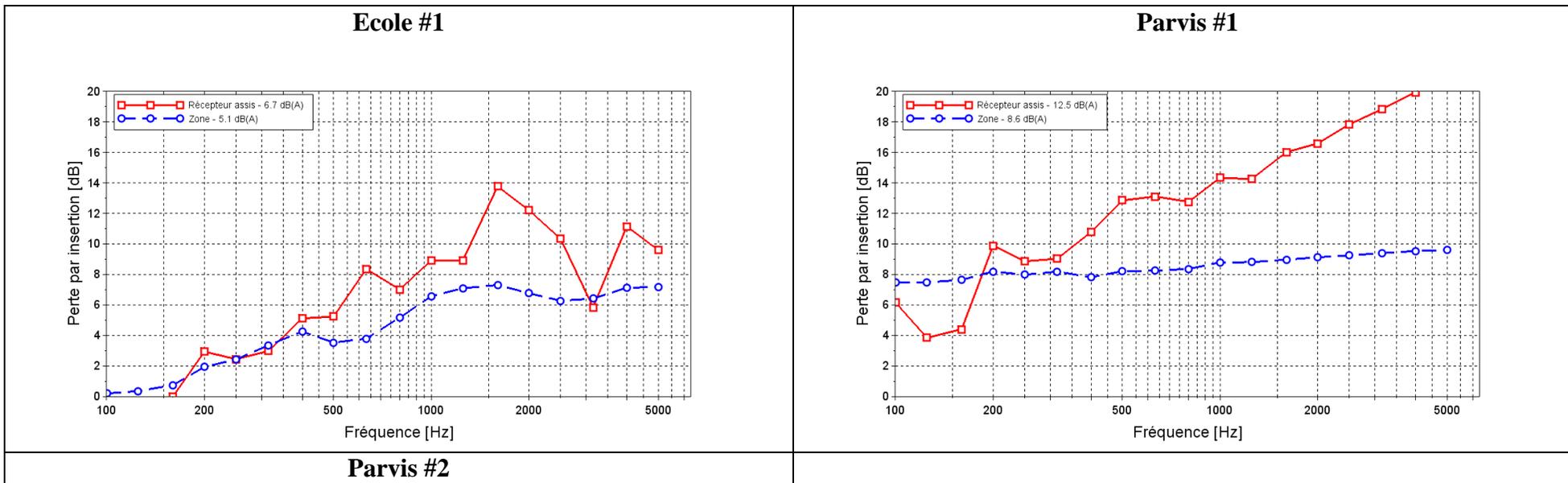


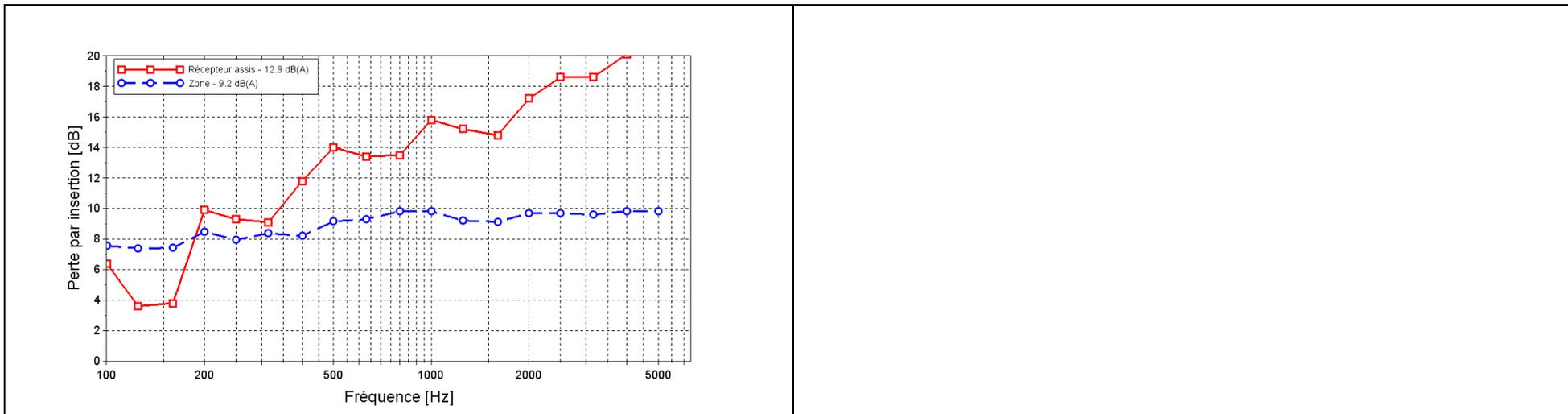
Bus Architecture



Matter Design

## Annexe n°3 : Exemples de calculs d'atténuation







## Le futur en construction

Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, exerce quatre activités clés : la recherche et expertise, l'évaluation, la certification et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de la transition énergétique dans le monde de la construction. Son champ de compétence couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes.

Avec plus de 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le groupe CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.