

**RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION:  
ÉCRANS ANTIBRUIT ET REVÊTEMENTS DE PAROIS (ACOUSTIQUEMENT) ABSORBANTS**

## Table des matières

11.1.	INTRODUCTION.....	5
11.2.	LES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES EN JEU .....	6
11.2.1	<i>La réflexion</i> .....	7
11.2.1.1	Les réflexions simples .....	7
11.2.1.2	Les réflexions multiples.....	9
11.2.1.3	Les interactions avec les caisses des véhicules .....	10
11.2.1.4	Les réflexions multiples: les tunnels.....	12
11.2.2	<i>La diffraction</i> .....	14
11.2.2.1	Le phénomène physique .....	14
11.2.2.2	Comment calculer la performance des écrans antibruit ? .....	15
11.2.2.3	Où placer un écran antibruit ? .....	17
11.2.2.4	Les buttes en terre .....	17
11.2.3	<i>La transmission (au bruit aérien)</i> .....	19
11.2.3.1	Le phénomène physique .....	19
11.2.3.2	Limiter l'énergie transmise .....	20
11.2.3.3	Dispositifs très performants.....	21
11.2.3.4	Cas particuliers influençant l'isolation à la transmission .....	22
	Fuites localisées .....	22
	Dispositifs de drainage.....	22
	Passage de la faune.....	22
	Passage de personnes.....	22
11.2.3.5	Comment obtenir une bonne isolation à la transmission ? .....	23
11.3.	FACTEURS CONDITIONNANT LA RÉDUCTION DU BRUIT ROUTIER LORS DE SA PROPAGATION .....	24
11.3.1	<i>Les dimensions</i> .....	24
11.3.1.1	Hauteur - Longueur - Volume.....	24
	Hauteur .....	24
	Longueur.....	24
	Volume.....	26
11.3.1.2	Position relative entre véhicules et récepteurs - Topographie - Profil de l'infrastructure.....	27
	Route en déblai - route en surface - route en remblai.....	27
	Efficacité des écrans suivant le profil en long et la topographie.....	29
	Les écrans de faible hauteur .....	31
11.3.1.3	Domaine fréquentiel - Domaine temporel.....	32
	Domaine fréquentiel.....	32
	Domaine temporel.....	32
11.3.2	<i>La forme des objets</i> .....	33
11.3.2.1	Les véhicules .....	33
11.3.2.2	Les écrans.....	33
11.3.3	<i>Les caractéristiques intrinsèques des dispositifs</i> .....	36
11.4.	LE MARCHÉ DES ÉCRANS ANTIBRUIT ET DES REVÊTEMENTS DE PAROIS (ACOUSTIQUEMENT) ABSORBANTS .....	45
11.4.1	<i>La norme produit NBN EN 14388</i> .....	45
11.4.2	<i>Les écrans (visuellement) transparents</i> .....	47
11.4.3	<i>Les dispositifs antibruit (visuellement) opaques</i> .....	48
11.4.3.1	Les dispositifs métalliques .....	49
11.4.3.2	Les dispositifs en matériaux plastiques .....	50
11.4.3.3	Les dispositifs en bois.....	51
11.4.3.4	Les dispositifs en béton .....	52
11.4.3.5	Les écrans en laine minérale .....	54
11.4.3.6	Les gabions .....	55
11.4.3.7	Les autres dispositifs particuliers .....	57
	Cristaux soniques .....	57
	Panneaux photovoltaïques .....	58
	Panneaux solaires .....	58
	Bords de chaussée diffractants.....	59

## Table des figures

Figure 1 - les 3 phénomènes physiques principaux du bruit routier : l'émission, la propagation et la réception .....	5
Figure 2 - les 3 phénomènes physiques présents lors de la propagation du bruit routier : la réflexion, la diffraction et la transmission .....	6
Figure 3 – réflexion simple sur un obstacle .....	7
Figure 4 – loi de la réflexion spéculaire : angle de réflexion = angle d'incidence .....	7
Figure 5 – différents exemples de réflexions simples en zone urbaine .....	8
Figure 6 – l'inclinaison des écrans / parois réfléchissantes n'absorbe pas les ondes incidentes ! .....	8
Figure 7 – différents exemples de réflexions multiples en zone urbaine .....	9
Figure 8 – cartes de bruit verticales montrant l'effet des réflexions multiples (niveaux $L_{Aeq, 12H}$ ) .....	9
Figure 9 – interactions entre une camionnette et une paroi (acoustiquement) réfléchissante .....	10
Figure 10 – évolution temporelle du bruit au passage d'un camion avec ou sans écran .....	11
Figure 11 – carte de bruit verticale du niveau $L_{Aeq, 1H}$ (un camion/H, vitesse : 100 km/H) .....	11
Figure 12 – progression d'un véhicule entrant dans un tunnel : le tunnel capte de plus en plus d'énergie qu'il renvoie vers ses extrémités .....	12
Figure 13 – évolution temporelle du niveau de bruit $L_A(t)$ au passage d'un véhicule à proximité de la bouche d'un tunnel .....	13
Figure 14 – cartes de bruit verticales du niveau $L_{Aeq, 1H}$ avec (à gauche) et sans tunnel (à droite) .....	13
Figure 15 – propagation d'un front d'onde sur un obstacle (principe de Huygens-Fresnel) .....	14
Figure 16 – propagation d'un front d'onde sur un obstacle réfléchissant .....	14
Figure 17 – propagation d'ondes entretenues sur un obstacle réfléchissant avec réflexions sur le sol .....	15
Figure 18 – propagation d'ondes entretenues : écran réfléchissant et interactions avec un camion .....	15
Figure 19 – abaque de Maekawa : efficacité des écrans antibruit .....	16
Figure 20 – exemple pour un calcul simplifié de l'efficacité d'un écran antibruit .....	16
Figure 21 – plus l'écran est proche de la source de bruit, plus la ligne d'ombre est relevée, et plus l'écran est efficace .....	17
Figure 22 – un écran est moins efficace sur les sources de bruit les plus éloignées .....	17
Figure 23 – buttes en terre : l'emprise abaisse la ligne d'ombre et diminue l'efficacité .....	17
Figure 24 – buttes en terre : angle d'attaque du front d'onde et volume de l'obstacle .....	18
Figure 25 – abaque de Maekawa : perte d'efficacité en fonction des angles $\theta$ et $\Omega$ .....	18
Figure 26 – propagation d'un front d'onde sur une butte en terre .....	18
Figure 27 – transmission (au bruit aérien) d'un écran antibruit .....	19
Figure 28 – bruit derrière l'écran = énergie <i>transmise</i> + énergie <i>diffractée</i> .....	19
Figure 29 – effet réducteur de la transmission suivant l'isolement acoustique d'un écran .....	20
Figure 30 – effet réducteur de la transmission suivant l'isolement acoustique d'un écran .....	21
Figure 31 – effet réducteur de la transmission suivant l'isolement acoustique d'un écran .....	21
Figure 32 – E42 à Fleurus : sas acoustiquement absorbant permettant le passage de personnes .....	22
Figure 33 – cartes de bruit explicitant différents effets induits par la longueur des écrans .....	25
Figure 34 – évolution temporelle du niveau de bruit au passage d'un véhicule devant un écran .....	26
Figure 35 – comment le profil en long de la route et la topographie influencent la propagation : déblais / routes en surface / remblais .....	27
Figure 36 – comment le profil en long de la route et la topographie influencent la propagation : tranchées / routes en surface / viaducs .....	28
Figure 37 – le profil en long de la route et la topographie influencent l'efficacité des écrans : déblais ou tranchées / routes en surface / remblais ou viaducs .....	29
Figure 38 – en ville, les viaducs / remblais non protégés impactent une plus grande zone .....	29
Figure 39 – les écrans sur viaducs / remblais sont les plus efficaces .....	29
Figure 40 – utilisation d'un écran « central » afin de réduire la hauteur d'écrans « latéraux » .....	30
Figure 41 – utilisation d'un écran « central » afin de mieux protéger un immeuble de 9 étages .....	30
Figure 42 – exemple d'écran de faible hauteur le long d'une voie ferrée .....	31
Figure 43 – écran urbain de faible hauteur et végétalisé ( <a href="http://www.greener-cities.eu">www.greener-cities.eu</a> ) .....	31

Figure 44 – l'importance de la longueur d'onde sur la performance d'un écran .....	32
Figure 45 – véhicule à carénage / carrosserie particulière face à un écran de forme optimisée .....	33
Figure 46 – cartes de bruit (de -15m à +45m au-dessus du rail, et de 10 à 150m à droite du rail) en fonction du type d'écran pour le TGV (forme et caractéristiques d'absorption acoustique).....	34
Figure 47 – écrans de forme courbe afin de réduire les réflexions multiples.....	34
Figure 48 – exemples de dispositifs additionnels à placer au sommet d'écrans .....	35
Figure 49 – la performance d'un dispositif additionnel ne suffit pas toujours à en réduire la hauteur .....	35
Figure 50 – dispositifs antibruit routiers : normes européennes sur les caractéristiques acoustiques.....	36
Figure 51 – le cadre normatif des dispositifs antibruit routiers.....	38
Figure 52 – exemple de rapport de mesures des caractéristiques de réflexion acoustique suivant la norme EN1793-5 (partie 1) .....	39
Figure 53 – exemple de rapport de mesures des caractéristiques de réflexion acoustique suivant la norme EN1793-5 (partie 2) .....	40
Figure 54 – exemple de rapport de mesures des caractéristiques de réflexion acoustique suivant la norme EN1793-5 (partie 3) .....	41
Figure 55 – exemple de rapport de mesures des caractéristiques d'isolation acoustique suivant la norme EN1793-6 (partie 1) .....	42
Figure 56 – exemple de rapport de mesures des caractéristiques d'isolation acoustique suivant la norme EN1793-6 (partie 2) <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
Figure 57 – exemple de rapport de mesures des caractéristiques d'isolation acoustique suivant la norme EN1793-6 (partie 3) <b>Erreur ! Signet non défini.</b>	
Figure 58 – exemple de fiche de marquage CE pour un dispositif antibruit (EN 14388 : 2004) .....	46
Figure 59 – exemples d'écrans (visuellement) transparents .....	47
Figure 60 – exemple d'écran antibruit assurant une transparence visuelle dynamique.....	47
Figure 61 – exemple d'écran antibruit métallique et de sa mise en œuvre .....	49
Figure 62 – dispositifs métalliques : A Verticaux, B Inclinés, C Horizontaux, D Revêtements de parois .....	49
Figure 63 – exemple d'écran antibruit métallique et de sa mise en œuvre .....	50
Figure 64 – dispositifs plastiques : A et D Revêtements de parois verticaux, B et C Inclinés / Horizontaux .....	50
Figure 65 – exemple d'écrans antibruit en bois et de leur mise en œuvre .....	51
Figure 66 – dispositifs absorbants en bois: A, B et C écrans, C / plantations, D Revêtements de parois .....	51
Figure 67 – exemple d'écran antibruit autoportant en béton et de sa mise en œuvre (revêtement acoustiquement absorbant en béton bois).....	52
Figure 68 – exemple d'écran antibruit autoportant en béton et de sa mise en œuvre (revêtement acoustiquement absorbant métallique).....	52
Figure 69 – écrans en béton : A B béton poreux, CD béton bois, EFGH « jardinières ».....	53
Figure 70 – exemple d'écran antibruit en laine minérale .....	54
Figure 71 – écrans en laine minérale : ABCD vues d'ensemble, C et D plantations grimpantes .....	54
Figure 72 – gabions : casiers en treillis métallique remplis de pierre / écran antibruit en gabions .....	55
Figure 73 – différentes teintes / textures gabions fins pour éléments de murs .....	55
Figure 74 – exemple d'écrans en gabions performants (absorption et isolation acoustique) .....	55
Figure 75 – cristaux soniques : sculpture monumentale d'Eusebio Sempere (Madrid) .....	57
Figure 76 – effet d'un cristal sonique sur la propagation d'ondes à différentes fréquences .....	57
Figure 77 – exemple d'écran avec éléments photovoltaïques .....	58
Figure 78 – projet NOISUN : écrans antibruit à panneaux solaires.....	58
Figure 79 – Whisstone : bord de chaussée diffractant, site expérimental de Soesterberg (NL).....	59
Figure 80 – propagation théorique d'une onde hémisphérique sans / avec résonateur .....	59

### 11.1. Introduction

Bien réduire les effets négatifs du bruit routier nécessite la bonne compréhension de tous les phénomènes physiques conditionnant ce type particulier de bruit, depuis son émission, jusqu'à sa réception.

De fait, ce sont bel et bien les phénomènes physiques qui conditionnent l'efficacité des dispositifs utilisés pour réduire les incidences du bruit routier.

La figure 1 présentée ci-dessous synthétise les trois phénomènes physiques principaux du bruit routier, à savoir l'**émission** du bruit par les véhicules, sa **propagation** dans l'environnement urbain, et enfin sa **réception** au droit et à l'intérieur des habitations.

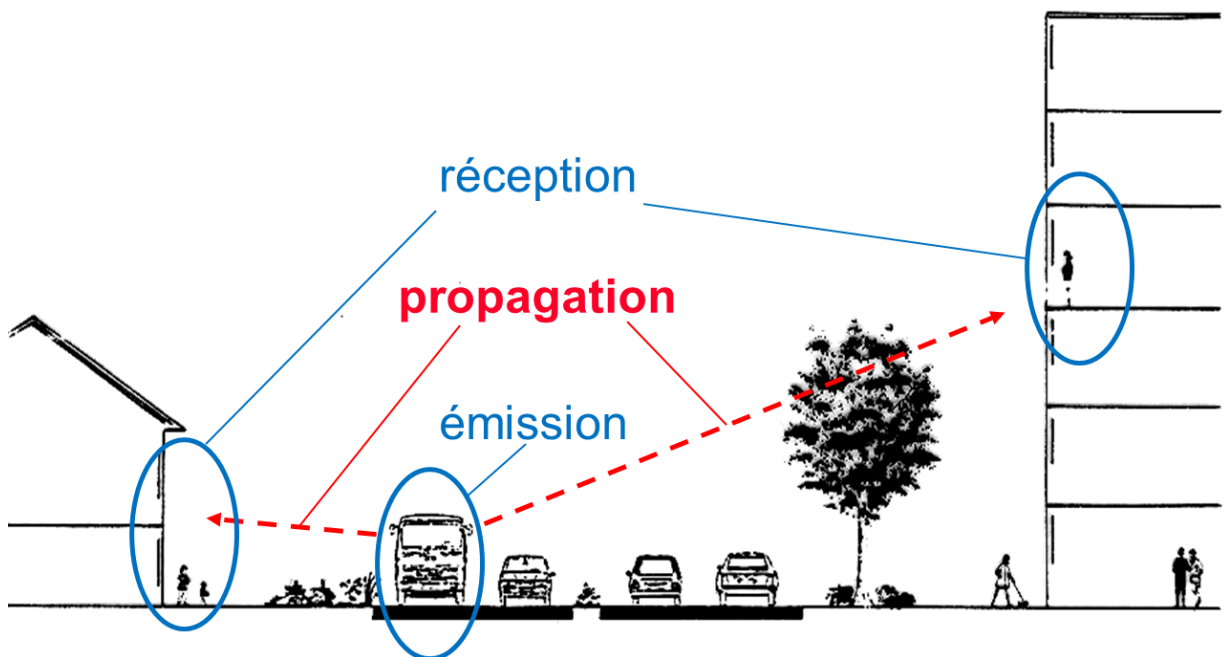


Figure 1 - Les trois phénomènes physiques principaux du bruit routier: l'émission, la propagation et la réception

Le présent chapitre 11 concerne les dispositifs utilisés afin de réduire le bruit routier lors de sa **propagation**, à savoir les écrans antibruit et les revêtements (acoustiquement) absorbants permettant de réduire les réflexions sur des parois.

Effectivement, le plus souvent, il s'agit de **réduire la propagation du bruit en interposant des obstacles** entre les véhicules et l'environnement: **les écrans antibruit** sont généralement utilisés à cet effet. Toutefois, lors de sa propagation dans l'environnement, le bruit routier peut aussi se réfléchir sur des parois (acoustiquement réfléchissantes) telles que des murs de soutènement, voire même des écrans antibruit (s'ils ne sont pas acoustiquement absorbants): il s'agit alors de **réduire les réflexions du bruit** pouvant intervenir sur des parois ; des **revêtements (acoustiquement) absorbants** sont alors utilisés à cet effet. Dans la suite du texte, ces deux types de dispositifs seront regroupés sous l'intitulé commun «**dispositifs antibruit**» pour toute explication applicable à l'ensemble des deux.

Le point 11.2 va tout d'abord expliquer les *phénomènes physiques* en jeu lors de la propagation du bruit routier.

Ensuite, le point 11.3 présentera les *facteurs* conditionnant l'efficacité des écrans antibruit et des revêtements de parois (acoustiquement) absorbants.

## 11.2. Les phénomènes physiques en jeu

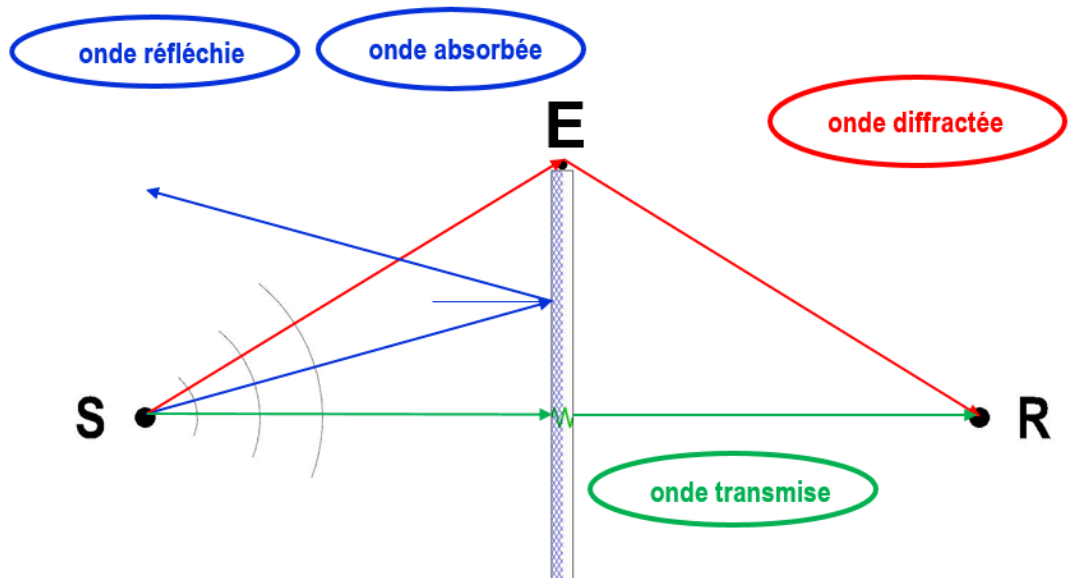


Figure 2 - Les trois phénomènes physiques présents lors de la propagation du bruit routier: la réflexion, la diffraction et la transmission

La figure 2 regroupe de façon très simplifiée les trois phénomènes physiques présents lors de la propagation du bruit routier, à savoir la **réflexion**, la **diffraction** et la **transmission**.

Sur cette figure, la source de bruit (dans le cas du bruit routier: une voiture) est libellée **S**, le sommet de l'écran **E**, et le récepteur **R** (par exemple: un piéton).

De fait, d'autres réflexions peuvent encore venir se rajouter au sein de cette figure, comme des réflexions sur le sol, tant devant que derrière l'écran, ou sur toute paroi qui se retrouverait à proximité: pour des raisons de clarté de l'exposé, elles ne sont pas indiquées ici, mais seront considérées plus tard.

Dès que le bruit est émis par le véhicule **S** (bruit de roulement, bruit de moteur et bruit aérodynamique), il se propage vers l'écran de façon (assez) similaire à une source ponctuelle, c'est-à-dire sous forme d'ondes sphériques.

Lorsque l'onde approche un obstacle tel qu'un écran antibruit:

- une partie de son énergie se réfléchit sur cet obstacle (l'onde réfléchie), alors que, suivant les caractéristiques d'absorption acoustique de l'obstacle, une partie y est absorbée (l'onde absorbée) ;
- une autre partie passe par-dessus, au sommet de l'écran **E** (l'onde diffractée);
- une partie passe au travers de l'écran (l'onde transmise).

Chacune de ces ondes est importante: leur ensemble va conditionner le bruit perçu au récepteur **R**.

L'efficacité de l'obstacle (comme un écran antibruit) à réduire le bruit correspond à la différence entre le bruit propagé sans obstacle («propagation en champ libre») et le bruit propagé en présence de cet obstacle.

Les paragraphes suivants vont expliquer et contextualiser les phénomènes de **réflexion**, de **diffraction** et de **transmission** dans le contexte de la propagation du bruit routier et des dispositifs qu'il est possible d'utiliser afin d'en réduire ses incidences dans l'environnement.

### 11.2.1 La réflexion

#### 11.2.1.1 Les réflexions simples

La figure 3 présente l'effet d'une onde qui se propage vers un obstacle et qui s'y réfléchit.

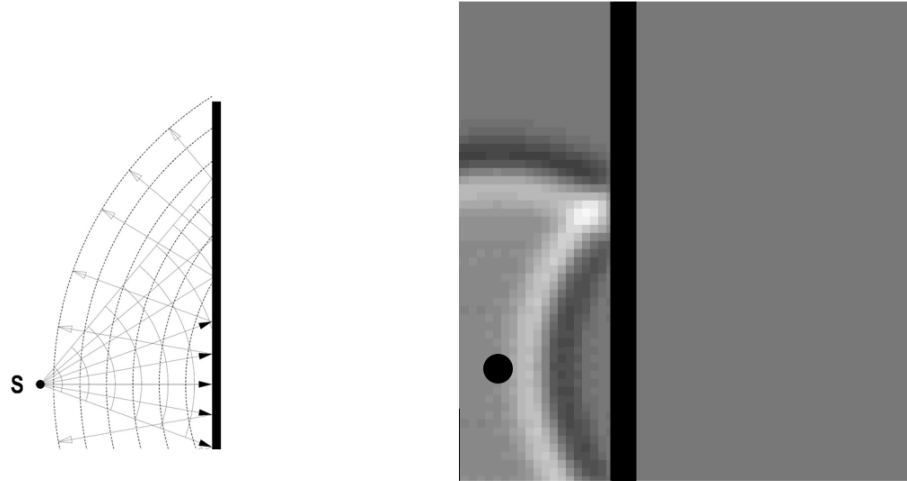


Figure 3 – Réflexion simple sur un obstacle

Suivant les principes présentés à la figure 4, lorsqu'une onde incidente arrive sur une paroi (acoustiquement) réfléchissante, elle s'y réfléchit de façon assez similaire à celle des images pour un miroir: c'est comme si une source image  $S'$ , symétrique à la paroi, prenait le relais du rayonnement, et l'énergie réfléchie repart face à la paroi. On parle alors de réflexion «spéculaire»: tout rayon incident se réfléchit de façon «spéculaire», c'est-à-dire que le rayon réfléchi repart du côté de la source avec un angle identique à l'angle sous lequel il arrivé sur la paroi.

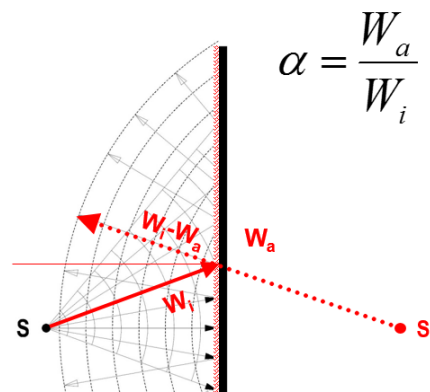


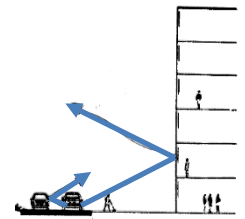
Figure 4 – Loi de la réflexion spéculaire: angle de réflexion = angle d'incidence

On peut mettre des matériaux (acoustiquement) absorbants sur la paroi de sorte à réduire l'énergie réfléchie (ou encore l'énergie de la source image fictive  $S'$ ): suivant les caractéristiques d'absorption acoustique du revêtement utilisé, cette réduction peut être plus ou moins forte.

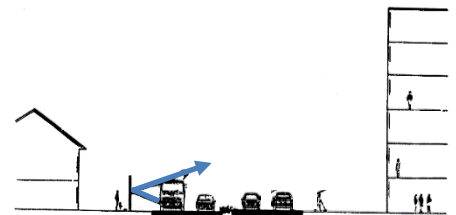
On définit le coefficient d'absorption acoustique  $\alpha$  comme étant le rapport entre l'énergie réfléchie  $W_\alpha$  et l'énergie incidente  $W_i$  (voir formule à la figure 4). Le coefficient d'absorption acoustique  $\alpha$  d'un dispositif antibruit est une de ses caractéristiques intrinsèques (caractéristiques propres au produit) les plus importantes: nous verrons au point 11.3.3 comment l'absorption acoustique des dispositifs antibruit est caractérisée.

En pratique, les réflexions redirigent l'énergie sonore dans l'environnement: elles peuvent ainsi y augmenter le bruit (jusqu'à + 3 dB(A)) dans des zones sensibles qui n'auraient pas été touchées de la même façon en l'absence de ces réflexions. La figure 5 montre des exemples de réflexions simples:

- sur les maisons (traitement difficile: nécessité d'adapter les façades)



- sur des écrans antibruit



- sur des murs de soutènement

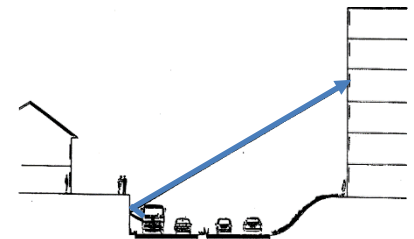


Figure 5 – Différents exemples de réflexions simples en zone urbaine

Dans les deux derniers cas, pour réduire l'effet de ces réflexions, l'utilisation de revêtements (acoustiquement) absorbants est conseillée: leur efficacité à réduire le bruit global du côté exposé aux réflexions peut aller jusqu'à 3 dB(A).

Parfois, dans l'objectif de renvoyer les ondes réfléchies «vers le ciel», il est fait recours à des écrans ou des parois (acoustiquement) réfléchissantes, mais inclinées: cette intention peut cependant être contrecarrée par des effets météorologiques qui pourraient rediriger l'énergie ainsi réfléchie.

Le recours à des revêtements (acoustiquement) absorbants permet par contre d'absorber directement cette énergie et reste conseillé plutôt que d'utiliser des écrans ou des parois (acoustiquement) réfléchissantes inclinés, comme l'indique la figure 6 suivante.

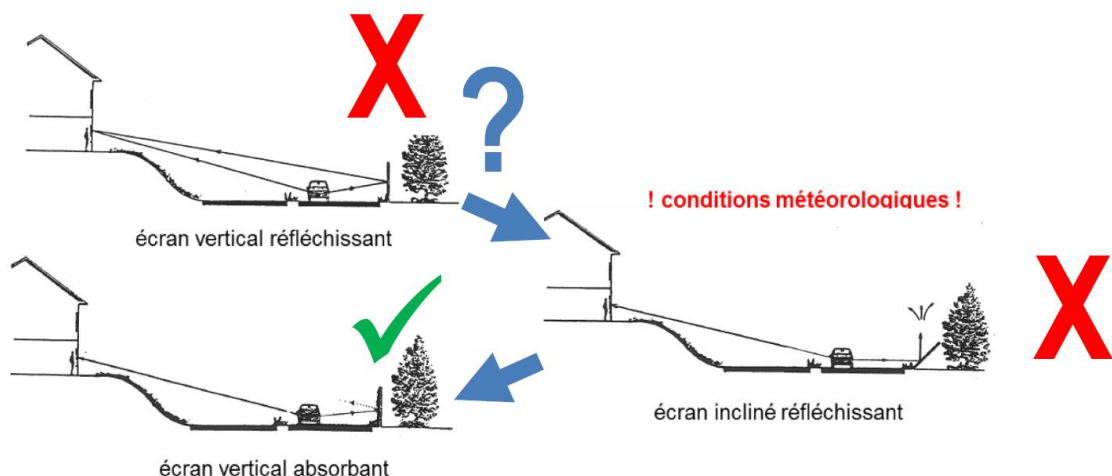


Figure 6 – L'inclinaison des écrans / parois réfléchissantes n'absorbe pas les ondes incidentes!



### 11.2.1.2 Les réflexions multiples

Les réflexions multiples sont des réflexions qui existent lorsque deux parois (acoustiquement) réfléchissantes se retrouvent face à face. Cette situation est alors très défavorable car les ondes sonores se réfléchissent sans arrêt d'une paroi vers l'autre, comme un effet «ping-pong», la figure 7 en montre différents exemples en milieu urbain:

- sur les maisons (traitement difficile: nécessité d'adapter les façades)
- sur des écrans antibruit parallèles ou
- sur des murs de soutènement parallèles, tranchées à ciel ouvert, bouches de tunnels

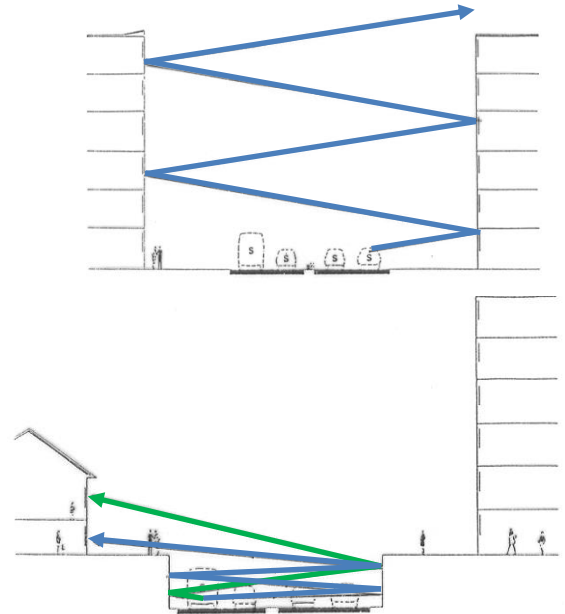


Figure 7 – Différents exemples de réflexions multiples en zone urbaine

Dans les deux derniers cas, pour réduire l'effet de ces réflexions multiples, l'utilisation de revêtements (acoustiquement) absorbants est encore une fois conseillée: leur efficacité à réduire le bruit global du côté exposé aux réflexions peut alors aller de 3 à plus de 8 dB(A).

La figure 8 montre l'effet des réflexions multiples dans le cas d'une route à 2 x 2 bandes en tranchée à ciel ouvert et d'une profondeur de 6 m dont les murs sont soit (acoustiquement) réfléchissants, soit (acoustiquement) absorbants.

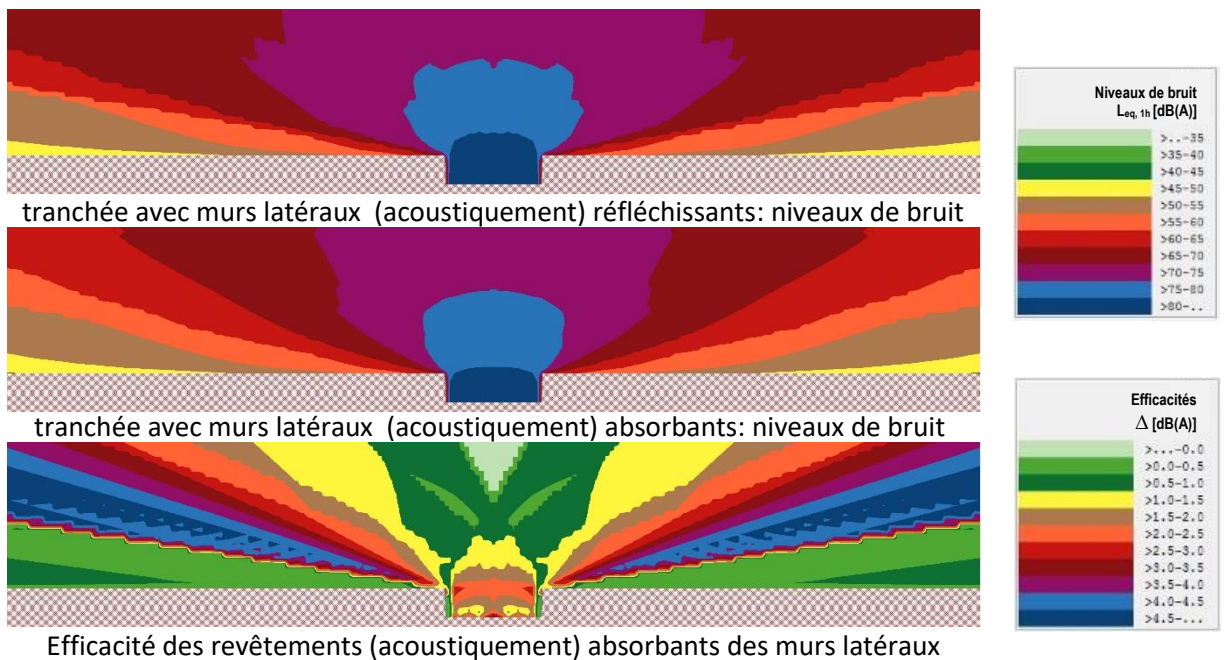


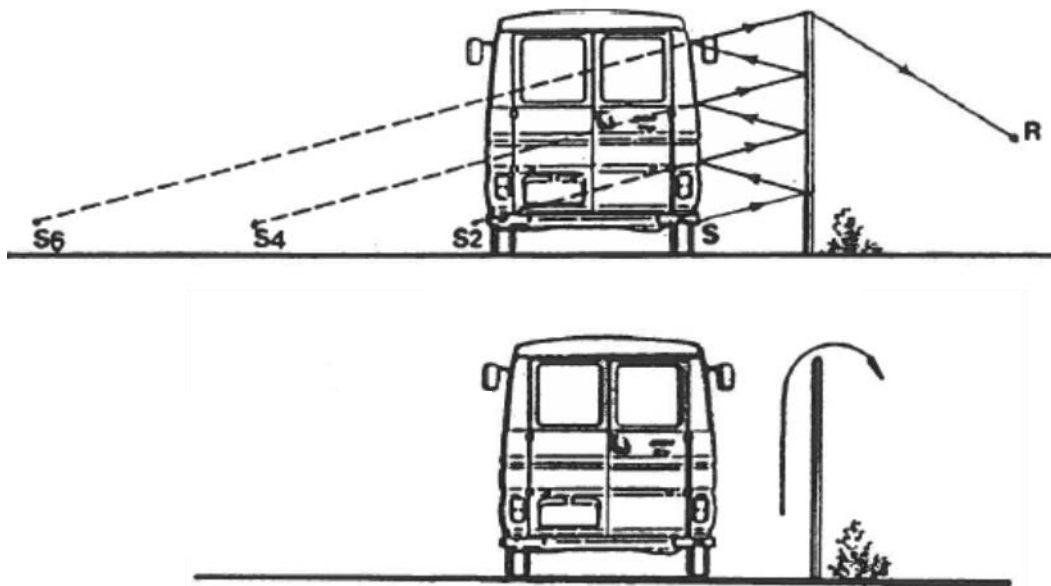
Figure 8 – Cartes de bruit verticales montrant l'effet des réflexions multiples (niveau de bruit équivalent  $L_{Aeq, 12h}$ )

### 11.2.1.3 Les interactions avec les caisses des véhicules

Les réflexions multiples peuvent aussi intervenir entre des parois (acoustiquement) réfléchissantes et les caisses des véhicules qui circulent devant celles-ci: en effet, si les véhicules peuvent (en grandes lignes) être assimilés à des sources ponctuelles de bruit, ces véhicules correspondent en fait à de vrais volumes se déplaçant sur la route, volumes dont les parois (caisses des véhicules) sont aussi (acoustiquement) réfléchissantes.

Ce faisant, des interactions s'installent entre les parois (acoustiquement) réfléchissantes et les véhicules lorsque ceux-ci leur font face: c'est donc aussi un phénomène de réflexions multiples, mais ici avec une dimension temporelle tout à fait particulière (les effets «accompagnent» le véhicule alors que celui-ci chemine sur la route).

La figure 9 ci-après schématise cet effet.



**Figure 9 – Interactions entre une camionnette et une paroi (acoustiquement) réfléchissante (comme si la source de bruit était artificiellement remontée)**

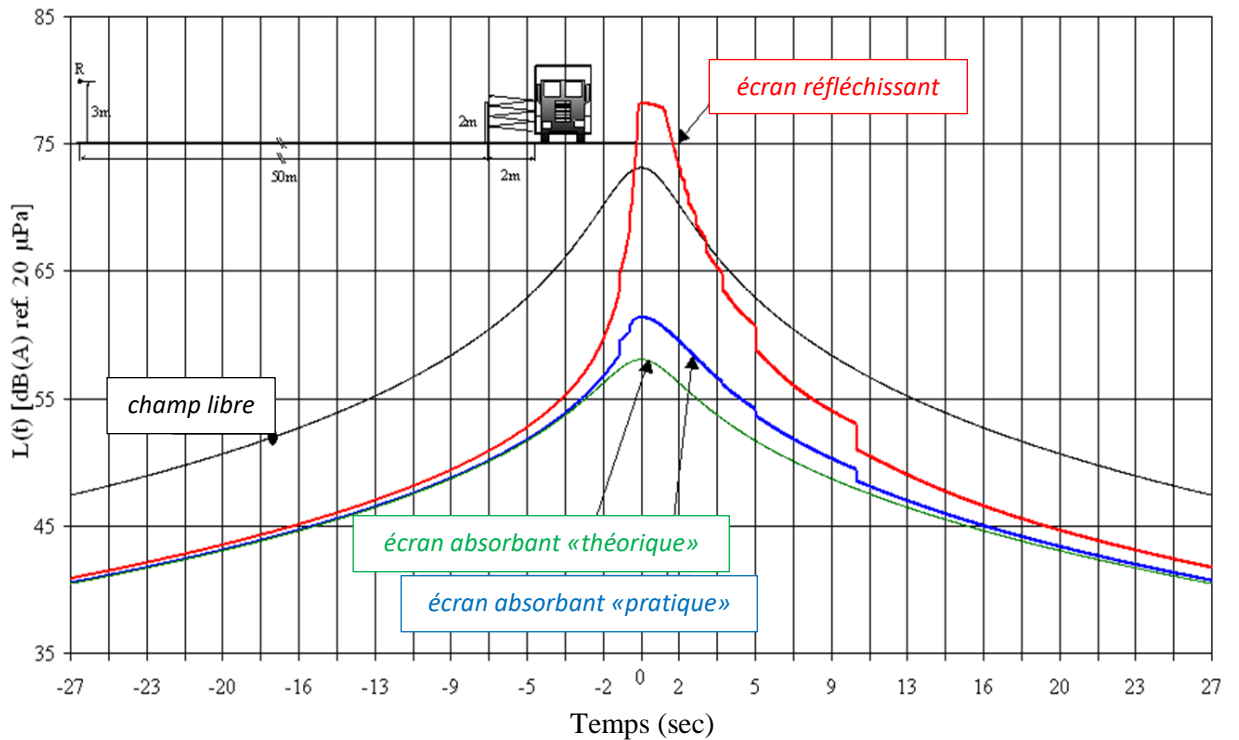
Ainsi, en «remontant» artificiellement la hauteur de la source de bruit, ces interactions vont réduire notablement l'effet protecteur que pourraient apporter des obstacles interposés entre les véhicules et l'environnement. Cet effet est d'autant plus prononcé que les véhicules sont hauts (rehausse fictive de la source de bruit) et longs (augmentation de la durée de l'effet): malheureusement, les véhicules les plus hauts et les plus longs sont bel et bien les camions, c'est-à-dire les plus bruyants des véhicules circulant.

**Une fois encore, pour réduire l'effet de ces interactions (réflexions multiples), l'utilisation de revêtements (acoustiquement) absorbants est conseillée sur les parois: leur efficacité à réduire le surcroît de bruit va cependant varier en fonction du déplacement du véhicule.**

La figure 10 superpose l'évolution temporelle du niveau de bruit au passage d'un camion de 4 m de haut: **en champ libre, devant un écran antibruit (acoustiquement) réfléchissant**, et **devant un écran antibruit (acoustiquement) absorbant**. Cette figure permet non seulement de bien démontrer le caractère spatio-temporel des interactions, mais aussi l'intérêt d'utiliser un écran antibruit de type (acoustiquement) absorbant: l'écran acoustiquement réfléchissant, s'il permet effectivement de réduire le bruit sur l'ensemble du passage du camion, présente le désavantage de pouvoir augmenter le bruit (par rapport au champ libre sans écran) lorsque les interactions sont les plus fortes.

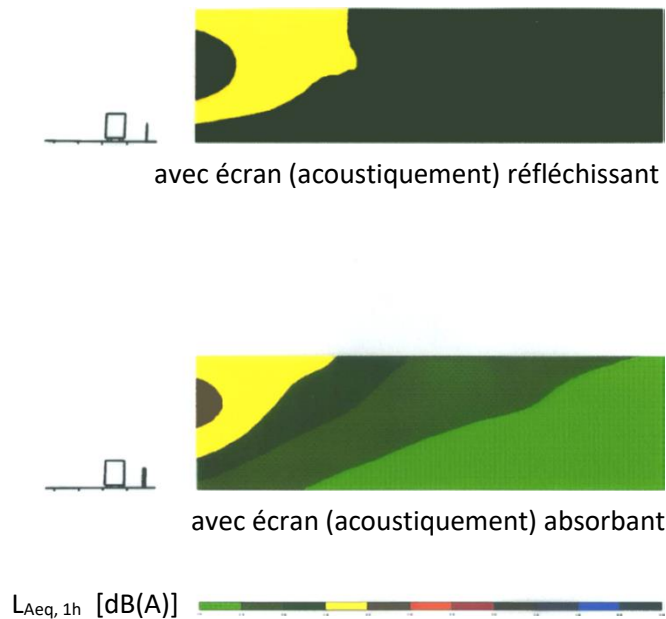
Il est difficilement acceptable de préconiser un écran qui puisse, dans les cas défavorables, augmenter le niveau de bruit existant: c'est la raison pour laquelle, à l'exception des écrans (visuellement)

transparents, et donc (acoustiquement) réfléchissants, la plupart des écrans antibruit utilisent des matériaux (acoustiquement) absorbants.



**Figure 10 – Evolution temporelle du bruit au passage d'un camion avec ou sans écran**

Enfin, la figure 11 ci-après présente les cartes de bruit verticales dans les mêmes conditions que l'exemple précédent, avec un écran (acoustiquement) réfléchissant, puis avec un écran (acoustiquement) absorbant: on note bien le redressement de la zone d'ombre, ce qui donne à l'écran une meilleure efficacité à protéger l'environnement, en termes de niveau de bruit équivalent (ici:  $L_{Aeq, 1h}$  pour un trafic fictif d'un camion par heure à 100 km/h).



**Figure 11 – Carte de bruit verticale du niveau de bruit équivalent  $L_{Aeq, 1h}$  (un camion/h, vitesse: 100 km/h).**

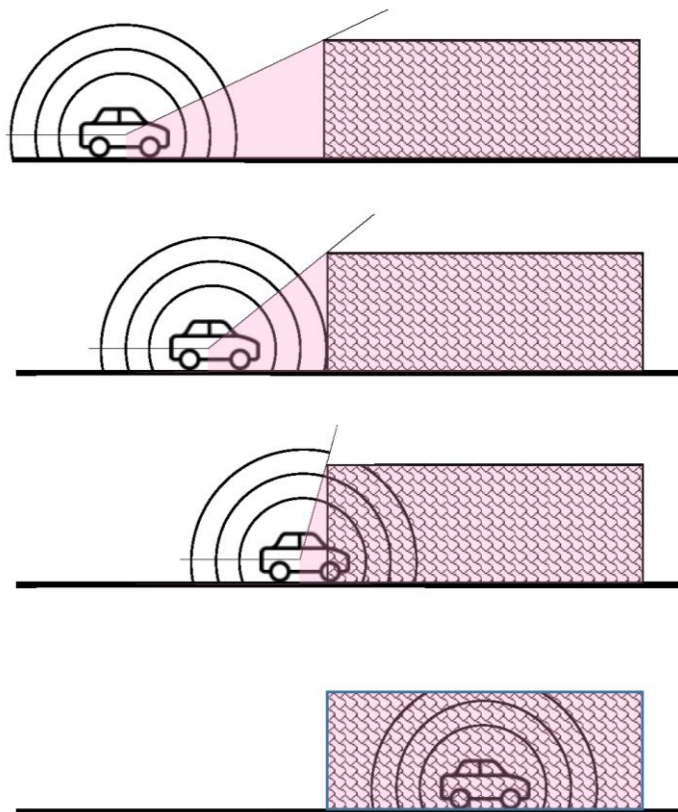
#### 11.2.1.4 Les réflexions multiples: les tunnels

**Plus les réflexions sont nombreuses, plus elles peuvent devenir gênantes pour l'environnement.**

Avec «deux fois deux» parois parallèles (les deux murs latéraux, le sol et le plafond) généralement (acoustiquement) réfléchissantes, **les tunnels sont les pires cas de réflexions multiples**: les ondes qui y sont émises ne peuvent que s'y réfléchir à l'envi, sans se dissiper.

La figure 12 présente la progression d'un véhicule vers, puis dans un tunnel:

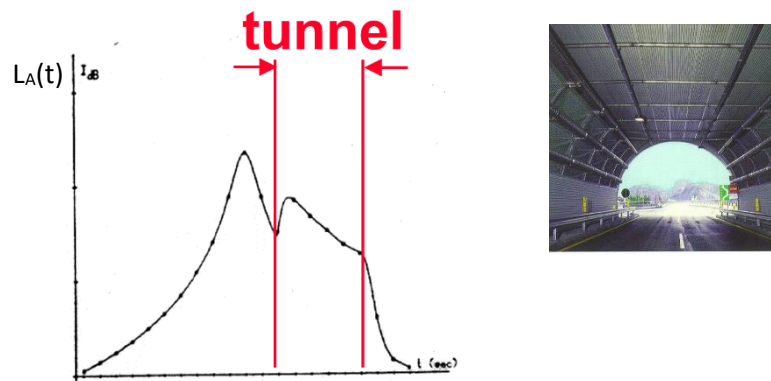
- lorsque le véhicule est suffisamment loin du tunnel, la quasi-totalité de l'énergie acoustique qu'il rayonne ne rentre pas dans le tunnel;
- progressivement, le véhicule va rayonner une partie de plus en plus grande d'énergie vers le tunnel, et de moins en moins grande vers l'extérieur, jusqu'au moment où il s'y trouvera complètement;
- à ce moment, à l'exception des extrémités ouvertes du tunnel, le véhicule se retrouvera «enfermé» dans le tunnel où le bruit se réfléchira «à l'infini» (réflexions multiples, comme les images à l'infini dans un local équipé de miroirs sur toutes ses faces).



**Figure 12 – Progression d'un véhicule entrant dans un tunnel:  
le tunnel capte de plus en plus d'énergie qu'il renvoie vers ses extrémités**

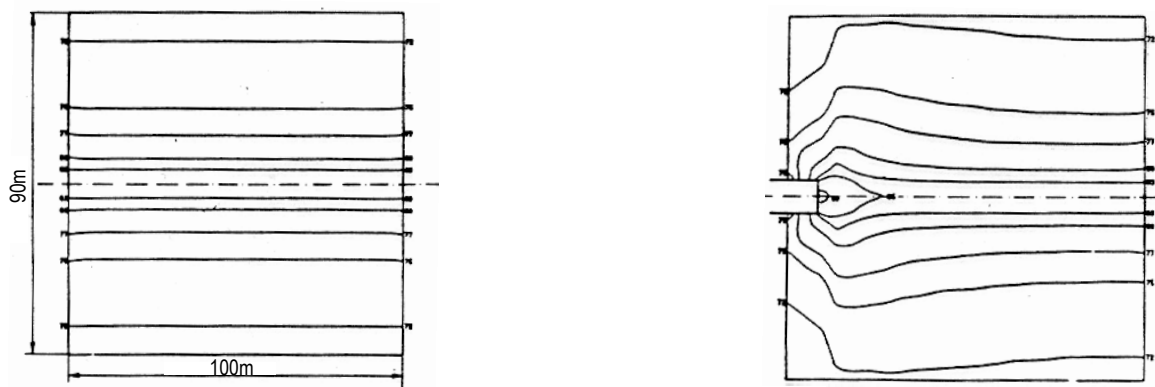
La figure 13 présente l'évolution temporelle du niveau de bruit au passage d'un véhicule à proximité d'une bouche de tunnel (sans tranchée d'accès afin de mieux mettre en évidence l'effet du tunnel):

- le niveau de bruit augmente d'abord progressivement jusqu'au moment où il passe devant le point récepteur (point où le niveau de bruit est calculé);
- puis le niveau redescend lorsque le véhicule s'éloigne;
- ensuite, il rentre dans le tunnel, qui renvoie l'énergie qu'il capte vers l'extérieur, ce qui relève le niveau de bruit au point récepteur: cet effet persiste tant que le véhicule chemine à l'intérieur du tunnel.



**Figure 13 – Evolution temporelle du niveau de bruit  $L_A(t)$  au passage d'un véhicule à proximité de la bouche d'un tunnel**

La figure 14 montre l'effet tunnel en présence d'un trafic continu, via la présentation des cartes du niveau de bruit  $L_{Aeq, 1h}$  dans le cas d'une même route, sans tunnel et avec un tunnel: on y voit clairement l'effet réducteur de bruit logiquement obtenu dans la zone couverte par le tunnel, alors que l'effet tunnel est marqué à proximité de sa bouche.



**Figure 14 – Cartes de bruit verticales du niveau de bruit équivalent  $L_{Aeq, 1h}$  avec (à gauche) et sans tunnel (à droite)**

Lorsque le trafic est important, la persistance du niveau de bruit à la bouche du tunnel vient s'ajouter au bruit de tous les autres véhicules, mais l'effet du tunnel reste en partie masqué par le trafic en dehors du tunnel. Par contre, de nuit, les véhicules sont beaucoup plus espacés et la persistance du niveau de bruit peut être beaucoup plus gênante: si les véhicules étaient distants de la longueur du tunnel, l'effet de persistance pourrait être que l'on entende le bruit de façon quasi permanente.

Cet effet de persistance du bruit est donc surtout gênant la nuit car il pourrait provoquer des changements de phases de sommeil pouvant même aller jusqu'au réveil (le meilleur exemple est le passage d'une moto bruyante, la nuit, dans un tunnel de 300 m de long par exemple).

**Comme pour les cas précédents de réflexions, l'utilisation de revêtements (acoustiquement) absorbants est conseillée: généralement, les parois latérales et le plafond du tunnel sont traités sur une certaine longueur (environ 50 m suivant la largeur du pertuis) afin de réaliser un effet «silencieux» par rapport au bruit dans le reste du tunnel. Un tel traitement peut apporter une réduction jusqu'à plus de 10 dB(A) sur le bruit du tunnel rayonné vers l'extérieur. À l'intérieur, dans la zone traitée, l'efficacité peut être très importante (plus de 12 dB(A)) alors que, logiquement, il n'y a plus aucune efficacité lorsqu'on sort de la zone traitée.**

Pour information, beaucoup de tunnels en Région de Bruxelles-Capitale sont traités de façon (acoustiquement) absorbante et l'effet de ce type de traitement est facilement constaté lors du cheminement à l'intérieur de ces tunnels.

## 11.2.2 La diffraction

### 11.2.2.1 Le phénomène physique

Lorsqu'on interpose un obstacle devant une source lumineuse on crée une zone d'ombre: en acoustique, interposer un obstacle entre une source de bruit et nos oreilles (sauf bien sûr un casque de protection antibruit) ne nous empêche pas de continuer à entendre ce bruit. L'énergie se diffracte sur les bords de l'obstacle pour se re-propager derrière celui-ci: c'est la **diffraction**.

Ce phénomène est le même en optique qu'en acoustique, sauf que les longueurs d'ondes sont nettement plus courtes en optique qu'en acoustique. En optique, les longueurs d'ondes vont de 300 à 800 nanomètres, un nanomètre correspondant à 1 milliardième de mètre. En acoustique, elles vont de 17 mm (fréquences aiguës à 20 000 Hz) à 17 m (fréquences basses à 20 Hz): les obstacles sont donc «vus» par les ondes acoustiques comme des obstacles nettement plus petits et donc plus faciles à «contourner» que pour des ondes optiques, dont la longueur est 1 million de fois plus petite.

Afin d'illustrer le phénomène de la diffraction, la figure 15 utilise le **principe de Huygens-Fresnel** selon lequel un **front d'onde** initié par une source d'ondes peut être décomposé en une série de nouvelles sources secondaires qui rayonnent ensuite pour recomposer le front d'ondes suivant: elle permet de mieux comprendre comment un front d'onde de même ordre de grandeur qu'un écran antibruit (quelques mètres) «passe» par-dessus le sommet de l'écran pour atteindre ce qu'on appelle la **zone d'ombre** (zone d'ombre: zone située sous la **ligne d'ombre**, soit la ligne joignant la source de bruit au sommet de l'écran: au-dessus de cette zone, on voit directement la source, en dessous on se retrouve dans la zone d'ombre de l'écran).

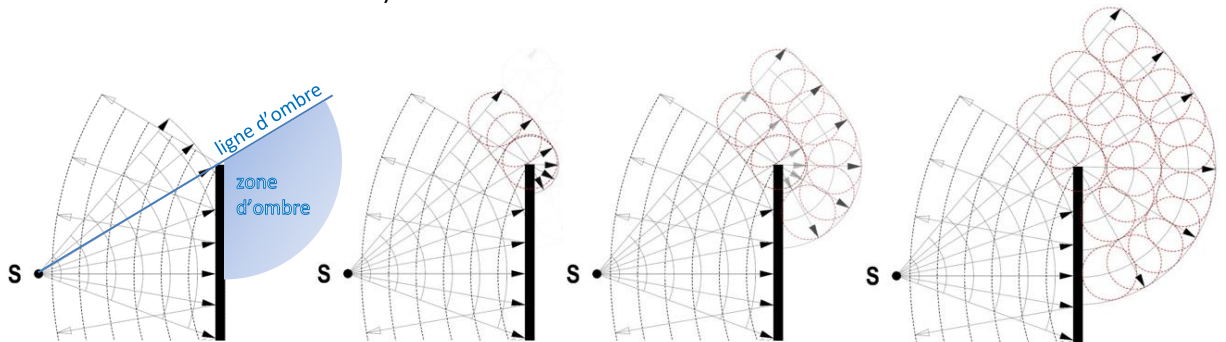


Figure 15 – Propagation d'un front d'onde sur un obstacle (principe de Huygens-Fresnel)

La figure 16 en présente une animation qui inclut également l'onde réfléchie du côté de la source de bruit: on y voit clairement que l'onde «passe» de l'autre côté de l'écran, tout en s'atténuant.

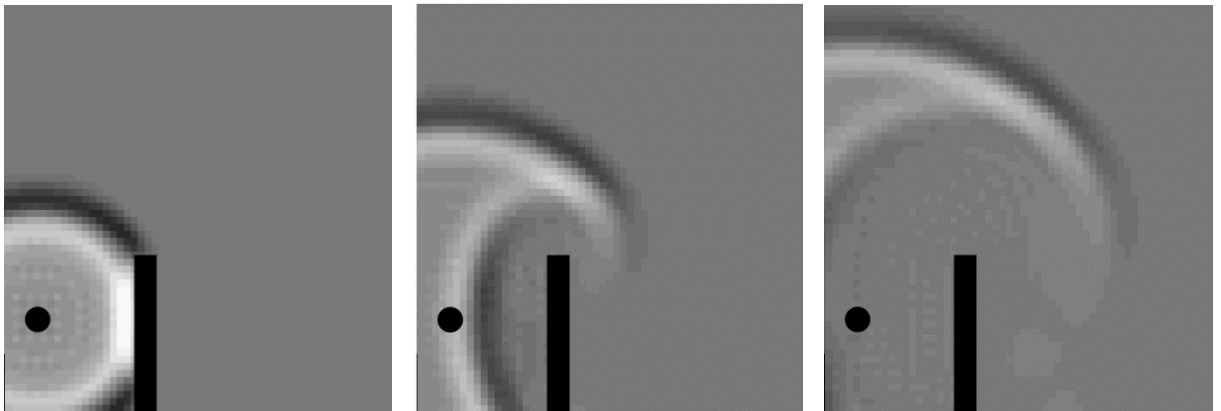
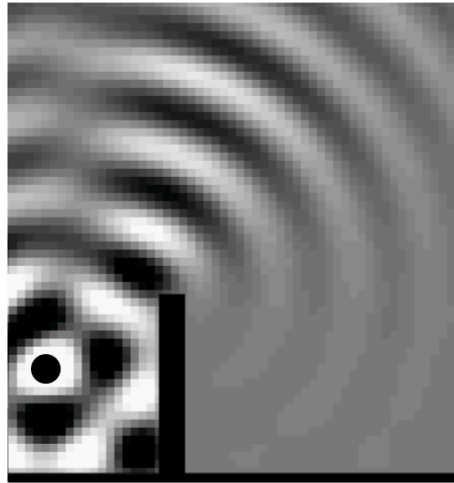


Figure 16 – Propagation d'un front d'onde sur un obstacle réfléchissant

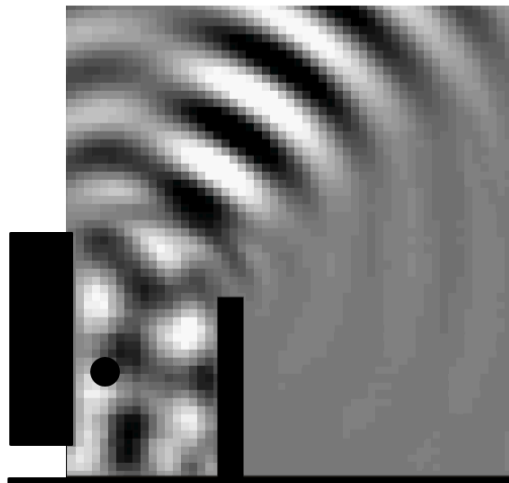
En fait, l'exemple de la figure 16, simplifié pour illustrer le phénomène de la diffraction, ne considère qu'un seul front d'onde et une seule réflexion sur l'obstacle: en réalité, le long d'une route, les ondes sont entretenues de façon continue par les véhicules («le bruit») et il y a un sol de part et d'autre de l'obstacle qui pourrait ici être, par exemple, un écran antibruit.

La figure 17 présente une animation qui correspond mieux à la réalité, mais qui ignore encore les possibles interactions avec la caisse des véhicules.



**Figure 17 – Propagation d’ondes entretenues sur un obstacle réfléchissant avec réflexions sur le sol**

Les interactions sont considérées à la figure 18 (cette figure illustre d’ailleurs les interactions véhicules / écrans mentionnées au chapitre précédent).



**Figure 18 – Propagation d’ondes entretenues: écran réfléchissant et interactions avec un camion**

#### 11.2.2.2 Comment calculer la performance des écrans antibruit ?

Pour ce qui concerne l’atténuation apportée par les écrans antibruit, celle-ci a été étudiée expérimentalement par **Z. Maekawa** dès 1968: il a établi un abaque (voir figure 19) grâce auquel il est possible de déterminer l’efficacité des écrans.

Pour ce faire, il convient tout d’abord de déterminer le nombre de Fresnel **N**.

$$N = \frac{2 \delta}{\lambda}$$

**$\delta$** : la différence entre le parcours de l’onde acoustique sans écran et celui avec l’écran (en m).

**$\lambda$** : la longueur d’onde (en m).

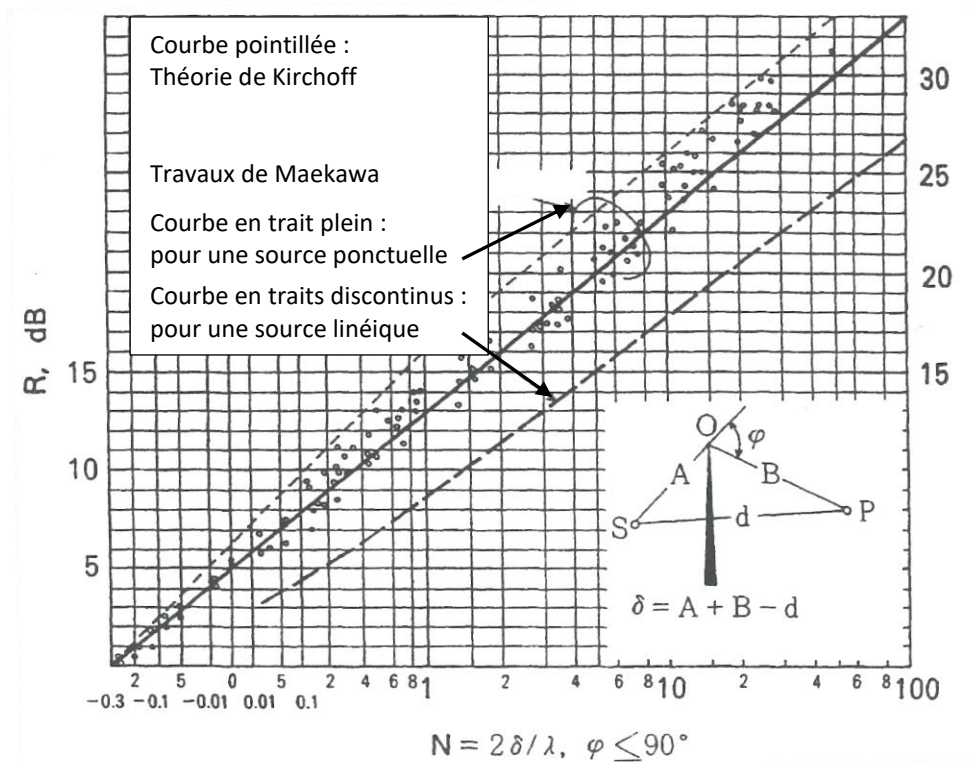


Figure 19 – Abaque de Maekawa: efficacité des écrans antibruit

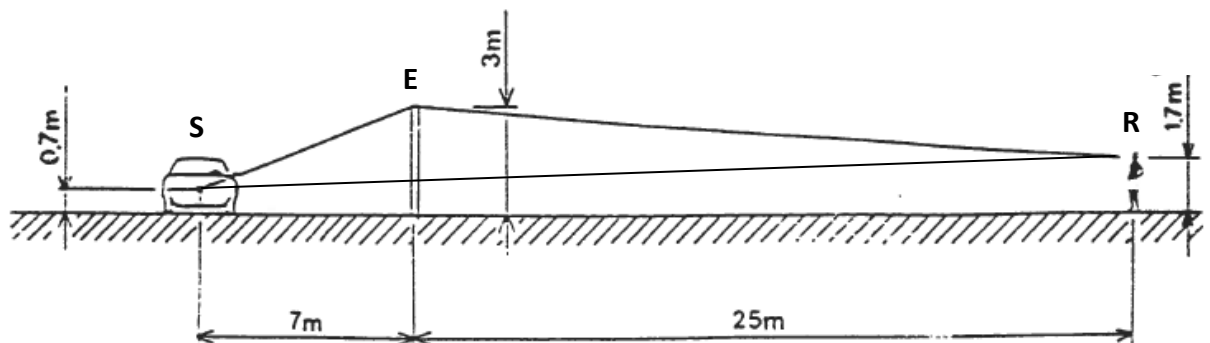


Figure 20 – Exemple pour un calcul simplifié de l'efficacité d'un écran antibruit

La figure 20 ci-dessus montre, par un exemple pratique, le calcul simplifié de l'efficacité d'un écran antibruit:

- de 3 m de haut, et considéré ici sans réflexion aucune;
- un véhicule situé à 7 m devant l'écran;
- une source de bruit fictive représentant ce véhicule à 0,7 m au-dessus de la route;
- et un piéton situé à 25 m derrière l'écran.

Dans cet exemple, en considérant une fréquence de 1 000 Hz, soit une longueur d'onde  $\lambda = 0,34$  m, et la différence de parcours  $\delta = SE + ER - SR = 0,39$  m, le nombre de Fresnel  $N = 2,3$ .

En reprenant cette valeur sur l'abaque de Maekawa (figure 19 ci-dessus), on obtient une efficacité de l'écran de 16,5 dB à 1 000 Hz.

En considérant un **bruit de type routier**, suivant son **spectre normalisé** [suivant NBN EN 1793-3], l'efficacité de l'écran passe à 14,5 dB(A).



### 11.2.2.3 Où placer un écran antibruit ?

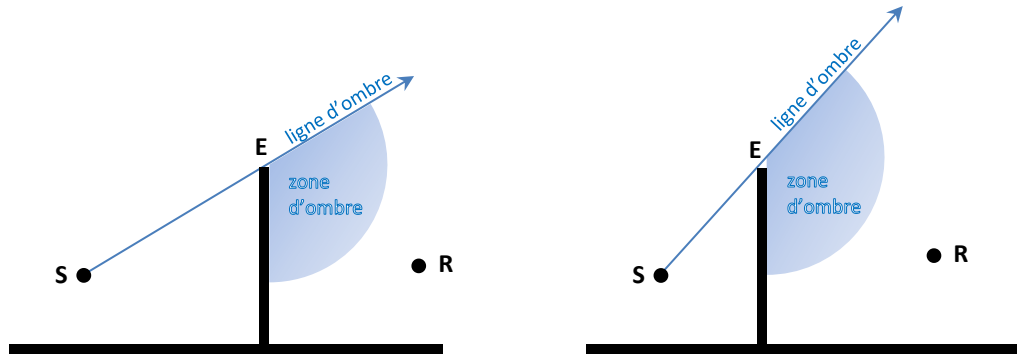


Figure 21 – Plus l'écran est proche de la source de bruit, plus la ligne d'ombre est relevée, et plus l'écran est efficace

La figure 21 montre qu'un écran antibruit est d'autant plus efficace que sa ligne d'ombre est élevée: un récepteur **R** restant à la même position se trouve en effet plus bas dans la zone d'ombre et est d'autant mieux protégé. Cela se traduit par une plus grande différence de parcours  $\delta = SE + ER - SR$ , et donc un nombre de Fresnel **N** plus grand.

Cependant, il ne faut pas oublier qu'une rue, ou une route, peut comporter plusieurs bandes de circulation: certaines bandes sont donc plus proches de l'écran, certaines autres plus éloignées.

Sur les bandes plus éloignées, les lignes d'ombre sont plus basses, et l'écran sera donc moins efficace à en réduire le bruit de l'autre côté de l'écran (voir figure 22).

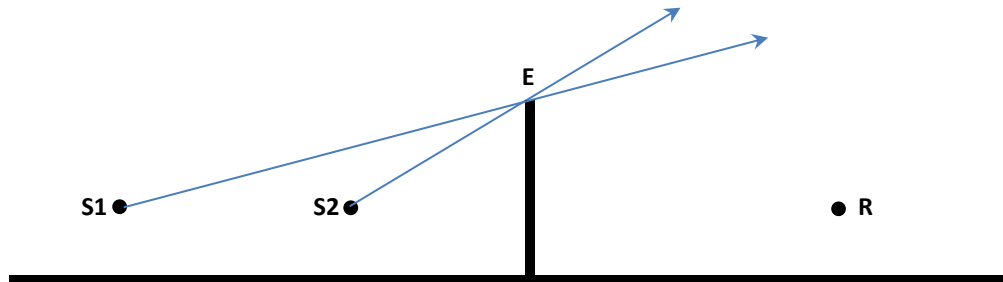


Figure 22 – Un écran est moins efficace sur les sources de bruit les plus éloignées

### 11.2.2.4 Les buttes en terre

Souvent végétalisées, les buttes en terre peuvent constituer des obstacles à la propagation du bruit routier visuellement plus appréciés que les écrans antibruit «classiques».

Cependant, ces buttes en terre nécessitent une **emprise au sol** nettement plus importante qu'un écran antibruit de même hauteur, ce qui en abaisse la ligne d'ombre comme l'indique la figure 23.

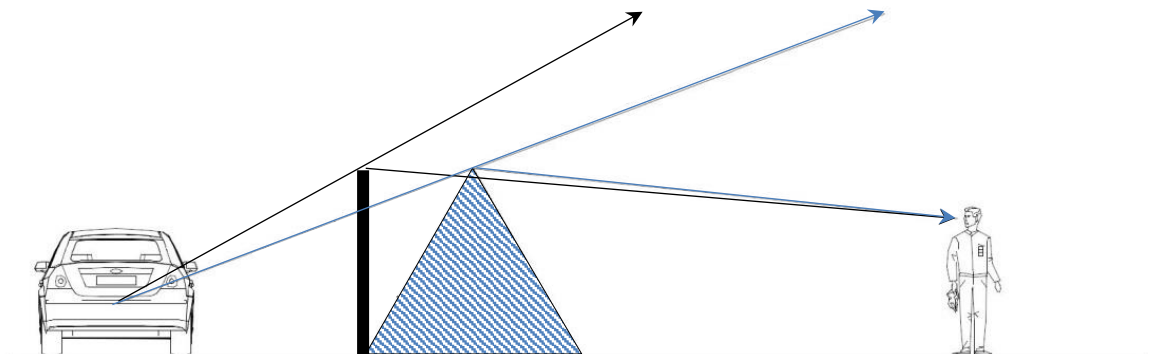


Figure 23 – Buttes en terre: l'emprise abaisse la ligne d'ombre et diminue l'efficacité

Comme le montre la figure 24, outre le fait d'abaisser la ligne d'ombre à cause de leur emprise au sol par rapport à un écran «classique» de même hauteur, les buttes en terre ont encore deux inconvénients qui viennent en diminuer l'efficacité à réduire le bruit:

- **le front d'onde attaque l'obstacle suivant une pente plus facile à «surmonter»** qu'un écran vertical (il est effectivement plus facile de monter une pente qu'un mur vertical) ;
- **au sommet, l'énergie rayonne dans un angle plus petit** que pour un écran «fin»: le niveau de pression acoustique en est plus élevé.

Z. Maekawa a également établi un autre abaque permettant de calculer ces deux effets: la figure 25 présente cet abaque, qui reprend la perte d'efficacité d'un écran antibruit en fonction de l'angle d'attaque du front d'onde  $\theta$  et de l'angle d'ouverture  $\Omega$  en caractérisant l'arête de diffraction.

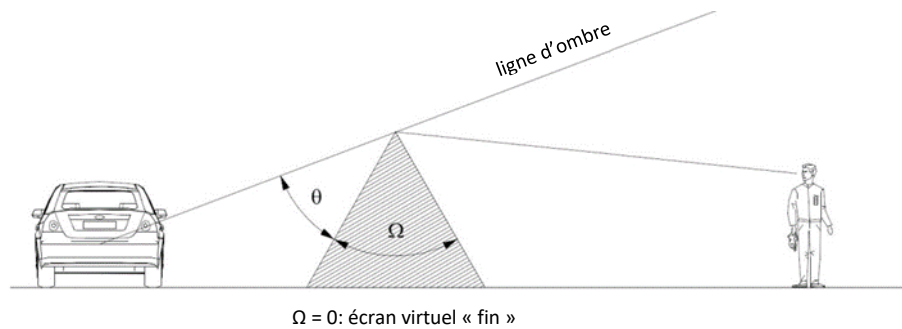


Figure 24 – Buttes en terre: angle d'attaque du front d'onde et volume de l'obstacle

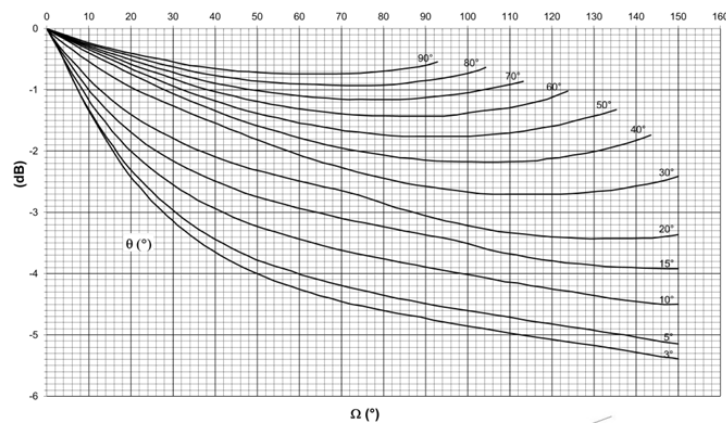


Figure 25 – Abaque de Maekawa: perte d'efficacité en fonction des angles  $\theta$  et  $\Omega$

Dans le calcul de l'efficacité d'une butte en terre, il ne faut jamais oublier d'intégrer cet effet réducteur de performances. La figure 26 reprend une animation de la propagation d'un front d'onde sur une butte en terre.

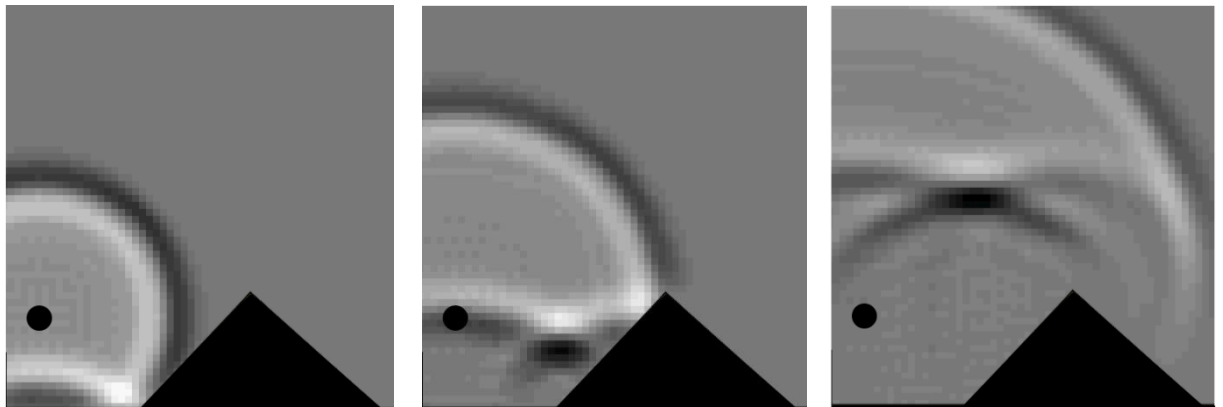


Figure 26 – Propagation d'un front d'onde sur une butte en terre

## 11.2.3 La transmission (au bruit aérien)

### 11.2.3.1 Le phénomène physique

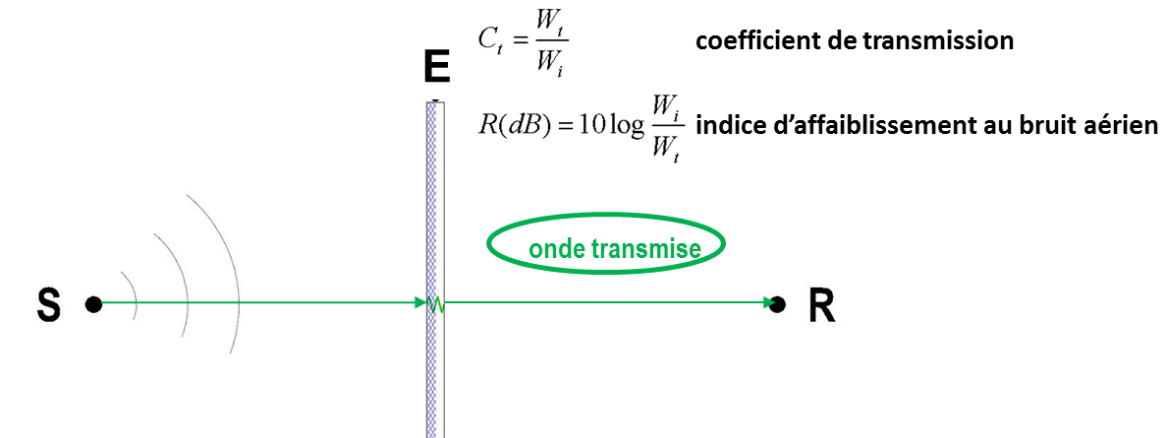


Figure 27 – Transmission (au bruit aérien) d'un écran antibruit

La figure 27 explicite le phénomène de transmission dite «au bruit aérien»<sup>1</sup> d'une onde. Depuis l'émission du bruit par la source **S**, jusqu'à la réception de ce bruit au récepteur **R**, nous avons les étapes suivantes:

- l'onde sonore est émise depuis la source et se propage vers l'écran;
- le front d'onde atteint la surface de l'écran: une partie de l'énergie *incidente* est *réfléchi*e vers le côté non protégé de l'écran, c'est-à-dire le «côté source», suivant les caractéristiques d'absorption acoustique de l'écran ; une autre partie est *absorbée* (voir 11.2.1 ci-dessus);
- une autre partie de cette énergie incidente est, quant à elle, transmise *au travers* de l'écran et se propage alors de l'autre côté de l'écran: on parle alors de **transmission aux bruits aériens**;  
*On caractérise la performance à la transmission au bruit aérien d'un écran antibruit par son coefficient de transmission  $C_t$  qui correspond au rapport entre l'énergie transmise  $W_t$  et l'énergie incidente  $W_i$ . Cependant, dans la pratique, c'est plutôt l'indice d'affaiblissement acoustique aux bruits aériens qui est utilisé: cet indice exprime de façon logarithmique (en dB) la réduction de l'énergie lors de son passage au travers de l'écran.*
- enfin, lorsque le front d'onde atteint le sommet **E** de l'écran, l'onde s'y diffracte (voir 11.2.2 ci-dessus) pour se propager de l'autre côté.

Comme indiqué à la figure 28, on constate donc que le **bruit perçu du côté protégé de l'écran correspond au cumul de l'énergie transmise au travers de celui-ci ET de l'énergie diffractée en son sommet.**

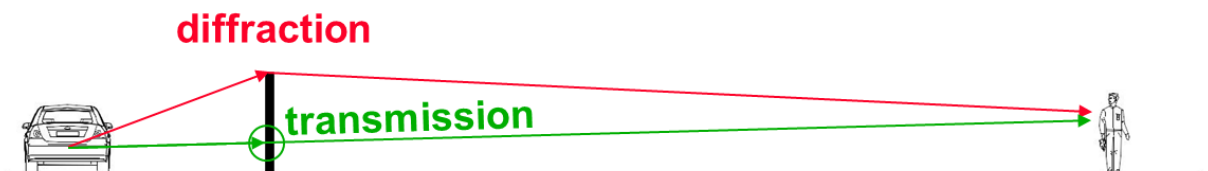


Figure 28 – Bruit derrière l'écran = énergie *transmise* + énergie *diffractée*

<sup>1</sup> *Transmission d'une onde «au bruit aérien»*: qualification utilisée pour la différencier de la transmission dite «aux bruits de chocs»; cette dernière transmission de bruit est rencontrée, par exemple, dans les bâtiments lorsque des personnes marchent sur un plancher et créent ainsi des bruits de pas / chocs qui sont perçus dans le local inférieur. La parole de ces mêmes personnes peut aussi être entendue dans le local inférieur, mais cette transmission est alors qualifiée de transmission «au bruit aérien».

### 11.2.3.2 Limiter l'énergie transmise

On comprend donc bien l'intérêt de limiter l'énergie transmise, ceci afin d'obtenir la meilleure performance possible de l'écran.

En règle générale, quand deux niveaux de bruits A et B s'additionnent, le résultat de cette addition (logarithmique) équivaut quasiment au niveau de bruit A, pour autant que le niveau B soit inférieur d'environ 15 dB au niveau A.

Ainsi, pour que le bruit transmis au travers de l'écran soit négligeable par rapport à celui qui passe par-dessus l'écran (et qui, lui, est inévitable), la règle de base suivante est généralement appliquée:

«L'effet de la transmission est «négligeable» pour autant que l'indice unique d'évaluation de l'isolation au bruit aérien  $DL_R$  (dB) de l'écran soit de 15 dB supérieur à la performance  $\Delta L_{Aeq}$  (qui serait théoriquement obtenue par l'écran uniquement par effet de diffraction)»:

$$DL_R > \Delta L_{Aeq} + 15 \text{ dB}$$

Ainsi, par exemple, pour un écran «classique» qui apporterait une réduction globale théorique de l'ordre de 8 dB sur le niveau de bruit  $L_{Aeq}$  du trafic routier, un indice d'affaiblissement acoustique au bruit aérien supérieur à 23 dB serait requis (voir figure 29 explicitée ci-après).

La figure 29 montre l'efficacité réelle d'un écran antibruit de performance théorique de 8 dB (par diffraction) en fonction de ses performances à l'isolation au bruit aérien: cette figure montre également qu'il n'est pas nécessaire d'exiger plus que  $DL_R = 23$  dB, car au-delà de ce niveau de performance, l'énergie transmise devient suffisamment négligeable.

Ainsi, dans ce cas d'exemple, un écran antibruit de performance  $DL_R = 23$  dB sera aussi performant qu'un écran antibruit de performance  $DL_R = 50$  dB.

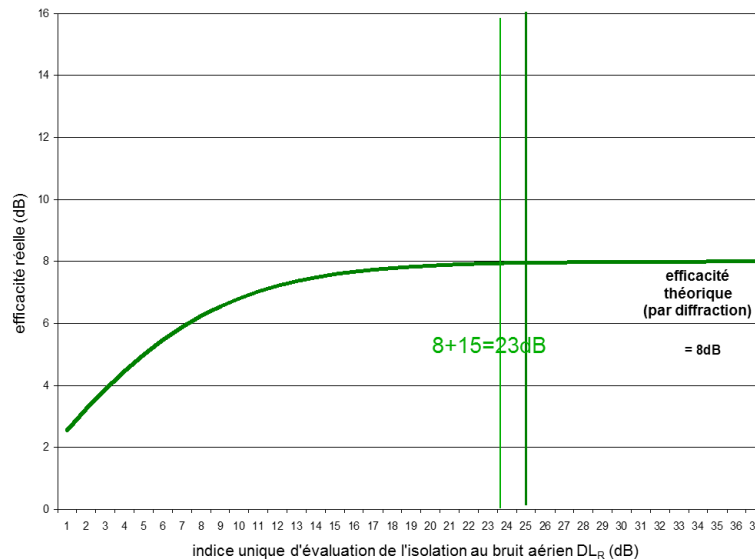
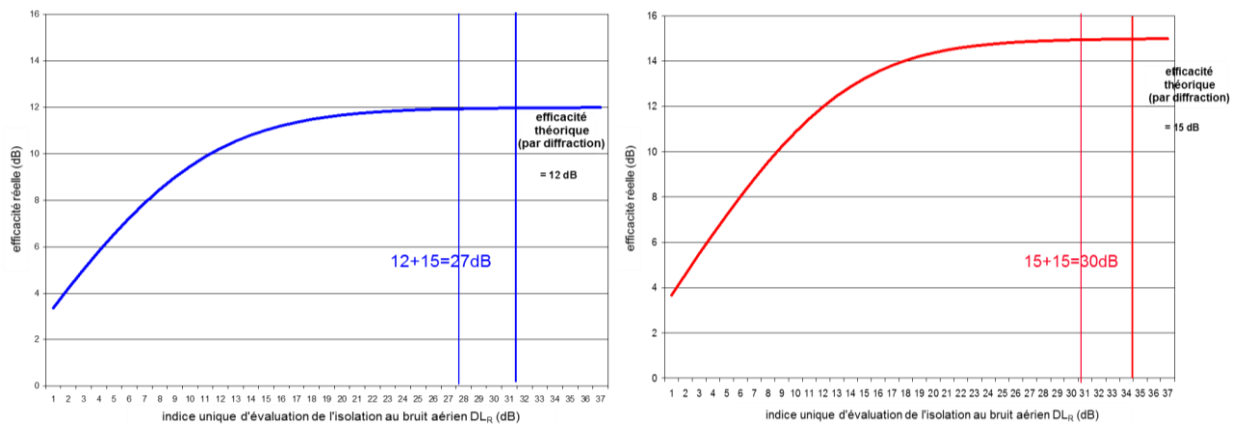
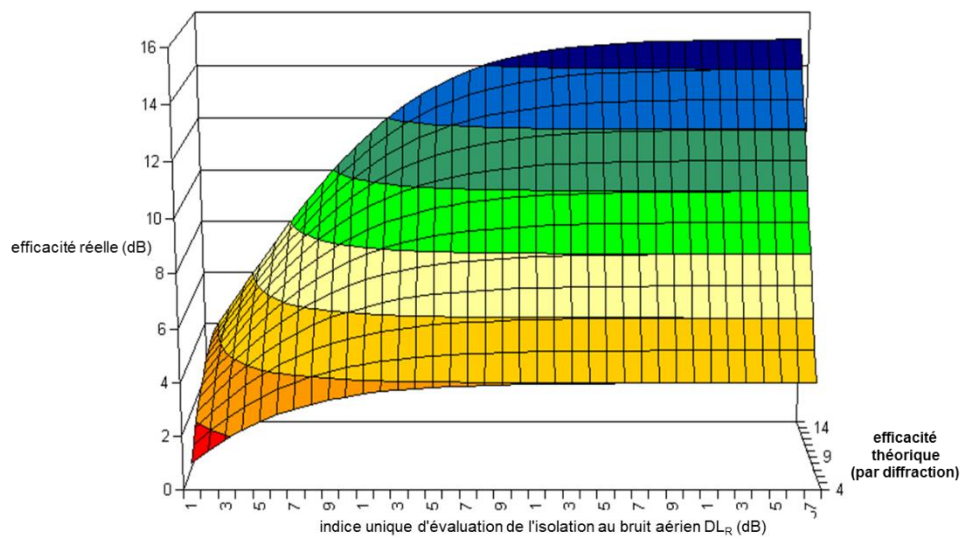


Figure 29 – Effet réducteur de la transmission suivant la performance à l'isolation au bruit aérien d'un écran

La figure 30 montre l'efficacité réelle d'écrans antibruit de performance théorique respective de 12 et 15 dB (par diffraction) en fonction de leurs performances à l'isolation au bruit aérien, alors que la figure 31 résume l'effet réducteur de la transmission sur la performance d'un écran antibruit pour des performances théoriques allant de 1 à 15 dB (valeurs les plus fréquentes rencontrées le long des routes).



**Figure 30 – Effet réducteur de la transmission suivant la performance à l’isolation au bruit aérien d’un écran**



**Figure 31 – Effet réducteur de la transmission suivant la performance à l’isolation au bruit aérien d’un écran**

**Remarque importante**

Il faut noter que la transmission du bruit reste un phénomène spatio-temporel et qu’elle intervient à tout moment du passage de chaque véhicule devant l’écran. Or, les niveaux de bruit sont les plus importants quand le véhicule est juste devant le récepteur en l’absence d’écran, alors que la performance de l’écran y est aussi la plus grande (l’effet d’écran y est plus important car la zone d’ombre est plus relevée): il est plus adéquat de considérer les niveaux de bruit instantanés  $L_A(t)$ , ou encore mieux, les  $\Delta L_{Amax}$  lorsque l’on définit les performances d’isolation à la transmission, plutôt que les  $\Delta L_{Aeq}$ .

**11.2.3.3 Dispositifs très performants**

Pour la même raison, de meilleures performances à l’isolation au bruit aérien doivent être exigées pour des dispositifs plus performants comme des écrans de forte hauteur, des écrans «à casquettes», des «semi-couvertures» ou couvertures partielles de chaussées, voire encore des «faux-tunnels».

#### 11.2.3.4 Cas particuliers influençant l'isolation à la transmission

La figure 33 présentée au point 11.3.1.1 plus loin montre bien l'effet que peuvent présenter des fuites dans les écrans antibruit: il conviendra de les considérer dans la conception des écrans.

##### Fuites localisées

Certaines fuites peuvent être induites par une mauvaise conception et/ou étanchéité d'assemblage, et survenir dès la mise en œuvre ou encore pendant le processus de vieillissement. L'effet de ces fuites peut aller de «négligeable» (fuites de très faibles dimensions, souvent inférieures au centimètre, et performances d'écran «classique»), à «très important» (fuites, même fines, mais sur des longueurs de l'ordre du mètre, soit les dimensions des éléments, et écrans prévus pour être très performants sans ces fuites).

Dans tous les cas, on privilégiera des conceptions permettant une performance durable à l'étanchéité.

##### Dispositifs de drainage

Des trous sont parfois nécessaires pour des raisons de drainage. Ces trous constituent des fuites localisées. Il convient de *limiter la plus grande dimension de ces trous à maximum 5 cm*.

##### Passage de la faune

Ces trous permettent le passage de petits animaux: il conviendra de les localiser le plus loin possible des zones les plus sensibles, voire de recourir à des dispositifs silencieux suivant leurs dimensions.

##### Passage de personnes

Lorsque des passages de personnes sont requis, il convient de les aménager afin d'en limiter les fuites acoustiques. Il y a quelques années, on utilisait des portes (réalisées à partir d'éléments d'écrans) et équipées de fermes-portes. Ces portes étaient toujours des éléments faibles des écrans dont elles faisaient partie, car elles étaient lourdes et peu durables. De plus, les fermes-portes étaient vite hors d'usage, certaines portes ayant même été condamnées car dangereuses.

Afin d'éviter ces inconvénients, tout en gardant l'accessibilité et la performance acoustique, on préconise généralement un «sas» (zone de recouvrement) de sorte à créer un «effet silencieux». On veille alors à ce que ce silencieux ait ses faces acoustiquement absorbantes, de sorte à bien y «freiner» la propagation des ondes.

La figure 32 en présente un exemple sur l'autoroute E42 à Fleurus.

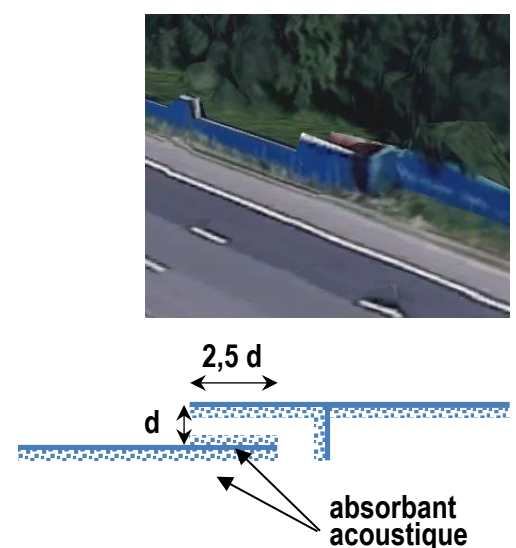


Figure 32 – E42 à Fleurus: sas acoustiquement absorbant permettant le passage de personnes (source: Google©)

#### 11.2.3.5 Comment obtenir une bonne isolation à la transmission ?

Généralement, pour amortir la transmission d'une onde acoustique, les matériaux doivent avoir une certaine masse. Plus le matériau est lourd, plus il est isolant, mais cette condition n'est *ni nécessaire, ni suffisante pour obtenir une bonne isolation*:

- **des matériaux composites** ayant de bonnes conditions d'amortissement **peuvent avoir des performances d'isolation assez similaires à celles de matériaux monolithiques nettement plus lourds**;
- **tout écran, lourd ou non, peut très bien présenter d'importantes fuites acoustiques** (jonctions des panneaux, jonctions aux poteaux supports) **qui viennent réduire sa performance globale d'isolation**;
- **il convient**:
  - d'avoir une **performance à l'isolation suffisante** pour que l'onde transmise soit négligeable;
  - néanmoins, **une fois que l'isolation est suffisante, une isolation supérieure est superflue**. Ceci est d'ailleurs très bien illustré par les figures 29 à 31 présentées précédemment.

Lors de la définition des performances à l'isolation acoustique de l'écran, il conviendra donc de bien maîtriser les besoins, et de ne pas se laisser influencer par les idées reçues ci-après.

- *Un écran suffisamment lourd n'a pas besoin d'un certificat de mesures démontrant ses performances à l'isolation.*  
C'est FAUX, car la mise en œuvre de ce type d'écran peut présenter de nombreuses **fuites**.
- *Plus un écran est performant à l'isolation, plus il est efficace sur le terrain.*  
C'est FAUX, car **il faut et il suffit d'avoir la bonne performance, ni plus, ni moins**, pour que l'onde transmise ait un effet négligeable sur l'efficacité globale de l'écran, efficacité essentiellement induite par la diffraction et non pas par la transmission.

Enfin, grâce à de toutes nouvelles normes et méthodes permettant de mesurer les performances sur le terrain, il est maintenant possible de qualifier «in-situ» les performances d'isolation des écrans et ainsi de vérifier leurs vraies performances.

### 11.3. Facteurs conditionnant la réduction du bruit routier lors de sa propagation

Les *facteurs* conditionnant la réduction du bruit routier lors de sa propagation, et notamment l'interposition d'obstacles tels que des écrans antibruit ou encore le placement de revêtements (acoustiquement) absorbants sur des parois, sont les suivants:

- les **dimensions**:
  - hauteur, longueur, volume;
  - la position relative entre les véhicules et les récepteurs dans l'environnement, la topographie, le profil de infrastructure;
  - le domaine fréquentiel, et le domaine temporel;
- la **forme** des objets:
  - les véhicules (voitures, camions, etc.);
  - les écrans (plats verticaux, plats inclinés, non plats, volumiques, dispositifs additionnels, etc.);
- les **caractéristiques intrinsèques** des dispositifs:
  - absorption, transmission, diffraction.

**C'est bien l'ensemble de TOUS ces facteurs qui conditionne l'efficacité globale des dispositifs antibruit utilisés lors de la propagation du bruit routier:** les paragraphes suivants vont les détailler.

#### 11.3.1 Les dimensions

##### 11.3.1.1 *Hauteur - Longueur - Volume*

###### **Hauteur**

Comme présenté en 11.2.2, c'est la diffraction qui est le phénomène physique principal conditionnant l'efficacité d'un écran antibruit: **plus la hauteur d'un écran est importante**, plus la ligne d'ombre est relevée **et plus l'efficacité est importante** (voir figure 21).

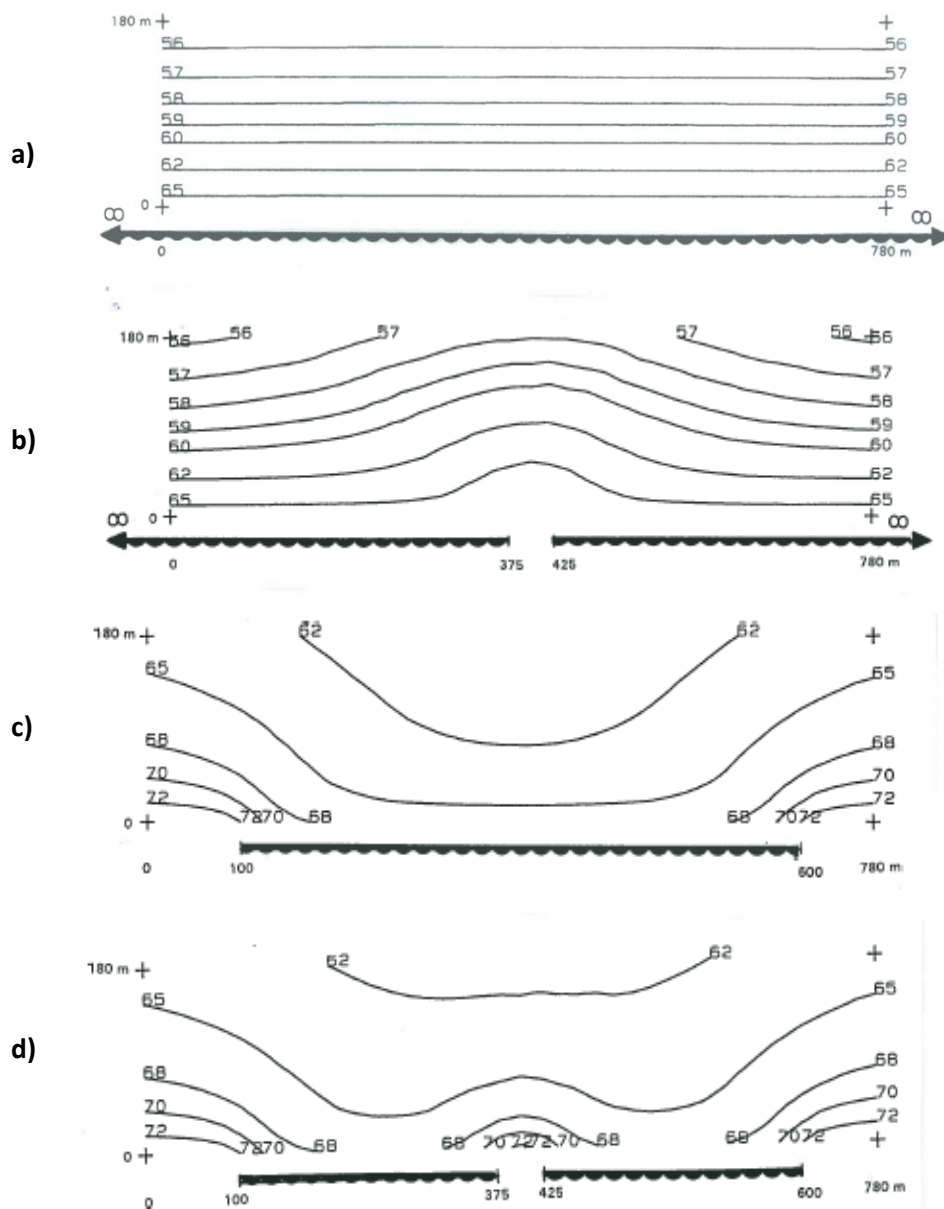
Malheureusement, on peut vite se retrouver face à des conditions pratiques, visuelles, financières ou encore de sécurité qui peuvent limiter la hauteur possible d'un écran: dans ces cas, il faudra considérer d'autres types d'écrans plus performants, voire compléter l'efficacité ainsi limitée de l'écran, par exemple en réalisant des insonorisations de façades pour les étages supérieurs d'habitations qui ne seraient pas suffisamment protégés.

###### **Longueur**

Au point 11.2.2, pour la clarté de l'exposé, la diffraction a été expliquée à partir de conditions simplifiées, telles que: source ponctuelle fixe, écran infiniment long, source et récepteur dans un même plan *perpendiculaire* à celui de l'écran.

En réalité, le bruit routier est généré par un ensemble de véhicules se déplaçant sur plusieurs axes au milieu d'un contexte urbain nettement plus complexe. Les écrans ont une longueur limitée et leurs extrémités sont également des arêtes de diffraction: les bruits contournent ces écrans par leurs extrémités ou toute autre ouverture (par exemple une sortie de sécurité ou une bretelle d'accès). Ces effets sont explicités en niveaux équivalents aux cartes de bruit présentées à la figure 33.



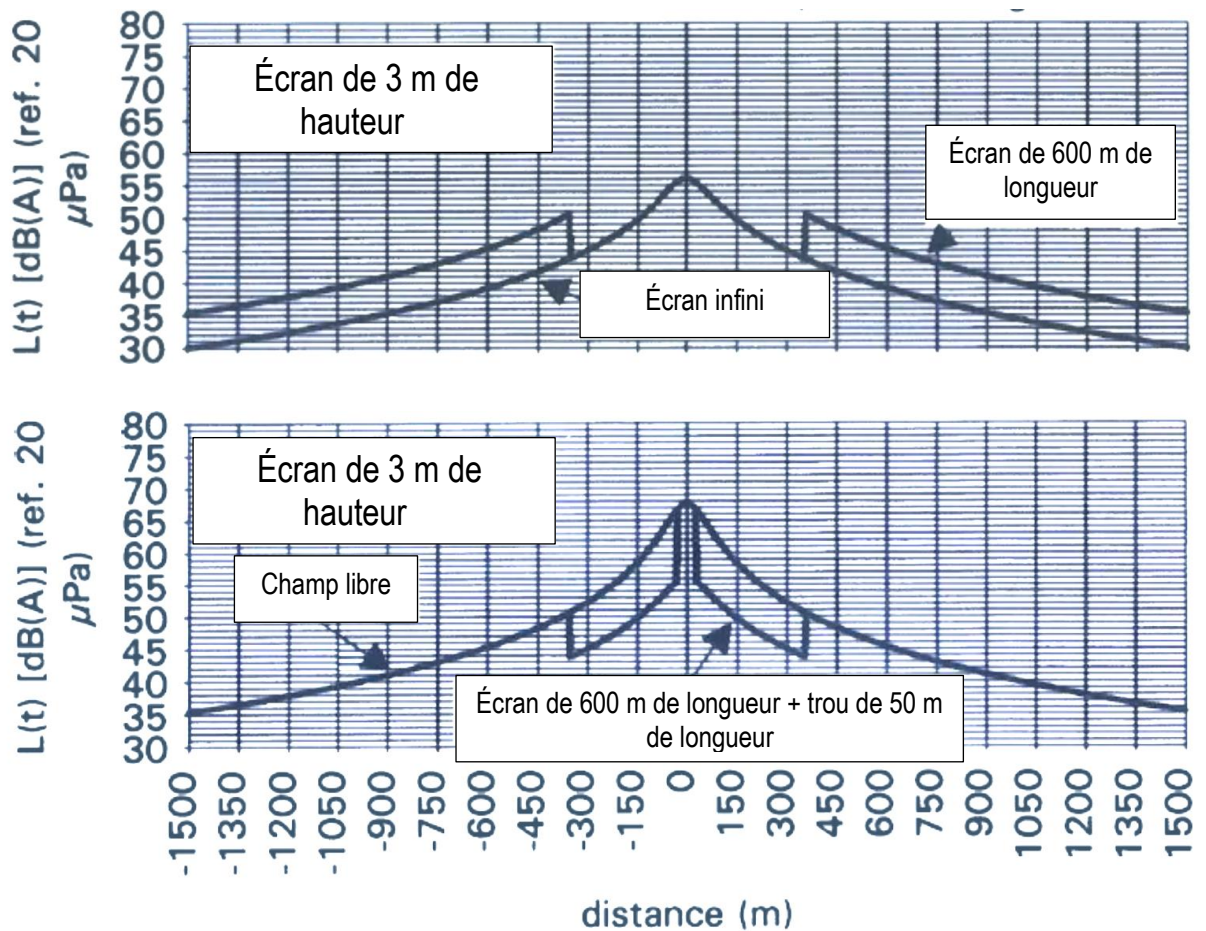


**Figure 33 – Cartes de bruit explicitant différents effets induits par la longueur des écrans**

Chaque carte de bruit est calculée à une hauteur constante de 5 m le long d'une autoroute à deux fois deux voies avec un écran (acoustiquement) absorbant (afin de ne pas être perturbé par des réflexions) de 3 m de haut parallèle à cette autoroute, elles sont tracées sur une longueur de 780 m et une profondeur de 200 m, pour les cas suivants:

- écran infiniment long: les courbes d'isoniveaux de bruit sont parallèles à l'autoroute;
- écran infiniment long avec un «trou» de 50 m: on distingue nettement que les bruits se relèvent au droit du trou;
- écran d'une longueur finie de 500 m: les niveaux à l'arrière de l'écran sont nettement plus élevés. Le bruit des véhicules en amont et en aval de l'écran passe directement par ses extrémités;
- écran d'une longueur finie de 500 m avec un «trou» de 50 m: c'est la combinaison des cas b) et c), les niveaux à l'arrière de l'écran sont nettement plus élevés: le bruit des véhicules en amont et en aval de l'écran passe directement par ses extrémités, en plus du bruit passant par le trou.

La figure 34 présente l'évolution temporelle du niveau de bruit au passage d'un véhicule se déplaçant sur la bande la plus proche de l'écran, niveau calculé à 50 m en arrière de l'écran et à 5 m de haut.



**Figure 34 – Evolution temporelle du niveau de bruit au passage d'un véhicule devant un écran**

Cette figure montre clairement l'évolution temporelle des niveaux de bruit pour: un écran infiniment long, un écran de longueur limitée à 600 m, le champ libre, et un écran de 600 m de long avec un trou de 50 m en son milieu.

Un milieu urbain est nettement plus complexe que ces cas extrêmement simplifiés pour l'exemple: on peut s'imaginer la complexité du champ sonore en milieu urbain...

### Volume

Un écran antibruit est le plus souvent assimilé à un obstacle «fin»: c'est le cas de la majorité des écrans. Cependant, les buttes en terre sont beaucoup plus volumineuses et nous avons vu au point 11.2.2.4 (figures 24 à 26), l'effet (pouvant même être négatif) que pouvait avoir une telle volumétrie de l'obstacle.

En fait, sur le marché des écrans antibruit, il n'y a pas «que» des écrans fins, plats et verticaux: nous verrons plus loin au point 11.4 différents types d'écrans non plats, tels que des écrans avec plantation, des écrans en gabions, des écrans de forme particulière.

### 11.3.1.2 Position relative entre véhicules et récepteurs - Topographie - Profil de l'infrastructure

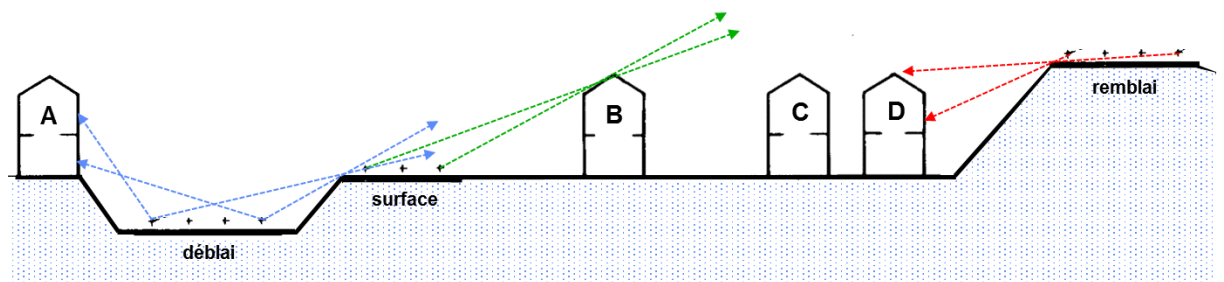
Restons encore pour l'instant dans le domaine spatial (dit aussi domaine géométrique ou encore domaine «3D»). Nous avons vu ci-avant l'importance de la hauteur, de la longueur, et de la forme / du volume des obstacles pour la propagation du bruit.

Les positions relatives des sources (véhicules), des obstacles (écrans) et des récepteurs (piétons, bâtiments) conditionnent également, et de façon très importante, l'efficacité des écrans.

En fait, il en va exactement de même que pour la hauteur des écrans (obstacles): plus la ligne d'ombre qui joint la source (le véhicule) au sommet de l'obstacle (écran) est relevée, et plus l'efficacité est importante (rappel: figure 21).

Ainsi, la topographie environnant l'infrastructure routière (la route), et le profil en long de l'infrastructure vont aussi beaucoup agir sur la propagation du bruit. Ils peuvent même créer des obstacles «naturels». Les figures 35 et 36 explicitent comment le profil en long de la route et la topographie peuvent influencer la propagation du bruit.

#### Route en déblai - route en surface - route en remblai

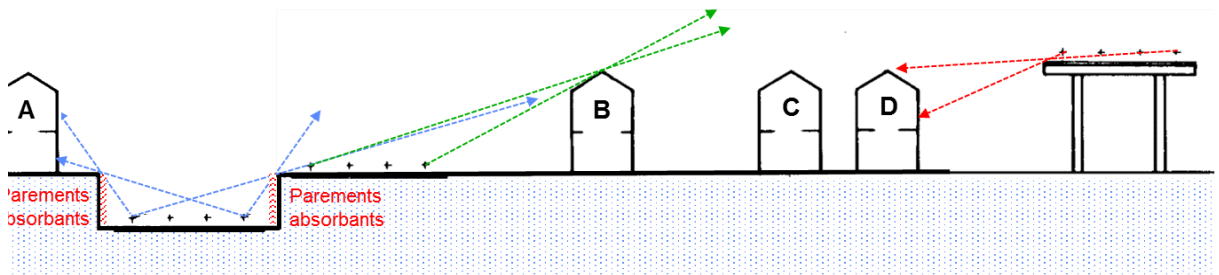


**Figure 35 – Comment le profil en long de la route et la topographie influencent la propagation du bruit: route en déblai - route en surface - route en remblai**

Sur la figure 35, nous distinguons 4 maisons, par exemple ici des maisons avec un étage:

- **la route en déblai** n'offre aucune protection vers la maison A, mais le déblai protège un peu la maison B (**lignes d'ombre en bleu**): suivant la localisation des maisons par rapport au bord du déblai, celui-ci pourra donc assurer un petit effet de protection, voire aucun;
- **la route en surface** expose quant à elle directement les maisons A et B, mais cette maison B, dite «en 1<sup>ère</sup> ligne» par rapport à la route en surface, fait obstacle à la propagation du bruit de cette route vers les maisons «en 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> ligne» (C et D) (**lignes d'ombre en vert**): en ville, les maisons sont souvent mitoyennes et créent ainsi des obstacles / écrans assez long, pouvant protéger efficacement leur arrière, ainsi que les maisons en «en 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> ligne»;
- **la route en remblai**, même si le bord du remblai peut aussi être un obstacle pour les récepteurs situés sous les zones d'ombres (**lignes d'ombre en rouge**), arrose généralement beaucoup plus de maisons car le bruit passe «au-dessus» des maisons D et C pour également perturber les maisons B et A.

### Route en tranchée - route en surface - route en viaduc



**Figure 36 – Comment le profil en long de la route et la topographie influencent la propagation du bruit: tranchées / routes en surface / viaducs**

En milieu urbain, les routes en déblai ou en remblai sont assez rares. On se retrouve plus souvent avec des tranchées à ciel ouvert ou avec des viaducs. La figure 36 reprend l'exemple de la figure 35, mais à présent avec une tranchée à la place d'une route en déblai, et un viaduc à la place d'une route en remblai:

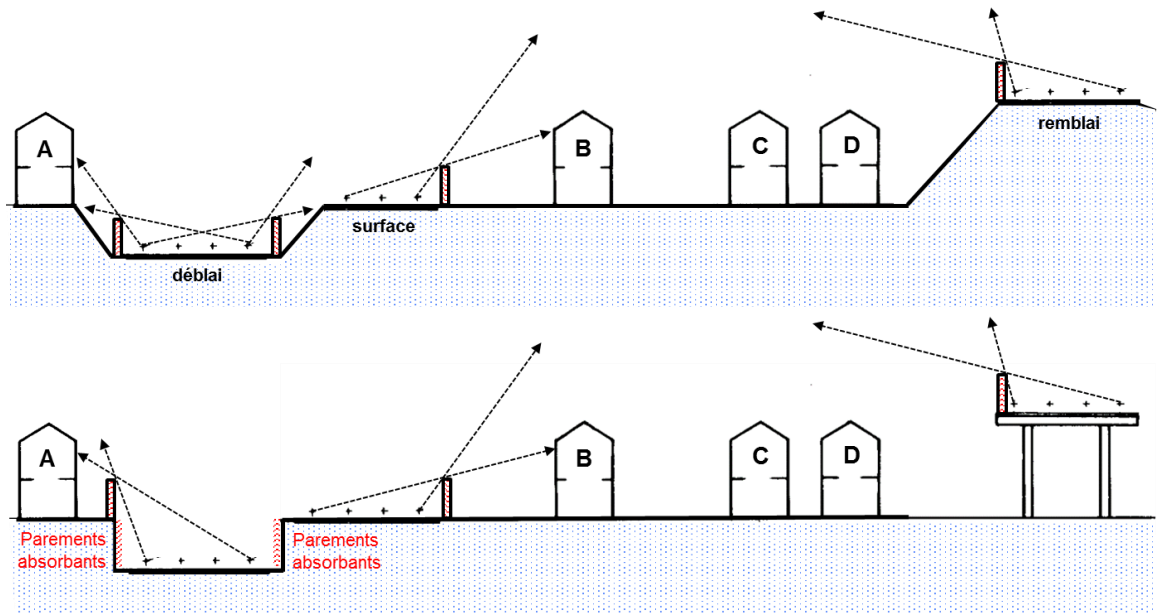
- pour **la route en tranchée**, nous avons vu (voir figure 7 en 11.2.1.2) qu'il est fortement conseillé de placer des revêtements acoustiquement absorbants sur ses murs, ceci afin d'éviter les réflexions multiples sur ceux-ci: un tel traitement acoustiquement absorbant permettra alors à ces murs de jouer le rôle d'obstacles / écrans d'autant plus efficaces que les récepteurs seront situés plus bas dans les zones d'ombre (**lignes d'ombre en bleu**). Pour une tranchée, comme pour une route en déblai il sera cependant toujours difficile de protéger les étages supérieurs des bâtiments ayant vue directe dans la tranchée (ou le déblai);
- **la route en surface** apporte les mêmes commentaires que ceux expliquant la figure 35;
- **la route en viaduc**, comme pour le cas de la route en remblai, même si le bord du viaduc peut aussi être un obstacle pour les récepteurs situés sous les zones d'ombres (**lignes d'ombre en rouge**), arrose généralement beaucoup plus de maisons car le bruit passe «au-dessus» des maisons D et C pour également perturber les maisons B et A.

Ainsi, nous remarquons qu'**en l'absence d'écrans antibruit supplémentaires au profil de la route**:

- les **routes en tranchées** (pour autant que leurs murs soient traités avec des parements acoustiquement absorbants...) et les **routes en déblai peuvent apporter une légère protection vers l'environnement, mais seront par contre très difficiles, voire impossibles à protéger dès lors que des bâtiments auront vue directe sur ces routes**;
- les **routes en surface** induisent une vue directe sur la circulation et **exposent sans protection possible les maisons dites «en 1<sup>ère</sup> ligne», cependant que ces maisons vont, elles, protéger les maisons «en 2<sup>ème</sup> ou 3<sup>ème</sup> ligne»: c'est d'ailleurs ainsi que les «intérieurs d'îlots», très nombreux en Région de Bruxelles-Capitale, sont très calmes**;
- les **route en viaduc ou en remblai non protégées peuvent apporter une faible protection pour les maisons situées en contrebas, cependant que ces routes, en rehaussant les sources de bruit, vont «arroser» un très grand nombre de maisons.**

### Efficacité des écrans suivant le profil en long et la topographie

Lorsque l'on va placer des écrans antibruit, à même hauteur d'écran, leur efficacité va fortement être influencée par le type de profil de la route, elle-même dans son environnement. La figure 37 ci-après explicite comment les zones d'ombre seront d'autant plus hautes (et par conséquent l'efficacité des écrans) que le profil de la route sera plus haut par rapport aux maisons à protéger.



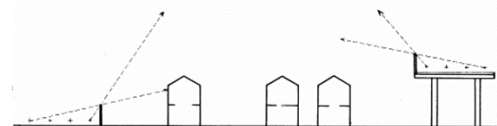
**Figure 37 – Le profil en long de la route et la topographie influencent l'efficacité des écrans pour une route en déblai ou en tranchée – une route en surface – une route en remblai ou un viaduc**

Il est donc important de comprendre à quel point le profil en long de la route et la topographie peuvent influencer l'efficacité des écrans antibruit (figures 35 à 39).

- **Sans écran, plus la route est surélevée, plus la zone qu'elle impacte est grande (figure 38):**
  - les routes en déblai ou en tranchée (de profondeur moyenne, c'est-à-dire environ 5 à 7 m) apportent une faible protection sur les bâtiments qui n'ont pas de vue directe sur la chaussée;
  - les maisons en « en 1ère ligne » des routes circulées sont très exposées, cependant qu'elles protègent les maisons « en 2ème ou 3ème ligne » (ex.: les îlots en Région de Bruxelles-Capitale);
  - **les routes en viaduc ou en remblai non protégées sont les plus impactantes en zone urbaine.**
- **Avec écran, plus la route est surélevée, plus l'efficacité de l'écran (de même hauteur) est grande:**
  - placer des écrans en bord de routes en déblai est inefficace;
  - placer des écrans en bord de tranchées ou au sommet de routes en déblai, lorsque cela est possible, peut être efficace, sauf pour les étages ayant vue directe sur la chaussée (même une vue partielle sur certaines des voies de circulation suffit à y rendre les écrans inefficaces);
  - en ville, il est quasi impossible de placer des écrans, sauf pour protéger des espaces urbains (parcs, chemins pédestres), ou si les maisons à protéger sont suffisamment en recul par rapport à la route;
  - **les écrans sur viaducs ou remblais sont les plus efficaces** car ils remontent fort les zones d'ombre (figure 39).



**Figure 38 – En ville, les viaducs ou remblais non protégés impactent une plus grande zone**



**Figure 39 – Les écrans sur viaducs ou remblais sont les plus efficaces**

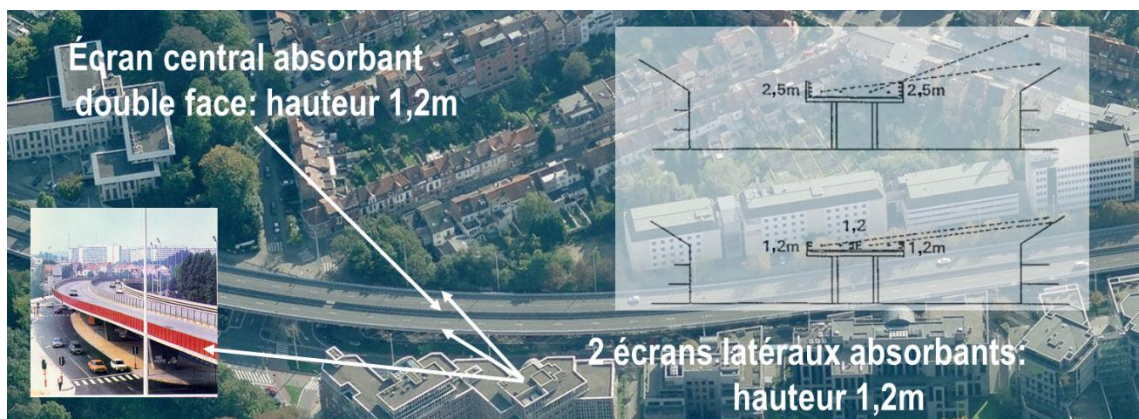
### Les «écrans centraux»

Lorsque l'on place des écrans antibruit le long d'une route à plusieurs voies, ces écrans sont beaucoup plus efficaces à réduire le bruit émanant des voies les plus proches que celui des voies les plus éloignées: les zones d'ombre créées par les écrans sont beaucoup plus relevées pour les véhicules qui leur sont proches que pour ceux qui en sont éloignés. Les figures 35 à 39 démontrent d'ailleurs bien cet effet (lignes d'ombre des sources éloignées «plus basses»).

Ainsi, il est logique de penser à un écran supplémentaire dit «**central**», placé entre les deux sens de circulation, et donc plus proche des voies «éloignées» afin de mieux en réduire le bruit.

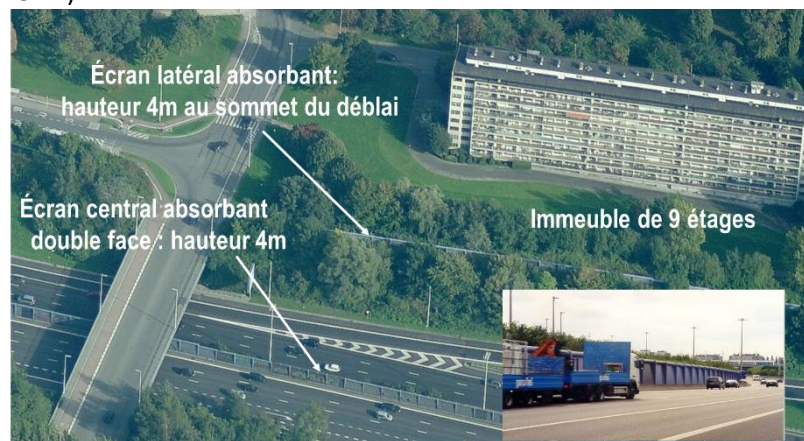
Les **viaducs en milieu urbain** sont des ouvrages d'art visuellement assez intrusifs: afin d'en réduire l'aspect «massif», ces viaducs sont allégés le plus possible. Cependant, placer un écran antibruit sur les bords d'un viaduc va induire deux inconvénients: cet écran va augmenter l'intrusion visuelle du viaduc dans l'environnement, mais aussi induire de très fortes contraintes mécaniques au tablier du viaduc lui-même (effet de la prise au vent de l'écran, effet transmis aux ancrages situés au pied de l'écran).

La figure 40 montre comment réduire la hauteur de deux écrans «latéraux» de 2,5 m placés le long d'un viaduc urbain, en les remplaçant par deux écrans «latéraux» et un écran «central» de 1,2 m: la performance globale de ce dispositif est équivalente, voire même supérieure aux écrans latéraux de 2,5 m de haut (exemple: viaduc Hermann-Debroux à Auderghem).



**Figure 40 – Utilisation d'un écran «central» afin de réduire la hauteur d'écrans «latéraux»**

Outre les viaducs urbains, certaines infrastructures routières urbaines à grand trafic peuvent aussi induire des impacts de bruit très importants et d'autant plus difficiles à maîtriser que le profil en long de la route est conjugué à une topographie défavorable des lieux: toujours basés sur les mêmes principes de mieux se protéger du bruit des voies les plus éloignées, **des écrans centraux peuvent également être utilisés dans d'autres situations que des viaducs** (exemple: ring de Bruxelles à Anderlecht, figure 41).



**Figure 41 – Utilisation d'un écran «central» afin de mieux protéger un immeuble de 9 étages**

### **Les écrans de faible hauteur**

Les écrans antibruit de faible hauteur sont en fait des écrans classiques mais dont l'efficacité est importante (tout simplement) grâce à une localisation judicieuse par rapport aux sources de bruit à protéger.

On a vu à plusieurs reprises combien la localisation d'un écran est importante sur l'efficacité qu'il va apporter sur l'environnement: plus la ligne d'ombre (source / écran, voir figures 21 et 22 en 11.2.2.3) est élevée, et plus l'écran est efficace.

**L'idéal est donc de placer l'écran quasiment contre la source de bruit** ; cependant, pour des raisons évidentes de sécurité, cela est plus difficile pour un trafic routier dont la localisation des véhicules est assez aléatoire sur la largeur de la chaussée.

Par contre, pour les transports ferrés (figure 42) comme les trains ou les trams:

- la localisation des véhicules / trams est fixe sur la largeur de la voie (rails);
- la localisation de la source de bruit la plus importante est le contact entre les roues du tram et le rail, et se situe par conséquent très bas: au niveau du sol;
- le spectre de bruit émis par cette source de bruit est un spectre très riche en hautes fréquences donc en faibles longueurs d'ondes, c'est-à-dire les plus faciles à protéger.

Il est donc tout à fait logique que des écrans de faible hauteur placés à proximité des rails tout en restant hors du gabarit de sécurité pour la circulation des trams soient très performants.



**Figure 42 – Exemple d'écran de faible hauteur le long d'une voie ferrée**

La figure 43 présente aussi un exemple d'écran de faible hauteur pour une double voie de circulation, mais avec circulation très proche. Cette disposition peut protéger en partie des espaces publics, cependant que de tels écrans peuvent aussi créer une barrière à la circulation des personnes: leur utilisation devra donc être faite de façon adaptée à toutes les contraintes.



**Figure 43 – Ecran urbain de faible hauteur et végétalisé (source: [www.greener-cities.eu](http://www.greener-cities.eu))**

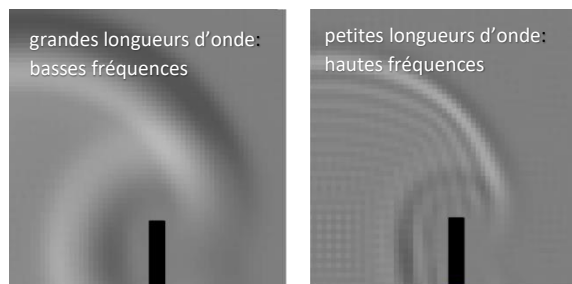
### 11.3.1.3 *Domaine fréquentiel - Domaine temporel*

Le domaine spatial / géométrique n'est pas le seul domaine dimensionnel pouvant influencer la performance des écrans antibruit: les domaines fréquentiel et temporel (trop souvent négligés dans le dimensionnement de dispositifs antibruit) sont tout aussi importants.

#### **Domaine fréquentiel**

Comme listés en 11.2, les 3 phénomènes physiques conditionnant l'efficacité des écrans antibruit, à savoir la *réflexion* / *l'absorption*, la *diffraction* et la *transmission* des ondes sonores, sont directement liés à la *longueur d'onde* et donc à la *fréquence* qui lui est inversement proportionnelle.

Il est aisé de comprendre qu'**un écran fera moins obstacle à la propagation d'ondes dont la longueur est similaire, voire supérieure à l'obstacle** (l'onde «saute par au-dessus» de l'écran, voir figure 44).



**Figure 44 – L'importance de la longueur d'onde sur la performance d'un écran**

Il en va de même de la **capacité d'un matériau à absorber les ondes** qui arrivent à sa surface: **ces ondes seront d'autant mieux absorbées que leur longueur d'onde sera petite.**

Enfin, **la capacité d'un écran à dissiper la transmission des ondes au travers de celui-ci sera également d'autant meilleure que leur longueur d'onde sera petite.**

L'efficacité d'un écran antibruit est donc bien meilleure pour les hautes fréquences (fréquences dites «moyennes» ou «aigües») correspondant à des petites longueurs d'ondes (de l'ordre de 10 cm ou moins), qu'en basses fréquences (de l'ordre du mètre ou plus). C'est la raison pour laquelle, lorsque l'on passe derrière un écran, la sensation spectrale du bruit se modifie et le bruit, outre qu'il diminue, s'assourdit.

Dès lors, **il conviendra de caractériser les performances intrinsèques des dispositifs antibruit pour toutes les fréquences auxquelles ils devront être efficaces** (généralement, en bandes de 1/3 d'octave: de 125 Hz à 5 KHz), **et le dimensionnement complet de ces dispositifs devra impérativement tenir compte de toutes ces fréquences.**

#### **Domaine temporel**

Lorsque l'on dimensionne des écrans antibruit, on oublie trop souvent que **les véhicules** ne sont ni des points, ni des lignes sources de bruit fixes, mais **sont bien des volumes de formes complexes se déplaçant dans l'espace à différentes vitesses.**

**Le bruit global perçu dans l'environnement n'est que la somme des contributions respectives de chaque véhicule isolé constituant le trafic, et l'efficacité des dispositifs est différente pour chacun de ces véhicules en fonction de sa position à un instant donné.**

En ce qui concerne certains phénomènes dits «spatio-temporels» comme les interactions entre les caisses des véhicules et les écrans, ou encore les bruits engendrés par des véhicules isolés lors de périodes plus calmes (par exemple la nuit), il est bon de se rappeler l'importance que peuvent avoir les évolutions temporelles. On peut ainsi se référer utilement aux évolutions temporelles présentées aux figures 10 (interactions entre la caisse d'un camion et un écran) et 13 (tunnel), ou encore à la figure 34 (discontinuité dans un écran antibruit).

C'est bien la dimension temporelle qui explique une gêne plus particulière lors de passages de véhicules isolés, ou encore l'effet amplificateur d'écrans antibruit acoustiquement réfléchissants.



### 11.3.2 La forme des objets

Nous avons vu en 11.2.1 combien les réflexions peuvent influencer la propagation des ondes, et en 11.2.2 comment la diffraction permettait aux ondes de passer de l'autre côté d'un obstacle.

Il est évident que la forme des objets va fortement influencer la façon dont les ondes vont se réfléchir dessus, tout comme la forme des objets va influencer la façon dont ces objets vont diffracter l'onde qui y serait incidente.

De plus, plusieurs objets pouvant se faire face, ces effets vont pouvoir se cumuler, comme par exemple dans le cas des réflexions multiples entre deux parois, qu'elles soient toutes deux fixes (deux murs / écrans) ou mobiles (deux véhicules) ou encore qu'une des deux soit fixe (un mur / écran) et l'autre mobile (un véhicule).

#### 11.3.2.1 *Les véhicules*

En circulation urbaine, plusieurs types de véhicules composent l'ensemble du trafic:

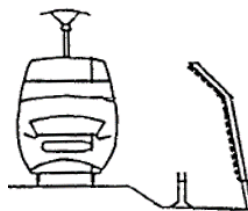
- les deux roues;
- les voitures privées;
- les camionnettes;
- les poids lourds: mono volumes, semi-remorques et remorques;
- les bus «simples», «doubles», voire «triples» articulés;
- les trams.

Chaque type de véhicule présente un carénage (deux roues) ou une carrosserie plus ou moins continue et de différentes longueurs: les ondes vont donc s'y réfléchir de façon différente suivant sa forme et sa longueur, alors que le temps de passage d'un véhicule isolé devant un point récepteur fixe va non seulement dépendre de sa vitesse, mais aussi de sa longueur.

#### 11.3.2.2 *Les écrans*

Le marché des écrans antibruit est très vaste, il est cependant facile de le subdiviser en grandes catégories (tout en se rappelant qu'ils peuvent être acoustiquement absorbants ou réfléchissants):

- les écrans plats «fins»: verticaux ou inclinés (vers les véhicules ou vers l'environnement);
- les écrans non plats «fins»: courbés ou de forme particulière (voir figure 45);
- les écrans «volumiques»: les écrans avec végétation, les murs de soutènement «en escaliers»;
- les écrans surmontés par des dispositifs «additionnels» destinés à agir sur la diffraction (voir figure 46).



**Figure 45 – Véhicule à carénage / carrosserie particulière face à un écran de forme optimisée**

**Les écrans de formes non plates** sont souvent «conçus» pour éviter des problèmes de réflexions / réflexions multiples: leur «conception» doit être adaptée à la forme du véhicule dont il est appelé à réduire le bruit: la figure 46 montre le processus d'optimisation d'un écran antibruit à placer le long d'une ligne de trains à grande vitesse (TGV, ici: le Thalys).



**Figure 46 – Cartes de bruit (de -15 m à +45 m au-dessus du rail, et de 10 à 150 m à droite du rail) en fonction du type d'écran pour le TGV (forme et caractéristiques d'absorption acoustique)**

La figure 47 présente une **autre application d'écrans de forme non plate sur un viaduc**. Souvent sur les viaducs, des écrans visuellement transparents sont préférés car ils réduisent leur impact visuel. Cependant, les écrans visuellement transparents sont malheureusement acoustiquement réfléchissants et, s'ils étaient disposés de façon verticale, ils apporteraient des réflexions multiples pouvant en dégrader leur performance antibruit. Dès lors, afin de mieux maîtriser ces réflexions multiples, des formes courbes sont utilisées: leur courbure est alors tournée vers le centre des chaussées à protéger.



**Figure 47 – Ecrans de forme courbe afin de réduire les réflexions multiples**

Les **écrans «volumiques»** tels que les écrans végétalisés, ou les murs de soutènement en escaliers doivent être utilisés de façon très circonstanciée: en effet, leurs caractéristiques d'absorption acoustique sont souvent médiocres et leur végétation résiste souvent très mal à la proximité du trafic et de sa pollution (par exemple les sels de déneigement).

Enfin, **des dispositifs additionnels peuvent être rajoutés au sommet d'écrans antibruit**: la figure 48 montre quelques exemples de ces dispositifs.

Il convient cependant de rester prudent quant aux performances de ces dispositifs, qui ne sont efficaces que sous la ligne d'ombre de l'écran, mais qui ne peuvent en rien justifier une réduction équivalente de hauteur si des maisons se retrouvent ainsi au-dessus de la ligne d'ombre de l'écran de hauteur réduite (voir figure 49).

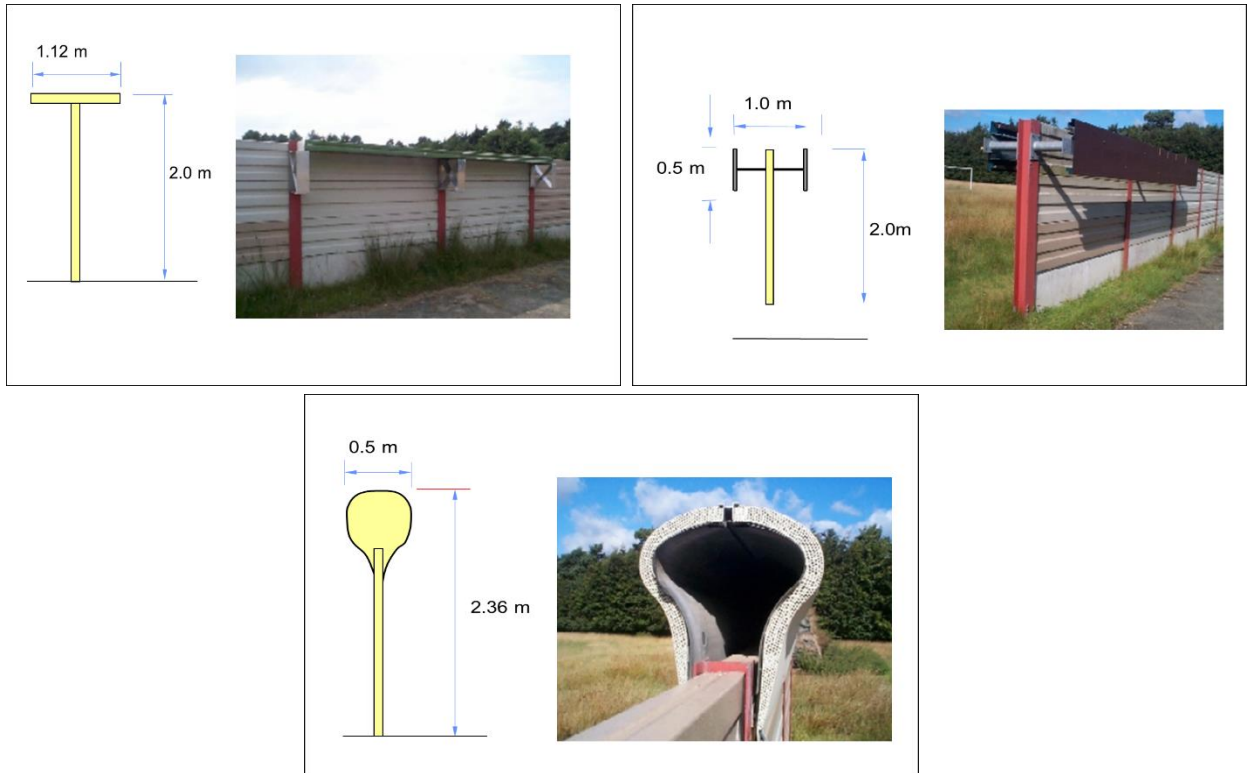


Figure 48 – Exemples de dispositifs additionnels à placer au sommet d'écrans

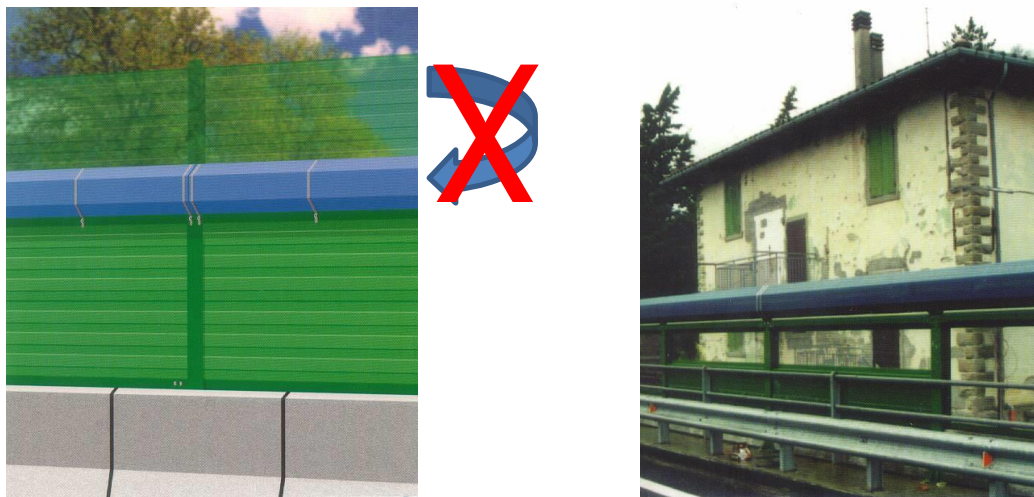


Figure 49 – La performance d'un dispositif additionnel ne suffit pas toujours à en réduire la hauteur. Nous citerons au point ci-après les méthodes de mesure normalisées qui permettent de qualifier les performances de ces dispositifs additionnels.

### 11.3.3 Les caractéristiques *intrinsèques* des dispositifs

Les caractéristiques *intrinsèques* sont les caractéristiques *propres au produit* lui-même (par différence avec sa mise en œuvre – longueur, hauteur, localisation qui ne sont pas propres au produit).

Suivant le type de dispositif, les caractéristiques (acoustiques) essentielles requises sont:

- pour les écrans antibruit: l'absorption acoustique (si le produit se prévaut d'être acoustiquement absorbant) et l'isolation acoustique;
- pour les revêtements acoustiquement absorbant: l'absorption acoustique;
- pour les dispositifs additionnels: la performance à la diffraction acoustique.

Nous avons vu aux points 11.2.1, 11.2.2 et 11.2.3 combien les caractéristiques d'absorption / réflexion, de diffraction et d'isolation sont importantes sur la performance finale des dispositifs antibruit: afin de comparer les différents produits distribués sur le marché européen, le Comité européen de Normalisation (CEN) a rédigé un ensemble de normes (EN) spécifiant les méthodes de mesures permettant la caractérisation objective des produits; la figure 50 en reprend la répartition.

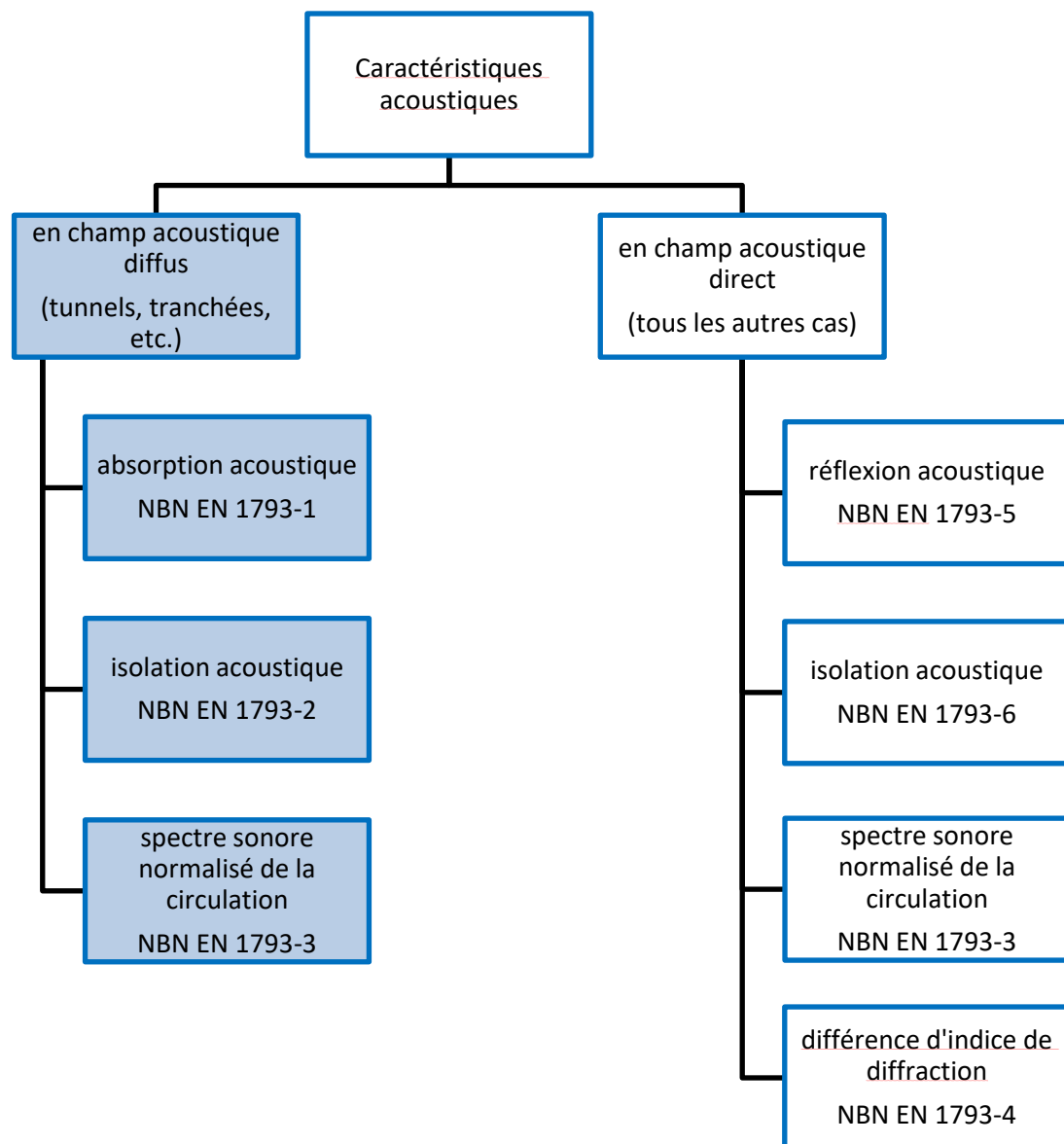


Figure 50 – Dispositifs antibruit routiers: normes européennes sur les caractéristiques acoustiques

En fait, il existe deux jeux de méthodes:

- les méthodes de **mesures sous champ acoustique diffus** (en laboratoire, dans une chambre réverbérante). Ces méthodes permettent de caractériser les dispositifs destinés à être utilisés sous champ diffus, c'est-à-dire les revêtements de parois acoustiquement absorbants destinés spécifiquement à cet effet;
- les méthodes de **mesures sous champ acoustique direct** (méthodes applicables en milieu extérieur, donc aussi le long des routes pour vérification). Ces méthodes permettent de caractériser les dispositifs destinés à être utilisés dans toute autre application «extérieure».

A ces deux jeux de méthodes de mesures, un spectre routier normalisé a été ajouté et défini dans la norme NBN EN 1793-3: ce spectre est utilisé afin de permettre l'établissement des indices uniques d'évaluation, c'est-à-dire des indices simplifiés qui regroupent les performances des dispositifs spécifiques à chaque bande d'1/3 d'octave en un seul indice pondérant ces performances fréquentielles suivant un spectre routier normalisé.

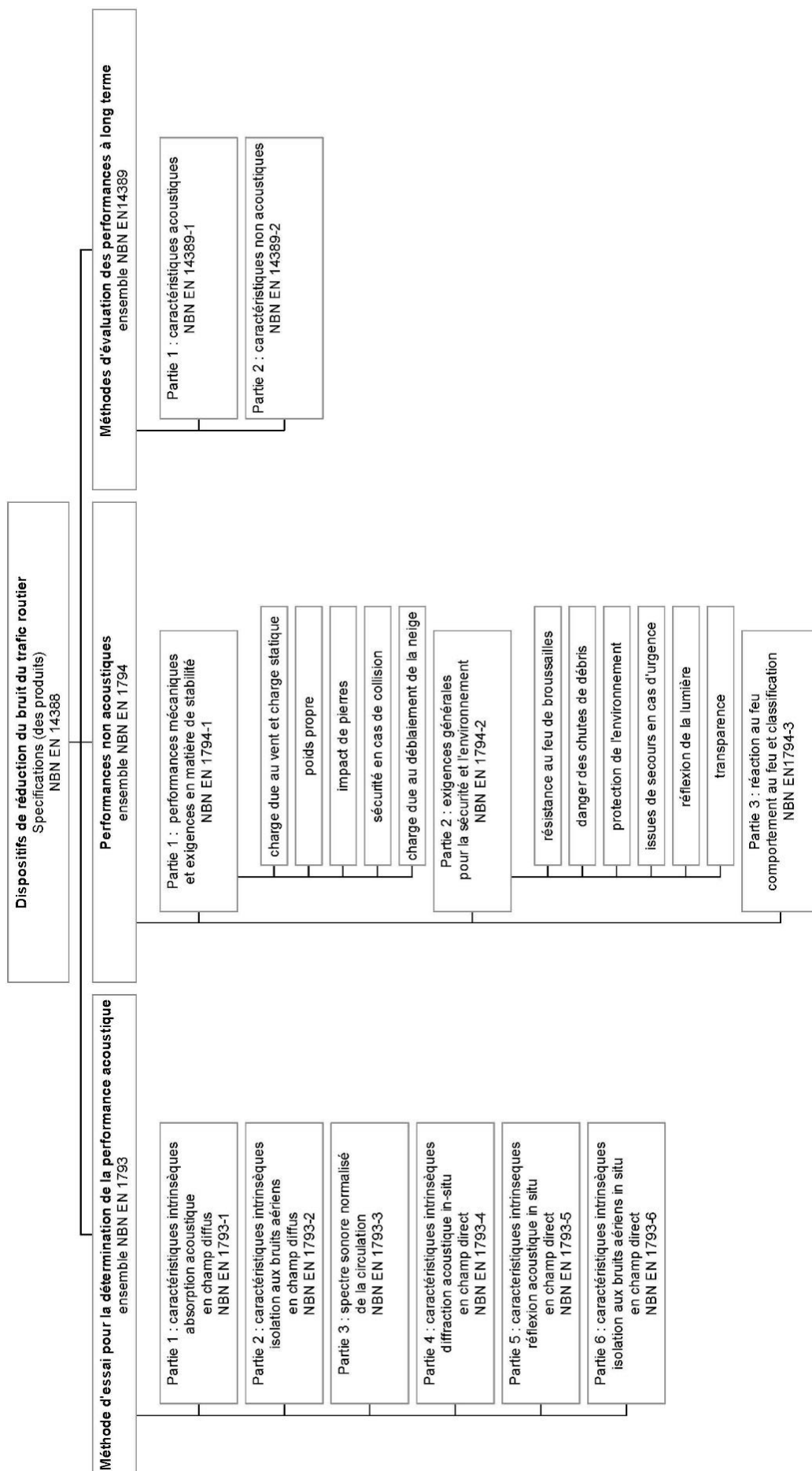
Dans son choix pour un produit ou un autre, l'acheteur d'un écran devra donc bien s'assurer que les performances qu'il prend en compte ont été établies suivant les bonnes méthodes: en champ diffus, les normes NBN EN 1793-1, 2 et 3, et pour toute autre application, les normes NBN EN 1793-3, 4, 5 et 6.

Enfin, il ne faut pas oublier que **les caractéristiques acoustiques ne sont pas les seules caractéristiques importantes dans la conception d'écrans antibruit**: la sécurité et la pérennité des performances sont également essentielles à considérer.

**Le cadre normatif relatif aux dispositifs antibruit routiers reprend un ensemble complet de normes** tel que schématiquement représenté à la figure 51.

Les figures 52 à 54 reprennent un exemple type d'un rapport de mesure des caractéristiques de réflexion acoustique suivant la norme NBN EN 1793-5.

Les figures 55 à 57 reprennent un exemple type d'un rapport de mesure des caractéristiques d'isolation acoustique suivant la norme NBN EN 1793-6.



**Figure 51 – Le cadre normatif des dispositifs antibruit routiers**

Annex B  
(informative)

Template of test report on sound reflection of road noise barriers

Important note: Logically, all references in this template to Annex B have to be removed when drafting a test report.

B.1 Overview  
for product **xxxx** produced by the firm **yyyy**.

(*)	<p>GENERAL</p> <p>The present test is based on the test method according to the European Standard EN 1793-5.</p>
(*)	Name and address of testing organization:
(*)	Date of test:
(*)	Place of test:
(*)	TEST OBJECT: see description and photographic presentation in B.1
(*)	<p>MANUFACTURER:</p> <p>Type:</p> <p>Dimensions: height, length, distance between support posts or ribs</p> <p>Date of manufacture:</p> <p>Date of installation:</p> <p>Physical condition during test (by visual inspection):</p> <p>Exposure class(es) according to EN 14398-1:</p> <p>Composition: see description and photographic presentation in B.2. Drawings and photographs clearly show how the product is built, include at least front view, side view, back view.</p>

(*)	<p>SAMPLE CONDITIONS OF THE TEST OBJECT:</p> <p>Dryness:</p> <p>Temperature:</p>
(*)	<p>METEOROLOGICAL CONDITIONS PREVAILING DURING THE TEST:</p> <p>Wind speed:</p> <p>Wind direction:</p> <p>Air temperature:</p>
(*)	<p>TEST ARRANGEMENT: see description and photographic presentation in B.2. Note that this presentation should include the exact positions of the microphones and the microphone stands. The sample e.g. showing the microphone positions opposite a ridge on a non-flat product.</p>
(*)	<p>EQUIPMENT USED FOR MEASUREMENT AND ANALYSIS:</p> <p>Sound source:</p> <p>Manufacturer:</p> <p>Type:</p> <p>Serial number:</p> <p>Microphone:</p> <p>Manufacturer:</p> <p>Type:</p> <p>Serial number:</p> <p>ADVISED:</p> <p>Manufacturer:</p> <p>Type:</p> <p>Serial number:</p>
(*)	<p>CORRECTION FACTORS FOR SOUND SOURCE DIRECTIVITY IN B.1, IF APPLICABLE, WERE USED.</p>
(*)	<p>CORRECTION FACTORS FOR CHANGE IN SOUND SOURCE DUE TO B.1, IF APPLICABLE, WERE USED.</p>
(*)	<p>FILTERING AND SAMPLING:</p> <p>Type and characteristics of the anti-aliasing filter:</p>

(*)	<p>SAMPLE SIZE:</p> <p>CURRENTS TEMPORARY WITHOUT STATEMENT FOR EACH MICROPHONE HEIGHT:</p> <p>Length for microphones 1-3:</p> <p>Length for microphones 4-6:</p> <p>Length for microphones 7-8:</p>
(*)	<p>TEST FREQUENCY RANGE:</p> <p>Low frequency limit:</p> <p>Smallest dimension of the test object:</p>
(*)	<p>TEST RESULTS: see tables and graphs in B.3</p>
(*)	<p>MEASUREMENT UNCERTAINTY:</p> <p>For each one-third octave frequency band and the single-number rating:</p> <p>Combine standard uncertainty:</p> <p>Expanded uncertainty:</p> <p>Coverage factor:</p> <p>Confidence level:</p>
(*)	<p>SINGLE-NUMBER RATING:</p> <p>The single-number rating for the sound reflection index amounts to:</p> <p>For qualification (minimum sample size 4 m x 4 m): <math>DL_{s,r} = \dots</math> dB</p> <p>For other purposes: <math>DL_{s,r}</math> (Lower freq. limit = 5 000 Hz) = <math>\dots</math> dB</p>
(*)	<p>SIGNATURE OF THE PERSON RESPONSIBLE FOR MEASUREMENTS:</p> <p>Name:</p> <p>Place, date:</p> <p>signature</p>

Figure 52 – Exemple de rapport de mesures des caractéristiques de réflexion acoustique suivant la norme NBN EN1793-5 (1)

**B.2 Test setup (example)**

The noise reducing device under test is a composite absorptive barrier constructed in perforated metal sheet, 1 mm thick, and mineral wool backed by a blind metal sheet, 1 mm thick. It is composed by two sections, each section comprising 4,0 m wide x 4,0 m high panels, supported in between steel H-section posts which are at 4,0 m centre. This is representative of the construction arrangement used alongside highways. The overall dimensions of the configuration are height = 4,0 m and width = 8,0 m. Figure B.1 shows the barrier viewed from the front (traffic side).

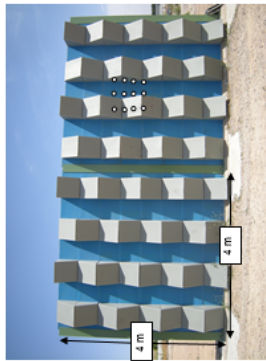


Figure B.1 – (Example) General view of test barrier (from front (road) side) – White circles mark measurement positions based on the post spacing of 4 m.

The source is at a height of 2,0 m above the ground. The prescribed measurement grid is applied in 12 different positions (the circles in Figure B.1) to allow the approximate positions of the loudspeaker and microphone array.

There are no sound reflecting nor sound diffracting parasitic objects acting in the sample area.

The test situation including the loudspeaker and microphone array is shown in Figure B.2.

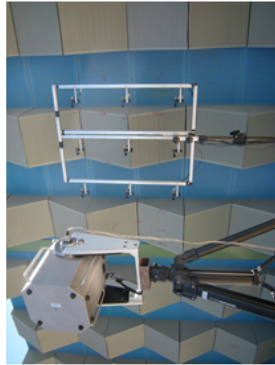


Figure B.2 – (Example) Test arrangement showing loudspeaker and microphone array when measuring.

**B.3 Test object and test situation (example)**

Figure B.3 shows a typical plan section through the barrier, including the dimensions of the different elements.

This posts are steel columns of the type 160x 100. The panels are held in place between the posts by means of metallic wedges at the rear.

Figure B.4 shows a typical cross-section through the barrier, including the dimensions of the different elements.

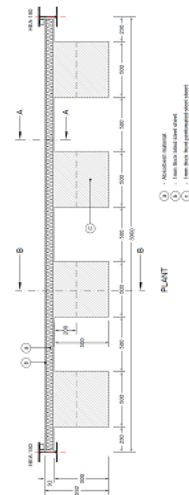


Figure B.3 – (Example) Plan view of the noise barrier (Dimensions in millimetres). g: mineral wool; b: 1 mm thick blind steel sheet; c: 1 mm thick front perforated steel sheet.

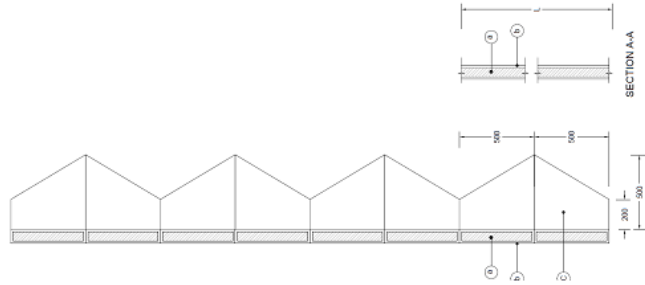


Figure B.4 – (Example) Cross-section through noise barrier (Dimensions in millimetres). g: mineral wool; b: 1 mm thick blind steel sheet; c: 1 mm thick front perforated steel sheet.

Figure 53 – Exemple de rapport de mesures des caractéristiques de réflexion acoustique suivant la norme NBN EN1793-5 (2)



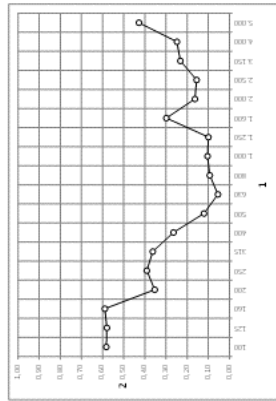
B.4 Test Results (example)  
B.4.1 Part 1 – Results in tabular form

Table B.1 – Results in tabular form

Third-octave band centre frequency (Hz)	Particular values of sound reflexion index $R_i$ for the 12 measurement grid positions and the mean												Average
	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{13}$	$R_{14}$	$R_{15}$	$R_{16}$	$R_{17}$	$R_{18}$	$R_{19}$	$R_{20}$	$R_{21}$	$R_{22}$	
100	0.59	0.62	0.57	0.55	0.55	0.59	0.57	0.57	0.51	0.61	0.62	0.62	0.59
125	0.60	0.62	0.58	0.54	0.57	0.58	0.58	0.58	0.51	0.60	0.59	0.61	0.58
160	0.63	0.65	0.60	0.55	0.57	0.59	0.60	0.60	0.53	0.60	0.57	0.60	0.59
200	0.38	0.42	0.31	0.37	0.37	0.35	0.37	0.39	0.31	0.38	0.31	0.32	0.35
250	0.43	0.47	0.35	0.39	0.39	0.36	0.42	0.43	0.35	0.38	0.34	0.36	0.39
315	0.43	0.45	0.34	0.37	0.37	0.34	0.37	0.37	0.33	0.33	0.33	0.36	0.36
400	0.34	0.33	0.26	0.28	0.30	0.27	0.22	0.24	0.22	0.21	0.25	0.23	0.26
500	0.15	0.15	0.12	0.13	0.15	0.15	0.07	0.08	0.08	0.11	0.12	0.12	0.12
630	0.05	0.04	0.04	0.07	0.05	0.06	0.06	0.04	0.04	0.09	0.05	0.06	0.05
800	0.07	0.07	0.06	0.13	0.08	0.07	0.17	0.11	0.09	0.11	0.09	0.07	0.09
1 000	0.11	0.10	0.09	0.13	0.11	0.08	0.17	0.16	0.10	0.08	0.07	0.04	0.10
1 250	0.11	0.13	0.10	0.07	0.11	0.08	0.10	0.13	0.09	0.10	0.09	0.07	0.10
1 600	0.39	0.53	0.16	0.37	0.26	0.21	0.30	0.23	0.18	0.30	0.35	0.29	0.30
2 000	0.19	0.28	0.10	0.20	0.15	0.12	0.16	0.15	0.09	0.13	0.17	0.22	0.16
2 500	0.15	0.23	0.21	0.14	0.13	0.17	0.15	0.15	0.16	0.12	0.15	0.10	0.16
3 150	0.31	0.33	0.27	0.26	0.23	0.19	0.18	0.25	0.18	0.16	0.23	0.21	0.23
4 000	0.39	0.27	0.22	0.23	0.26	0.21	0.28	0.22	0.18	0.28	0.21	0.24	0.26
5 000	0.55	0.43	0.26	0.52	0.53	0.53	0.40	0.43	0.23	0.46	0.36	0.45	0.43

single number rating of sound reflexion index,  $U_{R1} = 3$  dB.

B.4.2 Part 2 – Results in graphic form



Key:  
○ Mean  
△ 95% confidence interval  
— Sound reflexion index

Figure B.5 – Results in graphic form

B.5 Uncertainty (example)

The uncertainty of the declared values of sound reflexion index, in one-third octave band and for the single number rating, is estimated using the values for the standard deviation of reproducibility given in Table A.1.

A coverage factor of 1.96, corresponding to a confidence level of 95% for a Gaussian distribution, is assumed.

In order to have a conservative (worst case) estimate, the chosen value of the standard deviation of reproducibility are the maximal ones (last column of Table A.1).

The main step of the calculation are summarized in Table B.2.

It can be seen that the conservative estimate of the 95% confidence interval of the single-number rating is [60A, 9.27] dB.

Table B.2 – Estimation of the uncertainty of the declared value of  $R_i$

1/3 octave band, Hz	$R_i$	$s_{R_i}$ (High)	U (95%)
100	0.53	0.32	0.62
125	0.55	0.18	0.34
160	0.59	0.12	0.24
200	0.35	0.14	0.27
250	0.39	0.13	0.25
315	0.36	0.13	0.25
400	0.28	0.12	0.24
500	0.12	0.12	0.23
630	0.05	0.14	0.26
800	0.09	0.15	0.28
1 000	0.10	0.13	0.25
1 250	0.10	0.15	0.26
1 600	0.38	0.16	0.31
2 000	0.15	0.15	0.29
2 500	0.16	0.15	0.29
3 150	0.23	0.17	0.32
4 000	0.25	0.20	0.39
5 000	0.43	0.23	0.45
$U_{R1}$ , dB (before rounding)	7.68	0.81	1.59

Figure 54 – Exemple de rapport de mesures des caractéristiques de réflexion acoustique suivant la norme NBN EN1793-5 (3)

Annex D  
(informative)

Template of test report on airborne sound insulation of road traffic noise reducing devices

For product ~~XXXX~~ produced by the firm ~~XXXXX~~.

(3)	<b>REMARKS</b> The present test is based on the test method according to the European Standard EN 1793-6:2011
(4)	Name and address of testing organization: .....
(5)	Date of test: .....
(6)	Test situation: see description and photographic presentation in D.1
(7)	<b>TEST OBJECT</b> Manufacturer: ..... Type: ..... Dimensions: height, length, distance between support posts or ribs ..... Date of manufacture: ..... Date of installation: ..... Exposure class: according to EN 14239-1: ..... Physical condition during test (by visual inspection): ..... Composition: see description and photographic presentation in D.2. Drawings and photographs shall clearly show how the product is built, include at least front view, side view, back view, .....

(1)	<b>SAMPLE CONDITIONS OF THE TEST OBJECT</b> Dryness: ..... Temperature: ..... <b>METEOROLOGICAL CONDITIONS PREVAILING DURING THE TEST</b> Wind speed: ..... Wind direction: ..... Air temperature: .....
(2)	<b>EQUIPMENT USED FOR MEASUREMENT AND ANALYSIS</b> Sound source: Manufacturer: ..... Type: ..... Serial number: ..... Microphones: Manufacturers: ..... Type: ..... Serial numbers: ..... Analyzer: Manufacturer: ..... Type: ..... Serial number: .....
(3)	<b>FILTERING AND SAMPLING</b> Type and characteristics of the anti-aliasing filter: Sample rate: ..... <b>AUTOMATIC TEMPERATURE WINDOW</b> Length: ..... <b>TEST FREQUENCY RANGE</b>

(4)	<b>LOW FREQUENCY LIMIT:</b> Smallest dimension of the test object: Test results: see tables and graphs in D.3
(5)	<b>MEASUREMENT UNCERTAINTY</b> Combined standard uncertainty: Expanded uncertainty: Coverage factor: Confidence level: .....
(6)	<b>SINGLE-NUMBER RANGE</b> The single-number rating for the airborne sound insulation amounts to: D <sub>L,zc</sub> = ___ dB for an element Category: ___ D <sub>L,zp</sub> = ___ dB across a post Category: ___ D <sub>L,za</sub> = ___ dB global Category: ___
(7)	<b>SIGNATURE OF THE PERSON RESPONSIBLE FOR THE MEASUREMENTS</b> Name: ..... Place, date: ..... signature

Figure 55 – Exemple de mesures des caractéristiques d'isolation acoustique suivant la norme NBN EN1793-6 (1)

**D.1 Test setup (example)**

The barrier under test is a single-leaf, reflective timber barrier constructed in two sections, each section comprising 3,0 m wide x 2,0 m high panels, supported in between steel section posts which are at 3,0 m centre to centre. This is shown in Figure D.1. The barrier height is 2,0 m. The test setup configuration are height = 4,0 m and width = 9,0 m. Figure D.1 shows the barrier viewed from the front (traffic side).

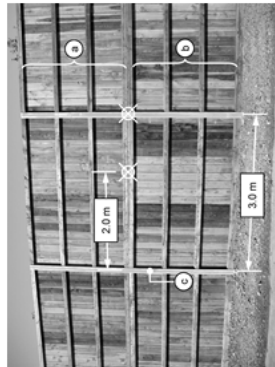


Figure D.1 – General view of test barrier (from front (traffic side)) – Crossed mark measurement positions based on the post spacing of 3 m. a: Upper panel (3 m wide x 2 m high); b: Lower panel (3 m wide x 2 m high); c: Section post

The source is at a height of 2,0 m above the ground. The prescribed measurement grid is applied midway between the posts. The 'X' marks in Figure D.1 show the approximate positions of the loudspeaker/earr microphone axis.

The barrier thickness at the height of measurement is 0,100 m midway between the posts and the post thickness at the height of measurement is 0,200 m.

There are no sound reflecting nor sound diffracting parasitic objects acting in the sample area.

The test situation including the loudspeaker and microphone array is shown in Figure D.2.



Figure D.2 – Test arrangement showing loudspeaker and microphone array when measuring across the panel

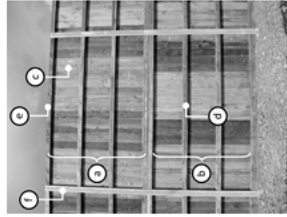
**D.2 Test object and test situation (example)**

Figure D.3 shows the basic composition of the single elements of this single-leaf reflective timber noise barrier. Each panel of the barrier is constructed from vertical timber fence boards held in position by horizontal rails on the rear. The expansion gaps in between the panels are covered on the front of the barrier by vertical cover strips. The panels are 3,0 m wide and 2,0 m high.

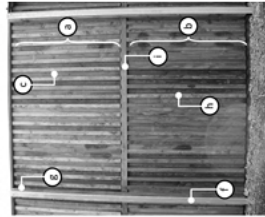
The barrier is constructed in two sections. On the front of the barrier, the joint between the upper and lower section is sealed by a wide horizontal cover strip.

The posts are steel section columns with a width of 0,100 m and a depth of 0,200 m. The panels are held in place between the posts by means of large timber wedges at the rear.

The measuring points were on the rear of the barrier on a vertical measurement grid of 3 x 3 points with equal horizontal and vertical distances of 0,60 m. This measurement grid was located midway between the posts and in the center of a post (the centre positions being approximately) at the height of the joint between the upper and lower sections).



(a) View of front of barrier



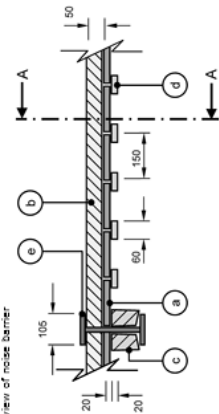
(b) View of rear of the barrier

Figure D.3 – Basic composition of the single elements of the noise barrier. a: Upper panel; b: Lower panel; c: Main panels; d: Horizontal rail; e: Upper wedge; f: Timber wedge; g: Timber wedge; h: Vertical cover strip; i: Horizontal cover strip

Figure D.4 shows a typical cross-section through the barrier, including the dimensions of the different elements.

Figure 56 – Exemple de rapport de mesures des caractéristiques d’isolation acoustique suivant la norme NBN EN1793-6 (2)

(a) Plan view of noise barrier



(b) Cross-section through A-A

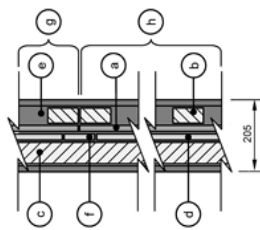


Figure D.4. Cross-section through noise barrier (Dimensions in millimetres). a: Fence board; b: Horizontal rail; c: Timber wedge; d: Cover strip; e: Section post; f: Horizontal cover strip at joint between upper and lower panels; g: Upper panel; h: Lower panel

D.3 Results (example)

D.3.1. Part 1 – Results for 'element' in tabular form

Third-octave band centre frequency (Hz)	Particular values of sound insulation index, $S_i$ for 'element'									Logarithmic Average	$S_i$
	Particular values										
	$S_{i1}$	$S_{i2}$	$S_{i3}$	$S_{i4}$	$S_{i5}$	$S_{i6}$	$S_{i7}$	$S_{i8}$	$S_{i9}$		
200	24,5	23,5	23,9	24,3	25,1	22,3	21,9	24,4	22,6	23,5	23,5
250	25,1	25,3	20,8	25,8	31,4	22,9	22,1	31,4	23,5	24,4	24,4
315	25,2	25,9	23,1	25,5	26,1	28,8	24,8	30,5	27,1	26,2	26,2
400	30,5	27,9	30,1	21,9	21,7	22,0	28,7	30,9	28,6	25,3	25,3
500	30,2	22,3	28,8	24,5	23,6	22,7	25,9	23,9	32,7	25,0	25,0
630	25,7	23,7	28,2	34,7	33,0	35,3	27,4	25,3	29,7	27,4	27,4
800	25,0	24,8	27,3	24,3	25,1	28,9	30,3	27,6	32,0	26,6	26,6
1000	32,3	30,5	31,7	21,4	25,8	27,6	29,5	27,7	35,9	27,3	27,3
1250	30,9	30,2	28,3	23,5	23,0	28,6	27,9	28,7	36,0	27,2	27,2
1600	25,8	26,3	29,1	24,3	27,1	28,0	26,0	23,4	28,5	26,1	26,1
2000	20,7	27,0	20,2	22,7	28,5	30,3	25,1	21,1	22,9	23,1	23,1
2500	22,0	25,1	26,2	28,0	26,3	27,5	20,5	19,2	23,0	23,3	23,3
3150	23,0	26,5	26,4	26,7	28,2	28,7	21,0	21,4	23,3	24,2	24,2
4000	23,1	22,5	21,3	25,4	33,3	29,8	22,3	21,4	21,6	23,4	23,4
5000	25,2	27,1	30,6	30,1	30,6	28,7	23,0	23,9	20,7	25,6	25,6

Single number rating of airborne sound insulation for the acoustic element,  $L_{Aeq}$  = 26 dB

Airborne sound insulation category = D2

D.3.2. Part 2 – Results for 'element' in graphic form

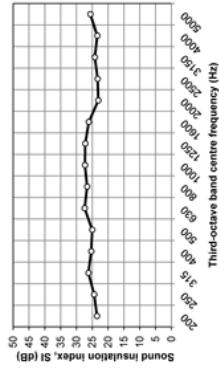


Figure 57 – Exemple de rapport de mesures des caractéristiques d'isolation acoustique suivant la norme NBN EN1793-6 (3)

#### **11.4. Le marché des écrans antibruit et des revêtements de parois (acoustiquement) absorbants**

Nous distinguerons les dispositifs sous les grandes catégories suivantes:

- les écrans (visuellement) transparents (il n'existe pas de *revêtement* de parois de ce type);
- les dispositifs (visuellement) opaques (écrans et / ou revêtements de parois): ces dispositifs pouvant être acoustiquement absorbants ou non;
- les dispositifs additionnels.

Avant de présenter différents produits correspondant à ces catégories, il est nécessaire d'introduire la norme produit NBN EN 14388, norme de référence permettant d'évaluer les caractéristiques et performances des dispositifs antibruit routiers, et ainsi de comparer objectivement ces dispositifs.

##### 11.4.1 La norme produit NBN EN 14388

Chaque dispositif antibruit, en fonction de sa conception, de ses matériaux ou de la combinaison de ses matériaux peut présenter différentes performances acoustiques et non acoustiques (sécurité, protection environnementale, pérennité, développement durable).

**Il est important de n'utiliser que des dispositifs certifiés suivant la norme produit NBN EN 14388 Dispositifs de réduction du bruit du trafic routier – Spécifications.**

Cette norme reprend les exigences et les valeurs des caractéristiques essentielles à leur bonne utilisation en fonction de l'usage auquel ils sont destinés. Pour rappel, le cadre schématique de la norme produit EN 14388 est présenté à la figure 51 en 11.3.3 ci-avant.

Pour chacune des catégories de produits (et des sous-catégories génériques présentées en 11.4.3 plus loin), il existera toujours d'excellents dispositifs et d'autres nettement moins bons.

Nous éviterons ci-après de généraliser les performances, bonnes ou mauvaises, par catégorie générique car c'est à l'utilisateur final des dispositifs antibruit de bien définir l'usage et les performances souhaitées. Une fois les performances et l'usage clairement établis, l'utilisateur final trouvera sur le marché de nombreux dispositifs antibruit certifiés: il pourra alors en comparer objectivement les performances en fonction de ses besoins spécifiques, tout ceci sur base des valeurs reprises au certificat attaché au label CE.

La figure 58 reprend en exemple la fiche produit dont chaque dispositif antibruit doit être accompagné, dès lors qu'il a été labellisé CE selon la norme EN 14388<sup>2</sup>.

Enfin, il est bon de noter que, depuis 2014, le Comité européen de Normalisation (CEN) prépare une nouvelle norme support qui a pour but d'intégrer le concept de développement durable (*sustainability* en anglais): cette norme définira les méthodes qui permettront de comparer les produits en fonction de leur capacité à soutenir le développement durable.

Ce sujet, très important pour notre avenir, va cependant demander encore quelques années de développement avant que la norme officielle correspondante puisse être publiée.

---

<sup>2</sup> On notera que l'exemple se réfère à la norme NBN EN 14388:2004, dernière version officielle à la date de la publication du présent Vademecum: cette norme est en cours d'évolution et ses révisions pourront être (légèrement) différentes de l'exemple ici présenté.


 <p>01234</p>	<p>Marquage de conformité CE, utilisant le symbole "CE" donné dans la Directive 93/68/EEC. Numéro d'identification du laboratoire d'essai</p>																
<p>90 AnyCo Ltd, PO Box 21, B-1050</p> <p>05</p>	<p>Nom ou marque identifiée et adresse enregistrée du fabricant les deux derniers chiffres de l'année au cours de laquelle le marquage est apposé</p>																
<p>EN 14388:2004</p> <p>Écran antibruit pour la réduction du bruit du trafic routier; Type AnyNoise, élément acoustique type F longueur 4 m, poteau type P, dessins Ag1320, 12 mai 2000 et 1322...1326, 17 mai 2000</p> <p>Poids propre d'un élément acoustique mouillé et mouillé réduit :</p> <table border="0"> <tr> <td>Poids mouillé</td> <td>0.70 kN</td> </tr> <tr> <td>Poids mouillé réduit</td> <td>0.92 kN</td> </tr> </table> <p>Résistance aux charges</p> <p>Charge verticale maximum qu'un élément peut supporter 150 kN/m</p> <p>Charge perpendiculaire (90°) qu'un élément acoustique peut supporter (due à la charge du vent et à la charge statique) :</p> <p style="text-align: right;">1,2 kN/m<sup>2</sup></p> <p>Charge perpendiculaire (90°) qu'un élément structural peut supporter (due à la charge du vent, à la charge statique et au poids propre) :</p> <table border="0"> <tr> <td>Hauteur d'écran 3 m</td> <td>5,2 kN/m</td> </tr> <tr> <td>Hauteur d'écran 4 m</td> <td>4.4 kN/m</td> </tr> </table> <p>Moment de flexion au niveau du sol qu'un élément structural peut supporter (dû au déblaiement de la neige) : 15 kNm</p> <p>Charge perpendiculaire (90°) qu'un élément acoustique peut supporter (due au déblaiement de la neige) : 14 kN / 2 m x 2 m</p> <p>Absorption acoustique: DL<sub>a</sub> 11 dB</p> <p>Isolation acoustique aux bruits aériens : DL<sub>R</sub> 27 dB</p> <p>Réflexion de la lumière : APD</p> <p>Danger des chutes de débris: class 3</p> <p>Durabilité prévue des caractéristiques acoustiques</p> <p>Modifications de l'indice de réflexion acoustique DL<sub>Ri</sub> après (5, 10, 15, and 20 ans) :</p> <table border="0"> <tr> <td>En classes d'exposition typiques</td> <td>-3, -5, -5, -6 dB</td> </tr> <tr> <td>En condition climatique 4K3</td> <td>-3, -5, -6, -8 dB</td> </tr> </table> <p>Modifications de l'indice d'isolation acoustique aux bruits aériens index DL<sub>Si</sub> après (5, 10, 15, et 20 ans):</p> <table border="0"> <tr> <td>En classes d'exposition typiques</td> <td>0, 0, 0, -2 dB</td> </tr> <tr> <td>En condition climatique 4K3</td> <td>-1, -2, -2, -3 dB</td> </tr> </table> <p>Durabilité prévue des caractéristiques non acoustiques</p> <p style="text-align: right;">Durée de vie : 30 ans</p> <p>Substances dangereuses Arsenic, Mercure &lt; 'x' ppm</p>	Poids mouillé	0.70 kN	Poids mouillé réduit	0.92 kN	Hauteur d'écran 3 m	5,2 kN/m	Hauteur d'écran 4 m	4.4 kN/m	En classes d'exposition typiques	-3, -5, -5, -6 dB	En condition climatique 4K3	-3, -5, -6, -8 dB	En classes d'exposition typiques	0, 0, 0, -2 dB	En condition climatique 4K3	-1, -2, -2, -3 dB	<p>No. de la Norme européenne</p> <p>Description du produit et information sur les caractéristiques réglementées</p>
Poids mouillé	0.70 kN																
Poids mouillé réduit	0.92 kN																
Hauteur d'écran 3 m	5,2 kN/m																
Hauteur d'écran 4 m	4.4 kN/m																
En classes d'exposition typiques	-3, -5, -5, -6 dB																
En condition climatique 4K3	-3, -5, -6, -8 dB																
En classes d'exposition typiques	0, 0, 0, -2 dB																
En condition climatique 4K3	-1, -2, -2, -3 dB																

Figure 58 – Exemple de fiche de marquage CE pour un dispositif antibruit (NBN EN 14388: 2004)

#### 11.4.2 Les écrans (visuellement) transparents

Utilisés le plus souvent pour des raisons esthétiques, les écrans (visuellement) transparents sont malheureusement acoustiquement réfléchissants. Il convient donc de les utiliser à bon escient, c'est-à-dire en limitant les inconvénients propres aux réflexions acoustiques. Cela est le plus souvent fait en évitant des écrans plats verticaux et en les remplaçant par des écrans plats inclinés vers la chaussée, par des écrans courbes inclinés vers la chaussée, ou encore des parties d'écrans acoustiquement absorbantes (et donc opaques) à proximité des véhicules.

Les matériaux utilisés dans les écrans (visuellement) transparents sont: le verre, le polycarbonate et le méthacrylate. La figure 59 présente quelques exemples d'écrans (visuellement) transparents: écrans utilisés en bordure de viaducs, écrans de forte hauteur avec partie supérieure transparente, ou encore faux tunnels.



Figure 59 – exemples d'écrans (visuellement) transparents

Cependant, il ne faut pas oublier que les écrans (visuellement) transparents ne sont justement (visuellement) transparents que dans une certaine limite, car la succession des poteaux supports en réduit fortement la transparence. Cette transparence n'est donc idéale qu'en regardant perpendiculairement aux écrans, ce qui n'est pas conseillé pour les conducteurs. On dit alors que cette **transparence (visuelle) est statique** (sans même parler de salissures, du vieillissement et autres possibles tags qui peuvent dégrader les performances de transparence).

Il existe cependant sur le marché des **écrans assurant une transparence visuelle dynamique**: ils ne présentent plus de transparence statique mais sont très utiles pour la sécurité. Ce type d'écran permet d'éviter l'effet attractif de certains écrans construits à proximité directe des voies, ou encore de distinguer les véhicules arrivant sur une bretelle montante, tout comme les véhicules montant sur la bretelle peuvent voir arriver les véhicules circulant sur la chaussée principale.

La figure 60 en présente un exemple, quoique l'exemple soit évidemment plus éloquent en vidéo qu'en image fixe.



Figure 60 – Exemple d'écran antibruit assurant une transparence visuelle dynamique

#### 11.4.3 Les dispositifs antibruit (visuellement) opaques

Les dispositifs (visuellement) opaques peuvent être acoustiquement absorbants ou réfléchissants.

Ces dispositifs peuvent être fabriqués à l'aide de différents matériaux, voire de *combinaisons* de différents matériaux. Sur le marché européen, on distingue les grandes catégories génériques suivantes:

1. les dispositifs métalliques;
2. les dispositifs en matériaux plastiques;
3. les dispositifs en bois;
4. les dispositifs en béton;
5. les écrans en laine minérale;
6. les gabions (casiers treillis en fils de fer, remplis de pierres);
7. les autres dispositifs particuliers (cristaux soniques, écrans de faible hauteur, panneaux photovoltaïques, panneaux solaires, panneaux absorbant certains polluants, etc.).

Pour ces dispositifs, **les fonctions d'isolation et d'absorption acoustiques** (si le produit est acoustiquement absorbant bien sûr) **sont généralement assurées par deux parties ou matériaux différents**. En effet, l'isolation acoustique requiert un dispositif / matériau lourd, permettant de dissiper l'énergie qui va passer au travers, alors que l'absorption acoustique requiert un matériau permettant de « capter » l'énergie incidente pour éviter de trop la réfléchir: dans ce cas, il faut que le matériau soit poreux, ce qui est peu compatible avec la fonction d'isolation acoustique.

Comme indiqué en 11.4.1 ci-dessus, **nous éviterons ci-après de comparer les avantages et inconvénients de ces différentes catégories de produits**: en effet, suivant le produit / matériau, certains (bons) producteurs ont développé leurs produits en améliorant ce qui aurait pu être au départ un défaut de base inhérent aux matériaux utilisés (exemples: galvanisation de l'acier ou qualité de l'aluminium contre la corrosion, performances des matériaux plastiques contre les UV, sensibilité / qualité des bois faces aux moisissures, résistance des bétons à la fissuration, résistance à l'effritement des matelas en laine minérale, etc.). On peut donc dire que **les bons produits seront toujours performants quels qu'en soient les matériaux**. On évitera ainsi de comparer, par exemple, un mauvais écran en bois avec un bon en béton pour conclure trop hâtivement que les écrans en béton sont meilleurs que les écrans en bois, ce qui est faux, tout comme l'inverse d'ailleurs. Il est juste heureux de constater le nombre important et la diversité des *bons* produits actuellement distribués sur le marché des dispositifs antibruit, quels qu'en soient leurs matériaux: cela donne à l'utilisateur un choix intéressant pour chaque application.

Il est important de rappeler de **n'utiliser que des dispositifs certifiés** suivant la norme produit **NBN EN 14388: «Dispositifs de réduction du bruit du trafic routier – Spécifications»**, et dont les **performances minimales seront adaptées à chaque application** de sorte à disposer de dispositifs **performants, sûrs, bien intégrés et faciles à maintenir, réparer et recycler pendant de longues années**.

Enfin, quel que soient les matériaux utilisés, **les dispositifs antibruit peuvent toujours être «végétalisés»<sup>3</sup>**, que ce soit par l'utilisation de bacs remplis de terre plantés de végétation adéquate (exemples figures 69 E, F, G, et H), ou encore par mise en place d'une végétation (généralement grimpante: exemples figures 66 C et 71 A, B, C et D) devant et/ou derrière les dispositifs. **Cette végétation est utilisée à des fins d'intégration paysagère, mais ne présente généralement pas de performances acoustiques**: ce seront les performances des matériaux substrats qu'il conviendra de considérer.

---

<sup>3</sup> Ne pas oublier que les écrans végétalisés nécessitent un arrosage et un entretien adéquat.



### 11.4.3.1 Les dispositifs métalliques

Les écrans et parements antibruit métalliques (acier galvanisé, aluminium) sont composés d'éléments acoustiques disposés horizontalement ou verticalement entre des profils supports.

Ils sont généralement disponibles en différentes couleurs, teintes et apparences, et sont aussi légers.

Les éléments acoustiquement absorbants sont des éléments dont la face absorbante est en fait une grille perforée derrière laquelle sont placés des matelas de laine minérale.

La figure 61 montre un exemple de produit métallique et la façon dont il peut être mis en œuvre.

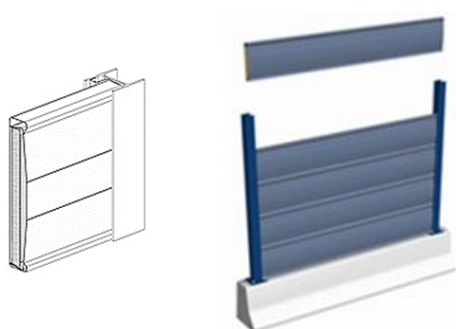


Figure 57 – Exemple d'écran antibruit métallique et de sa mise en œuvre

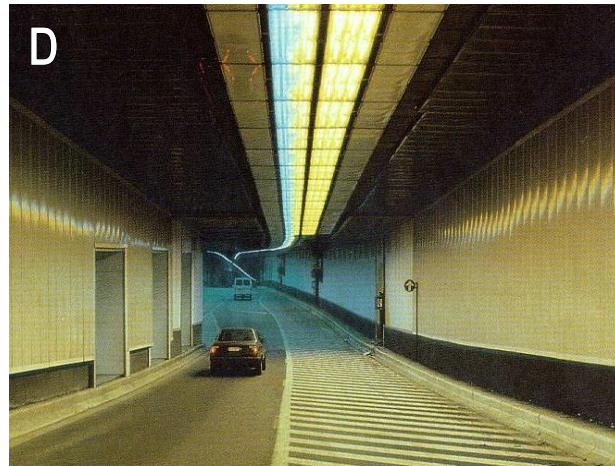


Figure 62 – Dispositifs métalliques:  
A = verticaux, B = inclinés, C = horizontaux, D = revêtements de parois

### 11.4.3.2 Les dispositifs en matériaux plastiques

Les écrans et parements antibruit en matériaux plastiques sont également composés d'éléments acoustiques disposés horizontalement ou verticalement entre des profils supports.

Ils sont généralement disponibles en certaines couleurs, teintes et apparences, et sont aussi légers.

Les éléments acoustiquement absorbants sont des éléments dont la face absorbante est en fait une grille perforée derrière laquelle sont placés des matelas de laine minérale.

La figure 63 montre un exemple de produit en matériaux plastiques<sup>4</sup> et la façon dont il peut être mis en œuvre.

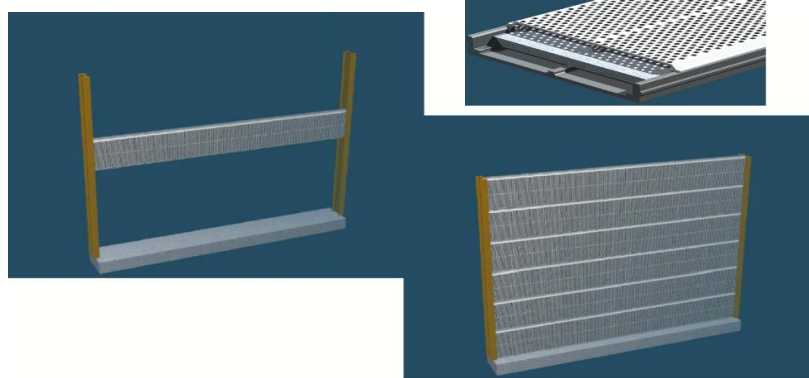


Figure 58 – Exemple d'écran antibruit en matériaux plastiques et de sa mise en œuvre

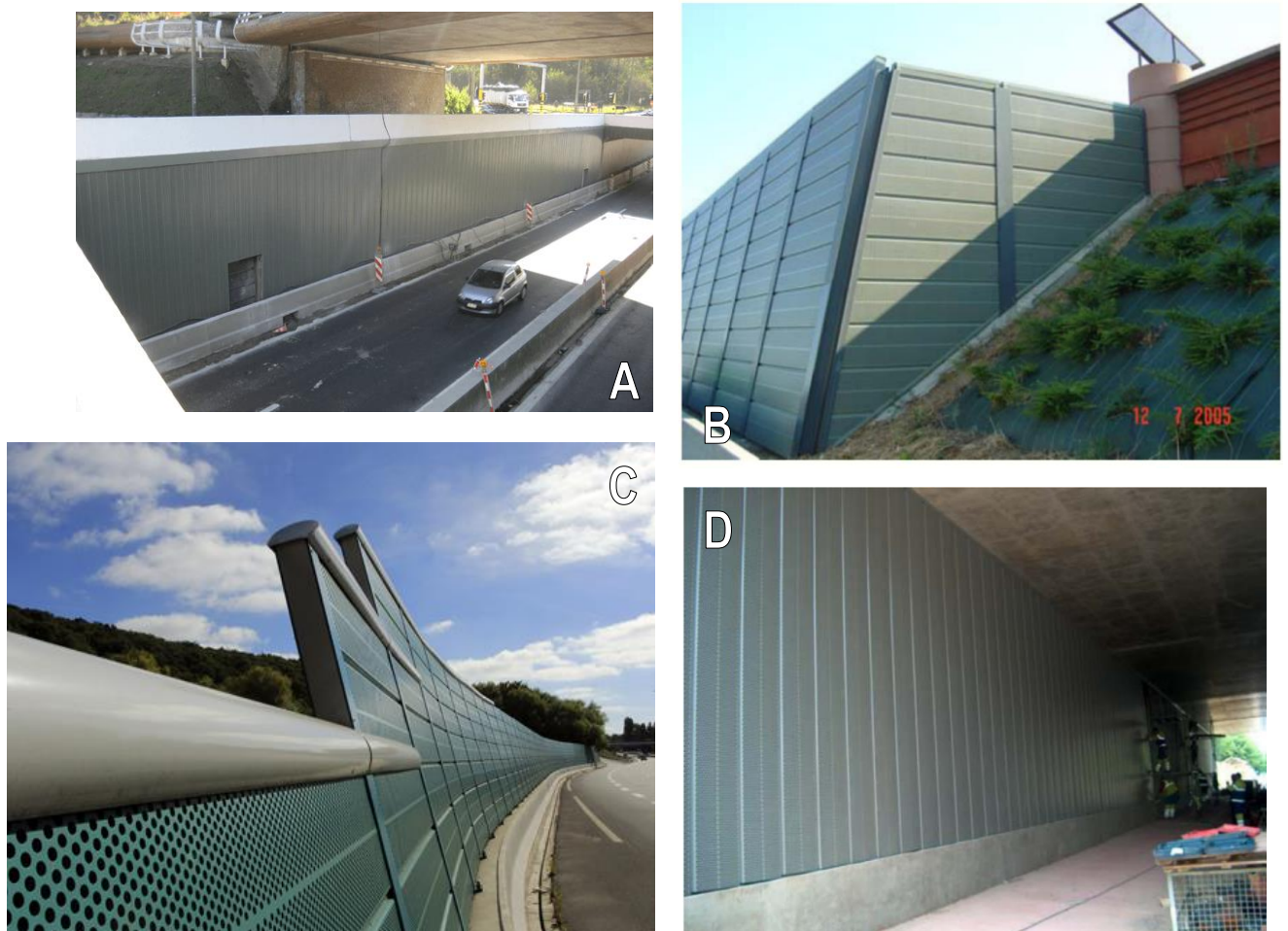


Figure 59 – Dispositifs plastiques:  
A et D = revêtements de parois verticaux, B et C = inclinés et horizontaux

<sup>4</sup> Certains écrans en plastique peuvent être réalisés à partir de matériaux recyclés

### 11.4.3.3 Les dispositifs en bois

Les écrans et parements antibruit en bois peuvent utiliser différentes essences de bois (résineux nécessitant des traitements «antimoississures» appropriés, ou bois exotiques naturellement résistants mais plus coûteux). Comme pour les autres matériaux, ils sont composés d'éléments acoustiques disposés horizontalement ou verticalement entre des profils supports.

Les éléments acoustiquement absorbants sont des éléments dont la face absorbante est constituée d'éléments en bois, intégrés ou appliqués, et destinés à protéger le matériau acoustiquement absorbant (généralement de la laine minérale).

La figure 65 montre des exemples de produits en bois et de la façon dont ils peuvent être mis en œuvre.



Figure 60 – Exemple d'écrans antibruit en bois et de leur mise en œuvre



Figure 61 – Dispositifs absorbants en bois:  
A, B et C = écrans, C avec plantations, D = revêtements de parois

#### 11.4.3.4 Les dispositifs en béton

Les écrans et parements antibruit en béton sont composés d'éléments acoustiques disposés horizontalement ou verticalement entre des profils supports ; **les éléments peuvent même parfois être autoportants** et donc ne pas nécessiter de poteaux porteurs.

**Le béton brut n'est pas un matériau acoustiquement absorbant tel quel**: lorsque les écrans en béton doivent assurer des qualités d'absorption acoustique, c'est généralement la partie arrière de l'écran qui est en béton et constitue le support à la partie avant, alors équipée de matériaux acoustiquement absorbants.

C'est comme si on venait rajouter un revêtement acoustiquement absorbant sur un écran en béton qui, sans ce revêtement, aurait été acoustiquement réfléchissant. Les revêtements acoustiquement absorbants peuvent bien sûr être de type métallique (voir figure 68), plastique ou en bois par exemple, mais généralement, les bétons poreux et le «béton bois» sont les plus utilisés.

La figure 69 (A à D) présente des d'écrans antibruit en béton avec revêtements acoustiquement absorbants: leur porosité n'est cependant pas équivalente à celles des laines minérales et un relief est alors donné à ces matériaux pour en «augmenter» la surface d'absorption et présenter malgré tout de bonnes performances d'absorption acoustique.

La figure 69 (E à G) présente quant à elle des écrans de type «jardinière», dont les performances d'absorption acoustique sont très limitées. En outre, ces écrans utilisent de la terre qui peut s'affaisser avec le temps: cette terre ne peut être utilisée telle quelle pour assurer l'isolation acoustique.

Les écrans en béton et leurs revêtements acoustiquement absorbants sont généralement disponibles en un nombre limité de couleurs, teintes et apparences, et ils sont lourds.

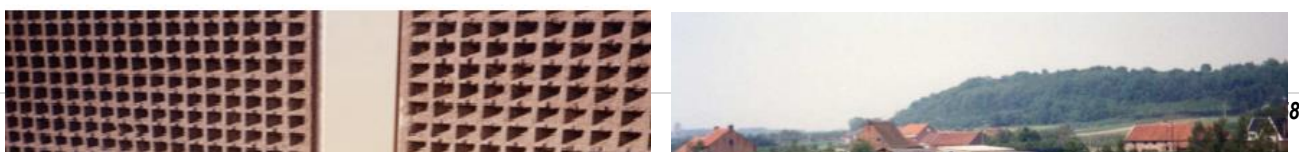
Les figures 67 et 68 montrent des exemples d'écrans autoportants en béton et de leur mise en œuvre.



Figure 62 – Exemple d'écran antibruit autoportant en béton et de sa mise en œuvre (revêtement acoustiquement absorbant en béton bois)



Figure 63 – Exemple d'écran antibruit autoportant en béton et de sa mise en œuvre (revêtement acoustiquement absorbant métallique)



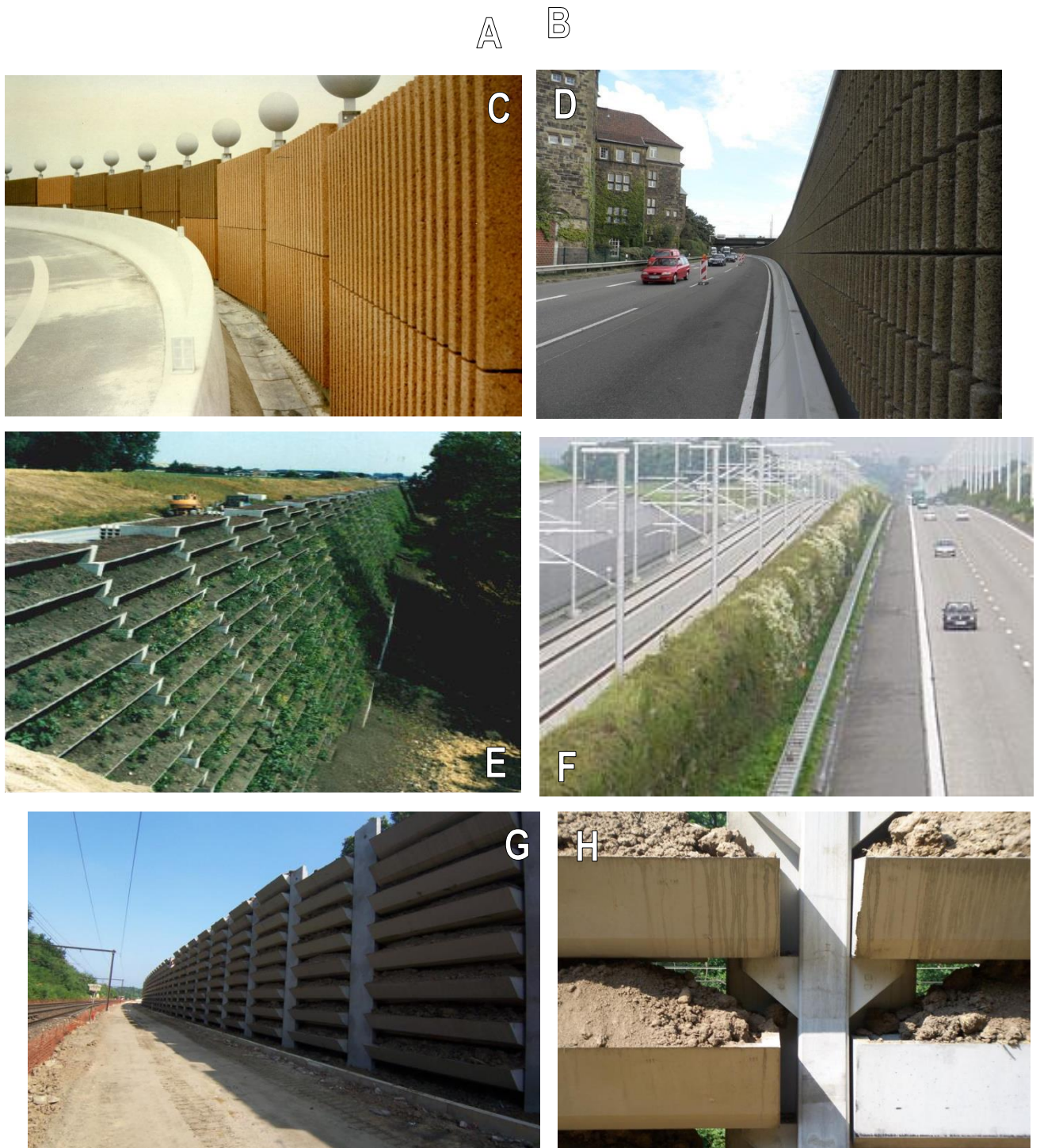


Figure 64 – Ecrans en béton: A et B = béton poreux, C et D = béton bois, E, F, G et H = «jardinières»

#### 11.4.3.5 Les écrans en laine minérale

Les écrans antibruit en laine minérale sont composés directement d'éléments acoustiques complets en laine de roche de forte densité. Ces panneaux sont en outre les seuls pour lesquels un même matériau (la laine de roche) assure en même temps l'isolation et l'absorption acoustique.

Cependant, une grille sera toujours utilisée afin de protéger et soutenir la laine de roche: il est alors possible de faire pousser de la végétation sur cette grille.

Les panneaux ainsi constitués sont disposés horizontalement entre des profils supports.

Les figures 70 et 71 montrent des exemples d'écrans en laine minérale.

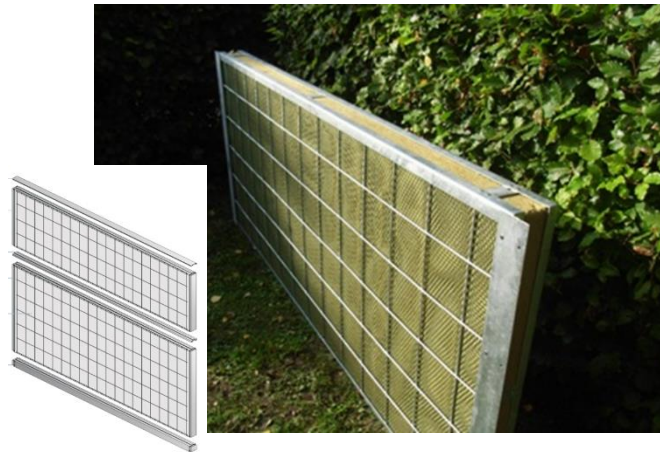


Figure 65 – Exemple d'écran antibruit en laine minérale

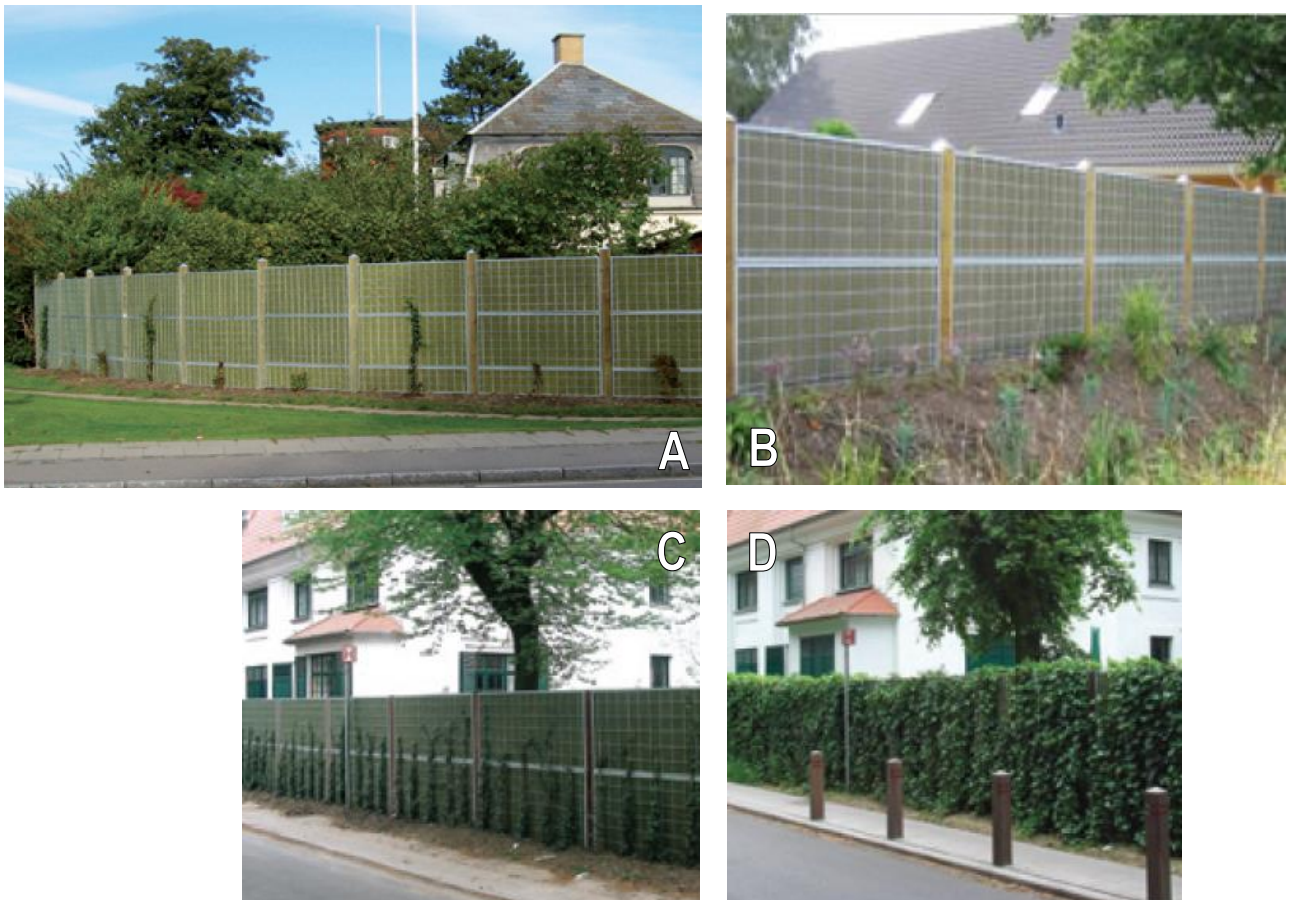


Figure 66 – Ecrans en laine minérale: A, B, C et D = vues d'ensemble, C et D = plantations grimpantes

### 11.4.3.6 Les gabions

Le terme «gabion» désigne une sorte de casier, le plus souvent fait de solides fils de fer tressés et contenant des pierres: des ensembles de gabions peuvent être juxtaposés et superposés pour décorer une façade nue, construire un mur de soutènement, voire ici des écrans antibruit (figure 72).



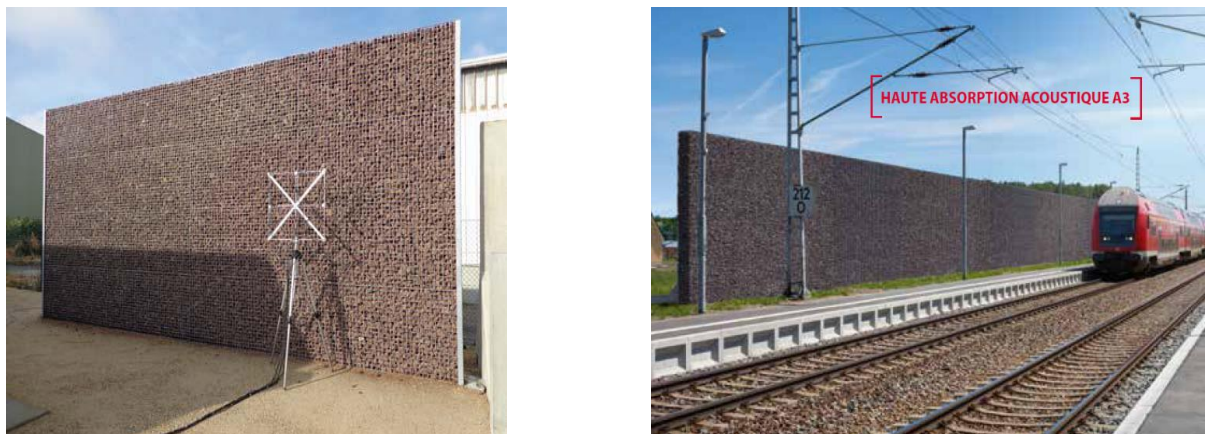
**Figure 67 – Gabions: casiers en treillis métallique remplis de pierres (gauche) et écran antibruit en gabions (droite)**

L'avantage des gabions réside dans leur simplicité: des casiers remplis de pierres permettent en effet une infinité de teintes et de textures qui sont fort appréciées (figure 73 à gauche: exemple de teintes et textures). Il existe même des gabions plus fins (figure 73 à droite) destinés à construire des murs comme on le fait avec des éléments antibruit pour monter des écrans (voir points 11.4.3.1 à 5).



**Figure 68 – Différentes teintes et textures (gauche) et gabions fins pour éléments de murs (droite)**

**La grande majorité des gabions ne sont pas performants pour en faire des écrans antibruit: ils ne sont ni absorbants, ni isolants** (ils ne sont pas étanches à l'air et, même s'ils l'étaient, la juxtaposition et superposition des gabions ne pourrait assurer la continuité de cette étanchéité). Cependant, récemment, un fabricant de gabions a conçu un modèle d'écran antibruit «de type gabion» permettant d'assurer de bonnes performances à l'absorption et à l'isolation acoustique (figure 74).



**Figure 69 – Exemple d'écrans en gabions performants (absorption et isolation acoustique)**

(source: vbion.com)



### 11.4.3.7 Les autres dispositifs particuliers

#### **Cristaux soniques**

Les écrans construits sur base du principe des cristaux soniques, très intéressants d'un point de vue purement scientifique, restent actuellement dans le domaine de la recherche.

Les premières applications pratiques sont loin d'en avoir démontré de réelles performances sur le terrain, c'est pourquoi les cristaux soniques sont présentés ici à titre d'information.

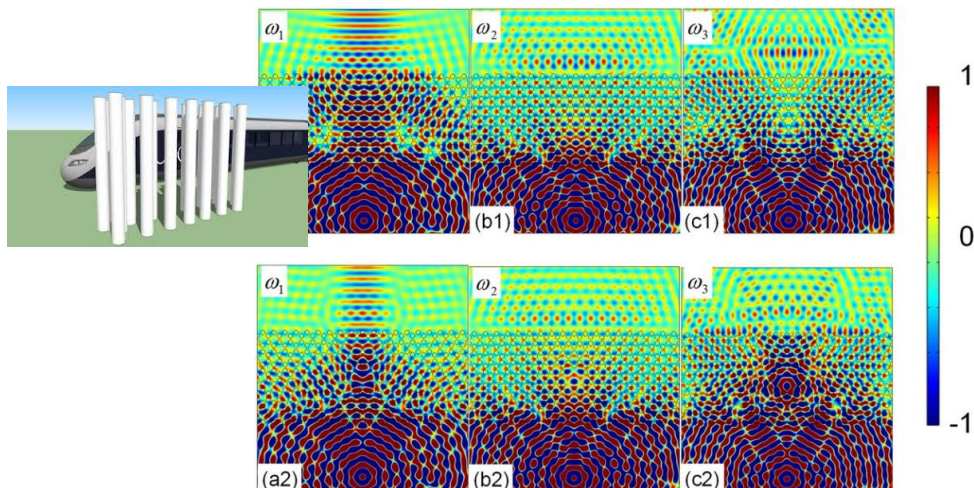


**Figure 70 – cristaux soniques: sculpture monumentale d'Eusebio Sempere (Madrid)**

«Les cristaux soniques sont des matériaux synthétiques constitués d'un arrangement périodique de diffuseurs solides dans un milieu fluide».

En 1995, le sculpteur Eusebio Sempere a réalisé à Madrid une sculpture monumentale (figure 75) comprenant une série de tubes en acier inoxydable placés sur un disque orientable: il a ainsi démontré un effet important sur la propagation des ondes sonores (atténuations et amplifications suivant l'orientation de la sculpture, la fréquence et la position respective de la source de bruit et du récepteur).

Les effets de cette sculpture sont logiquement dus à la façon dont elle agit, et diffracte et rayonne les ondes qui s'y propagent avec de nombreuses interférences pour un résultat très complexe (figure 76).



**Figure 71 – Effet d'un cristal sonique sur la propagation d'ondes à différentes fréquences**

### **Panneaux photovoltaïques**

Certains fabricants européens présentent maintenant des écrans antibruit transparents incluant directement des cellules photovoltaïques (voir la figure 77).



**Figure 72 – Exemple d'écran avec éléments photovoltaïques**

### **Panneaux solaires**

Pour information, un projet européen «NOISUN» a développé un concept intéressant d'écran permettant de chauffer de l'eau avec des panneaux solaires. La figure 78 en présente le prototype à Lerum (Suède).



**Figure 73 – Projet NOISUN: écrans antibruit à panneaux solaires**

## Bords de chaussée diffractants

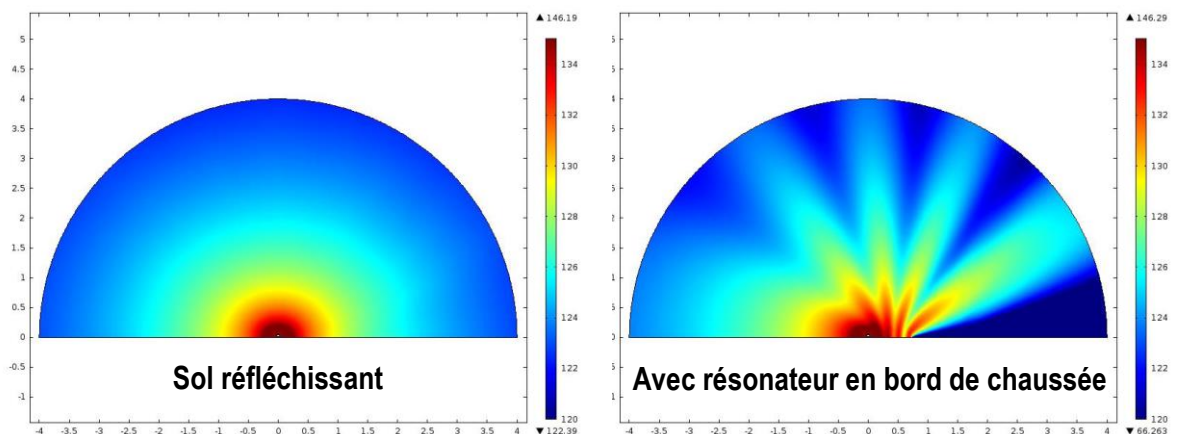


**Figure 74 – Whisstone: bord de chaussée diffractant, site expérimental de Soesterberg (Pays-Bas)  
(source: [www.mplusp.eu](http://www.mplusp.eu))**

Les bords de chaussée diffractants ne sont pas à proprement parler des écrans antibruit mais, comme leur but est de réduire la propagation du bruit routier, ils peuvent toujours être considérés comme des dispositifs antibruit.

La figure 79 en présente une réalisation le long d'une route aux Pays-Bas: le principe théorique est d'utiliser des résonateurs en bord de chaussée (un peu comme quand on souffle dans une bouteille), ceci afin que les ondes qui en sortent viennent interagir avec les autres ondes et créer une zone d'ombre. La figure 80 présente la propagation théorique d'une onde sphérique (similaire au bruit rayonné par une voiture) avec sol réfléchissant et un résonateur spécifique en bord de chaussée.

En fait, comme le bruit routier est composé d'un ensemble de différentes fréquences, un ensemble de plusieurs résonateurs est nécessaire, raison de la forme particulière des dispositifs.



**Figure 75 – propagation théorique d'une onde hémisphérique sans / avec résonateur  
(Université de Twente, 4Silence)**

Différents tests en grandeur réelle ont été récemment effectués aux Pays-Bas et montrent des résultats encourageants quoique limités à 4 dB(A) avec des dispositifs de double largeur ( $\pm 1,6\text{m}$ ) ; cependant, les interférences peuvent également augmenter le bruit dans certaines directions: ces dispositifs, assez prometteurs, sont donc à considérer pour l'instant comme des prototypes à améliorer.