



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider-Biskra Faculté des Sciences et de la technologie Département : Architecture

Année universitaire : 2019—2020

1^{ère} année master en Architecture

Matière : Equipement 2 Acoustique du bâtiment

Enseignant : Dr MEZERDI Toufik

Cour N°07: RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION:
ÉCRANS ANTIBRUIT 2



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:

1 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;

2 la forme des objets:

- les véhicules (voitures, camions, etc.);
- les écrans (plats verticaux, plats inclinés, non plats, volumiques, dispositifs additionnels, etc.);

3 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



1 Les dimensions

1/1 Hauteur

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.

1/2 Longueur

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.



RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION: ÉCRANS ANTIBRUIT



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:

- a) **écran infiniment long: les courbes d'isoniveaux de bruit sont parallèles à l'autoroute;**
- b) **écran infiniment long avec un «trou» de 50 m: on distingue nettement que les bruits se relèvent au droit du trou;**
- c) **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;**
- d) **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.**



RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION: ÉCRANS ANTIBRUIT

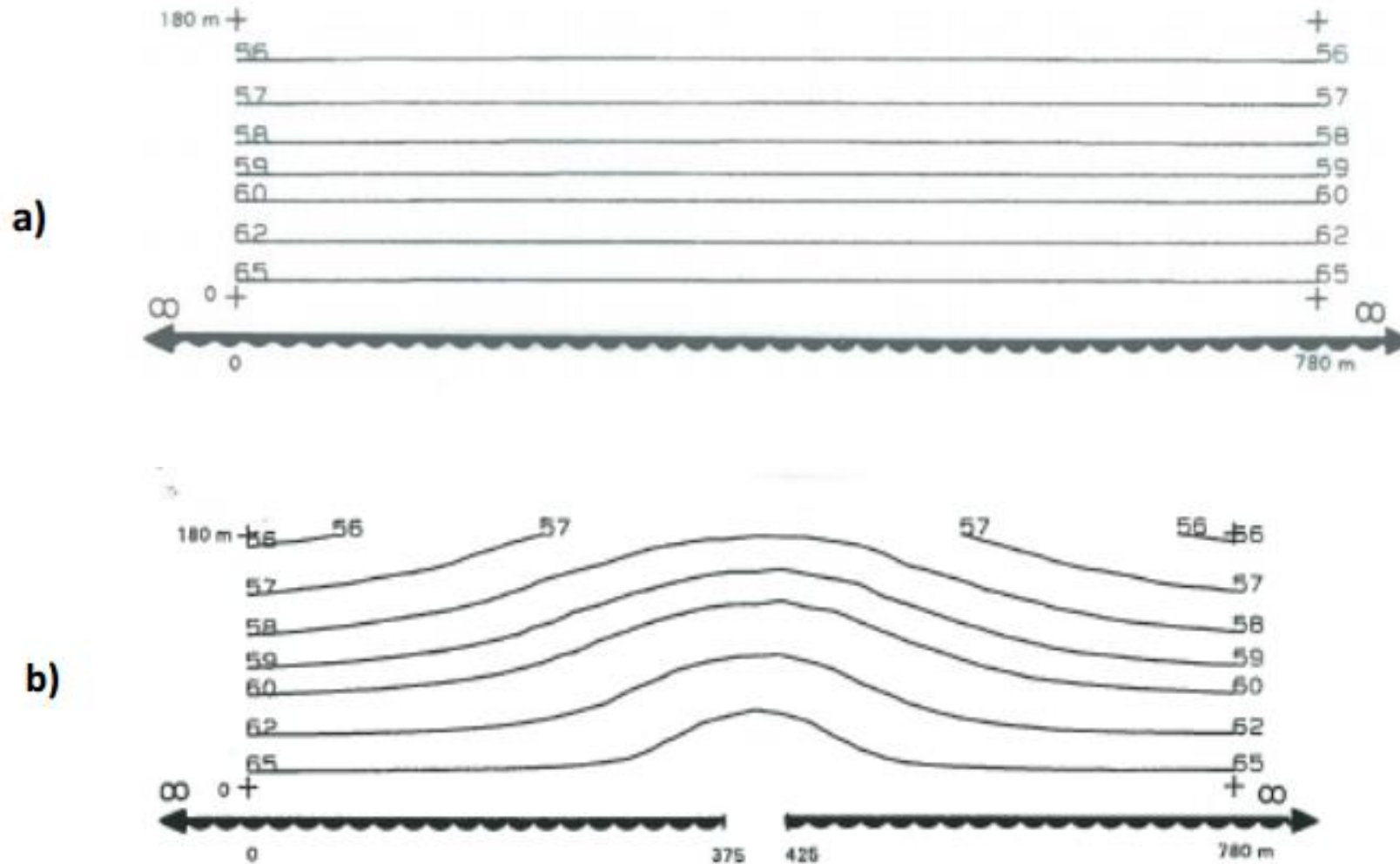


Figure 33 – Cartes de bruit explicitant différents effets induits par la longueur des écrans



RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION: ÉCRANS ANTIBRUIT

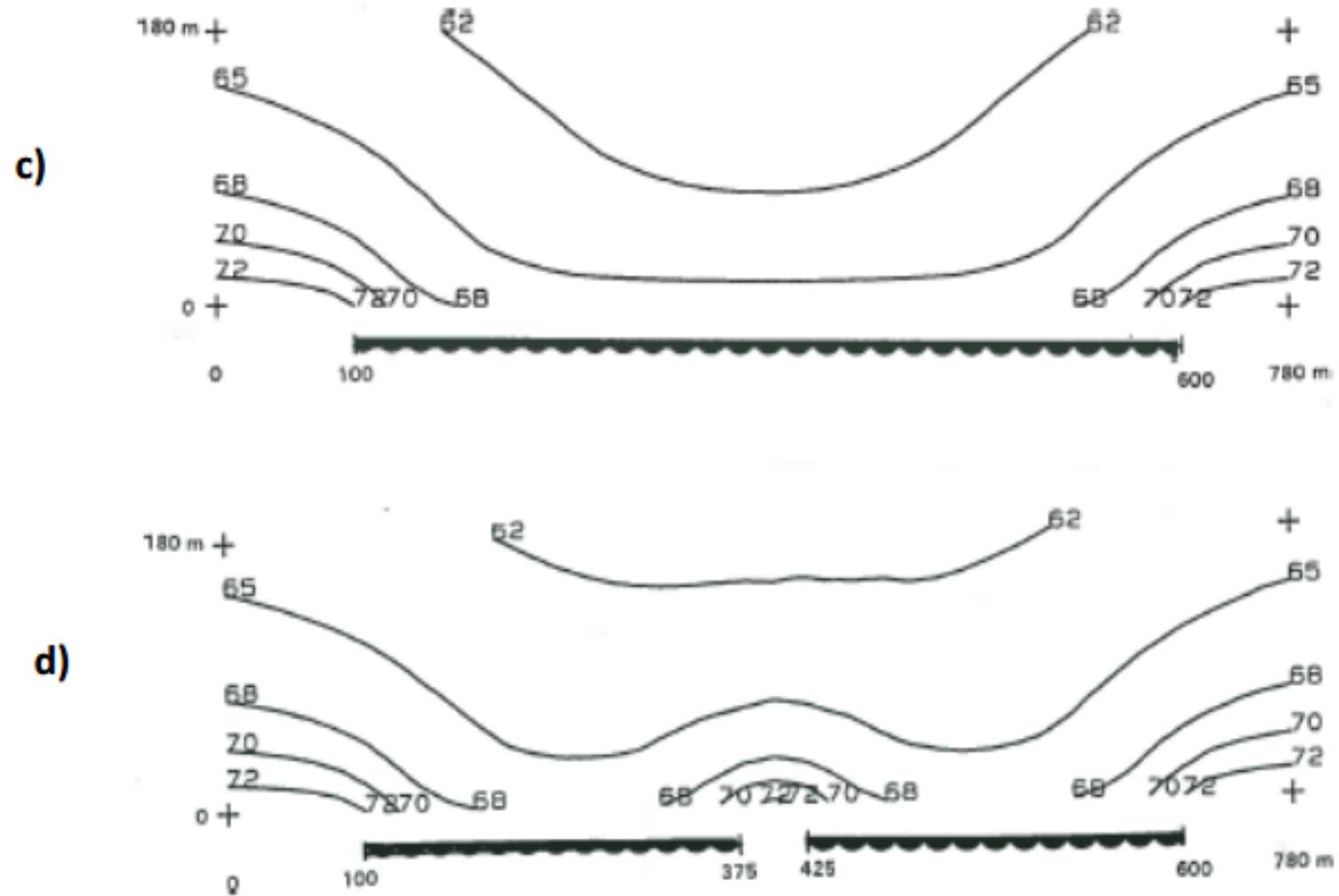


Figure 33 – Cartes de bruit explicitant différents effets induits par la longueur des écrans



RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION: ÉCRANS ANTIBRUIT



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.

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...

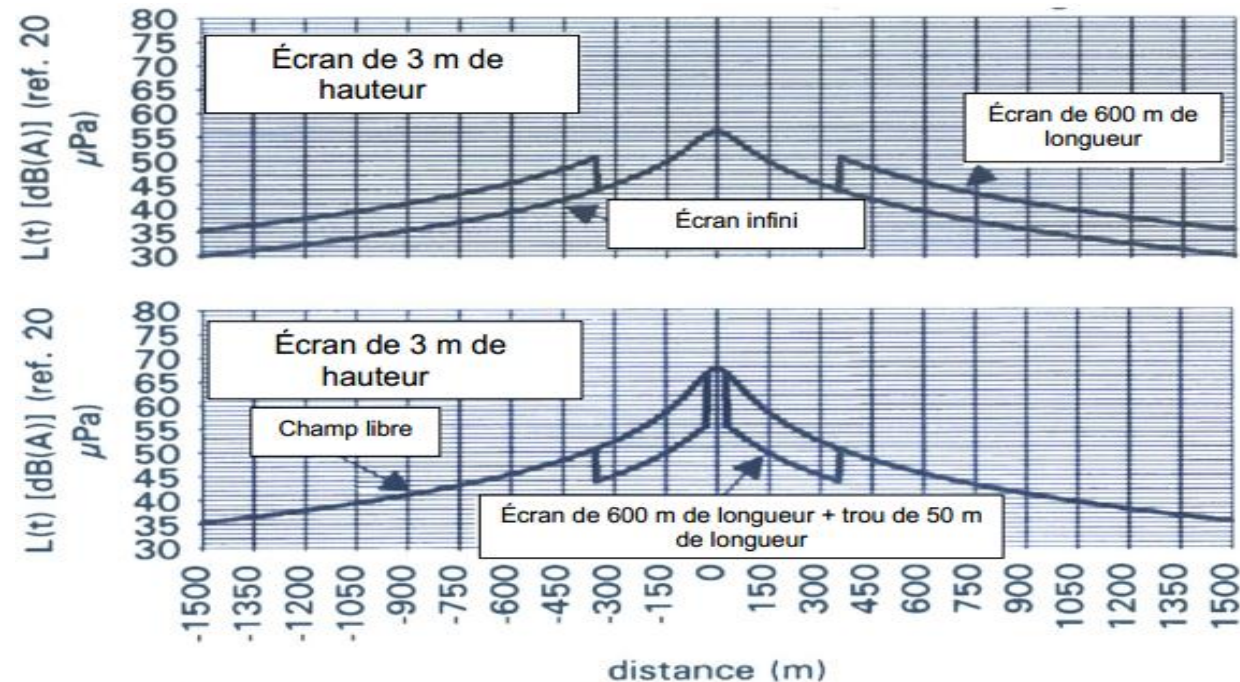


Figure 34 – Evolution temporelle du niveau de bruit au passage d'un véhicule devant un écran



1.3 Profil et infrastructure

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).



RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION: ÉCRANS ANTIBRUIT



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



RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION: ÉCRANS ANTIBRUIT



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.



RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION: ÉCRANS ANTIBRUIT



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)



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.

1.3.1 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



RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION: ÉCRANS ANTIBRUIT



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.



1.3.2 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.



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).

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.



RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION: ÉCRANS ANTIBRUIT



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.

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).



RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION: ÉCRANS ANTIBRUIT

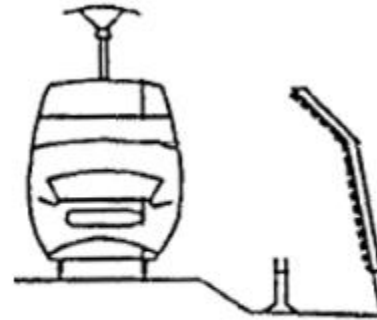


Figure 45 – Véhicule à carénage / carrosserie particulière face à un écran de forme optimisée

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).



RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION: ÉCRANS ANTIBRUIT



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)



RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION: ÉCRANS ANTIBRUIT



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



RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION: ÉCRANS ANTIBRUIT



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



RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION: ÉCRANS ANTIBRUIT

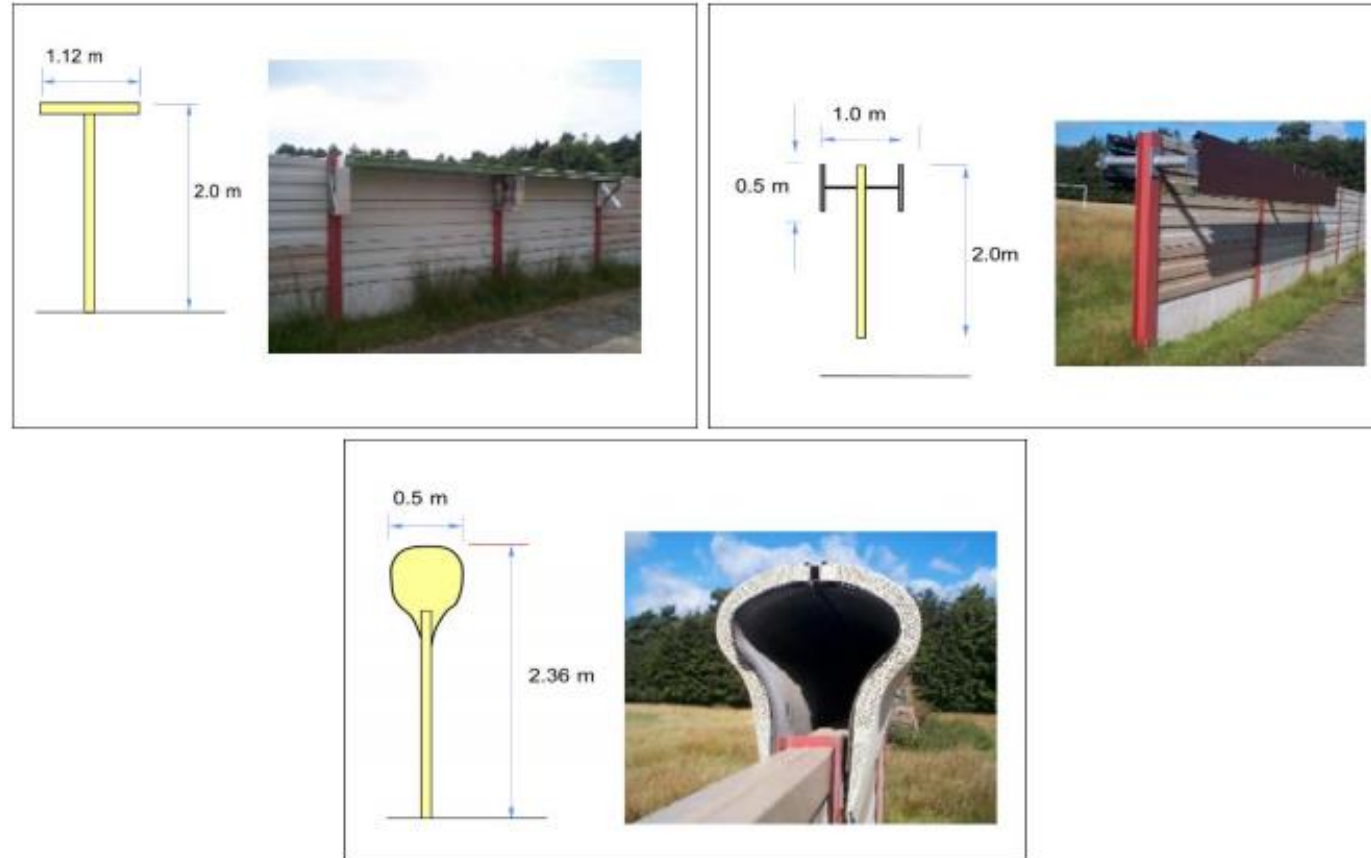
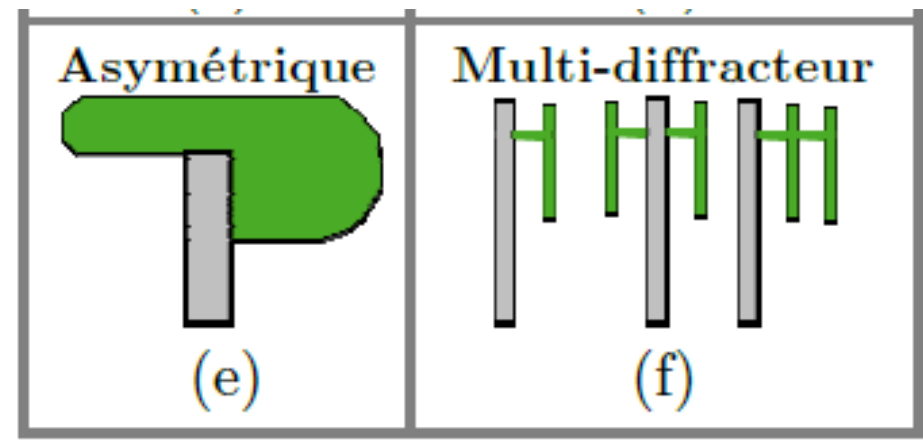
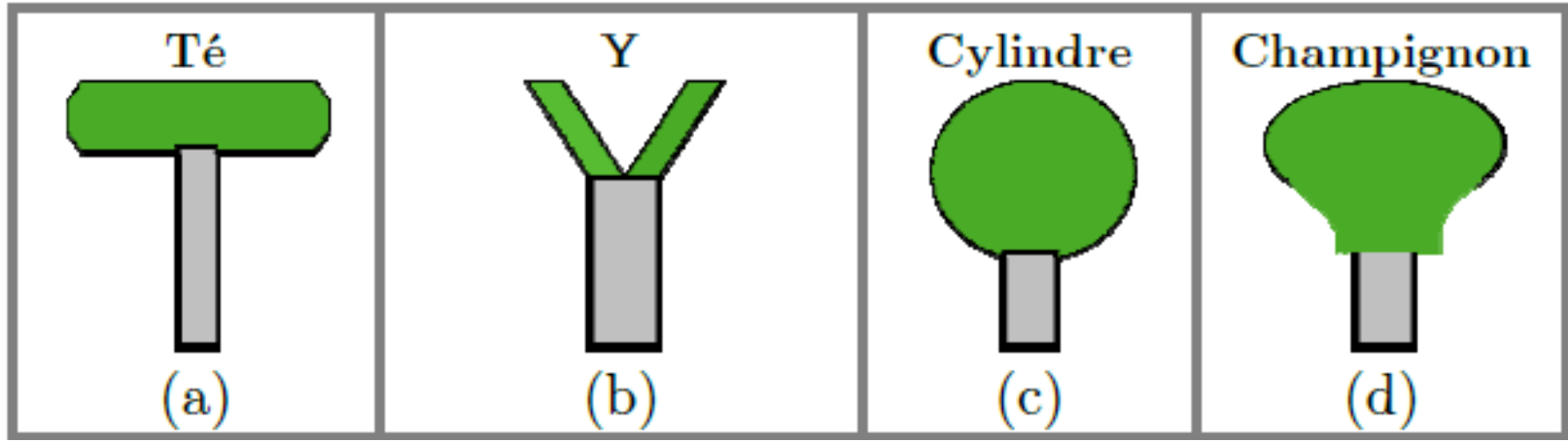


Figure 48 – Exemples de dispositifs additionnels à placer au sommet d'écrans



RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION:
ÉCRANS ANTIBRUIT





. 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 absorbants: l'absorption acoustique;
- pour les dispositifs additionnels: la performance à la diffraction acoustique.



RÉDUIRE LE BRUIT ROUTIER PENDANT SA PROPAGATION: ÉCRANS ANTIBRUIT



Anfosso-Ledée, F., Garai, M., & Clairbois, J. P. ADRIENNE: une méthode européenne pour la qualification sur site des écrans antibruit.

FODIMAN, P., & de la Stratégie, S. D. (2004). Le bruit des infrastructures de transports ferroviaires: nouvelles données et perspectives.

BELHADJ, S., & ZITOUNI, A. (2018). *L'évaluation de performance acoustique des parois* (Doctoral dissertation, université blida1 Institut d'architecture et d'urbanisme).