
Les écrans acoustiques

Guide de conception et de réalisation

Certu

9, rue Juliette Récamier 69456 Lyon - France

Collection Références

Cette collection comporte les guides techniques, les ouvrages méthodologiques et les autres ouvrages qui, sur un champ donné, présentent de manière pédagogique ce que le professionnel doit savoir. Le Certu a suivi une démarche de validation du contenu et atteste que celui-ci reflète l'état de l'art. Il recommande au professionnel de ne pas s'écarter des solutions préconisées dans le document sans avoir pris l'avis d'experts reconnus.

Le Certu publie également les collections : débats, dossiers, rapports d'étude.
Catalogue des publications disponible sur <http://www.certu.fr>

Remerciements

Le groupe de travail chargé de la rédaction de ce guide méthodologique a été piloté à ses débuts par Vincent Steimer puis par Jérôme Saurat, chargés d'études au Certu.

Les personnes suivantes sont tout particulièrement remerciées pour leurs contributions à l'écriture des différents chapitres :

- Patrick Demizieux (LRPC de Strasbourg),
- Bernard Miege (Cete de Lyon),
- Richard Durang (LREP),
- Jérôme Defrance (CSTB),
- Francis Besnard, Jessica Brouard, Daniel De-Matteis (Setra),
- Pascal Belingard (SNCF),
- Georges Innocenti (Escota).

Sommaire

	■ Introduction	6
PREMIER CHAPITRE		
	■ Les différents types de protections à la source	8
DEUXIÈME CHAPITRE		
	■ La théorie des écrans et leur dimensionnement	16
TROISIÈME CHAPITRE		
	■ Efficacité acoustique des dispositifs	24
QUATRIÈME CHAPITRE		
	■ Composants, structure et conception des écrans acoustiques	38
CINQUIÈME CHAPITRE		
	■ Les normes spécifiques aux écrans acoustiques	64
SIXIÈME CHAPITRE		
	■ Recommandations pour la rédaction d'un CCTP d'écran acoustique	76
SEPTIÈME CHAPITRE		
	■ Pathologies et dégradations des écrans acoustiques	86
HUITIÈME CHAPITRE		
	■ Esthétique, Architecture et Paysage	98
NEUVIÈME CHAPITRE		
	■ Spécificités des écrans acoustiques ferroviaires	112

■ Conclusion	126
■ Annexes	128
■ Lexique des abréviations	155
■ Éléments bibliographiques	157
■ Avertissement : crédits photographiques	159

Introduction

Le décret 95-22 du 9 janvier 1995 et les arrêtés du 5 mai 1995 pour la route, et du 8 novembre 1999 pour le rail, ont instauré des seuils de niveaux sonores à ne pas dépasser pour les infrastructures de transports terrestres. Sont visées les nouvelles infrastructures créées ou les transformations significatives d'infrastructures existantes.

Les modalités d'application de ces textes sur le réseau national sont précisées par la circulaire du 12 décembre 1997 pour le mode routier et du 28 février 2002 pour le mode ferroviaire.

Différentes actions peuvent être envisagées selon le niveau d'avancement du projet pour limiter les niveaux de bruit générés par l'infrastructure au niveau des zones bâties :

- actions sur les caractéristiques géométriques de l'infrastructure (tracé, profil en long, profil en travers...);
- actions sur les conditions de circulation (allure, vitesse...);
- actions sur l'organisation des déplacements;
- actions sur les constituants de l'infrastructure (revêtement, types de rails, types de traverses...);
- actions sur le matériel roulant (freins, pneus, roues, aérodynamisme...);
- création de protections à la source (écran, butte, semi-couverture ou couverture...);
- mise en œuvre d'isolations acoustiques des façades.

Depuis les textes réglementaires de 1995, la prise en compte du bruit dans le choix des caractéristiques géométriques d'une infrastructure, et ce dès le commencement des études, est devenue impérative.

La mise en place de protections « à la source » consiste à diminuer les nuisances sonores au plus près de l'endroit où elles sont générées, soit à leur source, en agissant sur la propagation du bruit.

Cette action sur la propagation peut être obtenue soit en interposant un obstacle entre les sources de

bruit constituées par les véhicules et les habitations riveraines de l'infrastructure (cas des dispositifs acoustiques de type écrans, buttes de terre et couvertures partielles ou totales); soit en limitant les réflexions sonores entre différentes parois à l'aide de parements absorbants.

Afin d'assurer le respect des objectifs réglementaires, les nuisances sonores générées par de nouvelles infrastructures de transports ou par des infrastructures modifiées d'une manière significative doivent être traitées prioritairement par une action à la source. Cependant, pour des raisons économiques ou d'insertion dans l'environnement, des protections de type « isolation acoustique des façades » sont souvent mises en place.

L'impératif de respect des objectifs réglementaires est précisé dans différents textes, notamment :

• **dans le décret 95-22 du 9 janvier 1995, art 5 :**
« Le respect des niveaux sonores maximaux autorisés est obtenu par un traitement direct de l'infrastructure ou de ses abords immédiats ; toutefois si cette action à la source ne permet pas d'atteindre les objectifs de la réglementation dans des conditions satisfaisantes d'insertion dans l'environnement ou à des coûts de travaux raisonnables, tout ou partie des obligations est assuré par un traitement sur le bâti qui tient compte de l'usage effectif des pièces exposées au bruit. »

• **dans la circulaire appliquée aux infrastructures routières du 12 décembre 1997 :**

« Comme spécifié par le décret 95-22, lorsqu'il y a nécessité de concevoir des dispositifs de protection acoustique, les niveaux réglementaires seront obtenus en priorité par un traitement de l'infrastructure ou de ses abords. »

« Si la réalisation d'ouvrages de protection se révèle nécessaire malgré les dispositions prises sur la conception des projets, il convient de protéger les bâtiments riverains, en priorité, par des protections du type écran acoustique (murs verticaux, murs inclinés, buttes de terre, etc.). »

• **dans la circulaire appliquée aux infrastructures ferroviaires du 28 février 2002 :**

« L'application des dispositions réglementaires impose au maître d'ouvrage de privilégier, dès la conception du projet, les modes de traitement à la source, de sorte que la contribution sonore à terme de l'infrastructure ne dépasse pas les niveaux sonores maximaux admissibles. »

Ces mêmes principes ont été retenus par la **circulaire du 12 juin 2001**, modifiée par celle du **25 mai 2004**, cadrant la politique de résorption des points noirs du bruit des réseaux routiers et ferroviaires nationaux, décidée par le Gouvernement et annoncée par communication en Conseil des ministres du 10 novembre 1999 :

« Les opérations de résorption proposées devront en priorité permettre de réduire l'exposition sonore en façade des points noirs du bruit, par la mise en œuvre d'actions durables à la source (traitement direct de l'infrastructure ou de ses abords immédiats, notamment à l'aide d'écrans et de parements acoustiques, de merlons, complétées si nécessaire par des actions visant à atténuer le bruit de roulement). »

La modification de la circulaire a apporté la précision suivante :

« Les plans doivent privilégier la réduction du bruit à la source dans des conditions satisfaisantes d'insertion dans l'environnement et à des coûts de travaux raisonnables. »

« Dans certains cas, le renforcement de l'isolement acoustique des façades des locaux à protéger viendra également compléter les actions de réduction du bruit à la source, ou, en dernier recours, constituera l'unique solution. »

L'analyse de ce contexte réglementaire confirme que la mise en place de protections acoustiques à la source constitue une solution qui doit être envisagée dans bon nombre de situations où les objectifs acoustiques réglementaires sont dépassés.

L'objectif de ce guide est d'apporter une assistance technique aux maîtres d'ouvrage publics ou privés, concepteurs et exploitants d'écrans acoustiques.

Le début de l'ouvrage rappelle un certain nombre des bases techniques relatives à ces protections dites « à la source » : quels dispositifs mettre en

place, comment fonctionnent-ils, quelle efficacité peut-on en attendre ?

Le guide présente ensuite la structure et les différents composants des écrans acoustiques, liste le référentiel normatif applicable et fournit des recommandations pour la rédaction des pièces de marché, dont les exigences techniques minimales acoustiques que le maître d'ouvrage est en droit d'attendre d'un tel ouvrage.

Enfin, le guide fait le point sur la durabilité des écrans acoustiques à l'aide d'une analyse des pathologies le plus souvent rencontrées et traite de leurs aspects esthétiques et architecturaux.

Un chapitre est également consacré aux écrans acoustiques ferroviaires.

P R E M I E R C H A P I T R E

Les différents types de protections à la source

Le choix du type de protection à la source est conditionné par les contraintes imposées par le projet. Ce chapitre présente les avantages, les inconvénients et les critères de choix propres aux principaux types de protections.

1.1 Les écrans acoustiques

Ils conviennent aux zones où l'on dispose de peu d'espace, ainsi que sur tous les remblais. Ils peuvent être verticaux ou inclinés, réfléchissants ou absorbants sur une ou deux faces, surmontés de dispositifs additionnels tels que des « casquettes » ou des couronnements.

La fonction première de l'écran est de s'opposer à la transmission directe du son, les ondes sonores se propageant à l'arrière de l'écran après diffraction sur les arêtes (sommet ou extrémités). Pour plus de précisions, voir le chapitre 2 sur les « Principes du fonctionnement physique d'un écran ». Pour assurer cette efficacité en transmission, la plupart des matériaux conviennent. Il suffit pour cela que la masse par unité de surface et l'étanchéité du dispositif soient suffisantes pour s'opposer à la transmission directe du son.

Le choix entre les différents types d'écrans est fonction de l'utilisation prévue :

Écrans absorbants ou réfléchissants : lorsqu'un obstacle, en particulier un écran, est implanté à proximité d'une source sonore, le bruit en provenance de cette source se réfléchit sur l'obstacle et dans certaines configurations de site, ces réflexions peuvent se révéler gênantes. Il est donc recommandé, lors de la réalisation d'écrans antibruit, d'utiliser des produits permettant de minimiser ces réflexions, notamment dans les situations suivantes :

- écran d'un seul côté de la voirie et zones d'habitations de l'autre côté ;
- écrans en vis-à-vis, implantés de part et d'autre de la voirie ;
- configuration de site où des réflexions parasites entre les véhicules (trains ou poids lourds) et l'écran très proche peuvent dégrader l'efficacité de l'écran.

Écrans droits ou inclinés : généralement, un écran est installé en position droite, les raisons principales pouvant motiver l'inclinaison d'un écran étant les suivantes :

- *raisons de sécurité* : lorsque l'écran est très

proche d'une barrière de sécurité voire directement fixé dessus, on doit respecter un « cône d'évitement » ce qui peut nécessiter l'inclinaison du mur ;

- *raisons acoustiques* : cette technique, déjà abordée dans le guide *Recommandations techniques pour les ouvrages de protection contre le bruit* (Cetur, 1978), consiste à incliner l'écran pour renvoyer les ondes réfléchies en dehors des zones bâties. Dans le cas d'écrans parallèles, leur inclinaison permet d'éviter les réflexions multiples et donc l'amplification du champ sonore. Cette technique représente dans certains cas, une alternative à l'utilisation d'écrans absorbants (notamment lorsque des écrans transparents sont mis œuvre). Toutefois, en présence de conditions météorologiques favorables où les rayons sonores sont incurvés vers le sol, une partie de l'énergie réfléchie peut tout de même rejoindre des zones bâties situées loin derrière l'écran ;
- *raisons esthétiques, architecturales* : l'inclinaison des écrans permet d'ouvrir le champ visuel de l'automobiliste. Incliner certaines portions d'écrans permet également de rompre la monotonie d'un ouvrage.

Il faut cependant être conscient que l'inclinaison d'un écran présente un surcoût, surtout lorsqu'il s'agit d'écrans de grande hauteur.

Les écrans acoustiques permettent d'obtenir des gains moyens de 5 à 7 dB(A) et dans le meilleur des cas, des gains de 10 à 12 dB(A) en fonction des configurations.

Les buttes de terre 1.2

En milieu interurbain, que ce soit en zone rurale ou en zone périurbaine, la butte de terre constitue la protection souvent privilégiée par le maître d'ouvrage mais aussi par les riverains.

Leur inconvénient essentiel est la consommation importante d'espace : pour une butte de 3 m de hauteur, avec une pente de 2/3 et une largeur au sommet d'1 m, l'emprise atteint 10 m. Elles représentent des protections économiques si l'emprise est disponible et si l'on dispose d'excédents de déblai ou de matériaux impropres au réemploi en remblai. Elles présentent quelques avantages sur les plans acoustique et paysager : absence de réflexions vers des zones bâties, surface relativement absorbante, possibilité de végétaliser les abords. Par contre, pour une efficacité comparable, elles doivent en général être légèrement plus hautes que les écrans. En effet, l'arête est plus éloignée de la voie et le profil en travers de l'obstacle que représente la butte s'oppose moins à la propagation des ondes sonores que dans le cas d'un écran droit.

Les gains obtenus par mise en place d'une butte de terre sont comparables au cas des écrans : gains moyens de 5 à 7 dB(A) et dans le meilleur des cas, des gains de 10 à 12 dB(A) en fonction des configurations.

Des informations complémentaires relatives aux buttes de terre figurent en annexe 1.

1.3 Les écrans végétalisables

L'insertion paysagère d'un écran acoustique est grandement améliorée par la mise en place d'une végétation. Il existe différentes solutions pour « végétaliser » un écran :

- végétalisation d'un mur classique : il est possible de planter de la végétation à l'avant et/ou à l'arrière du mur. Cette végétation peut être mise en place en pleine terre et peut pousser devant l'écran ou être constituée de plantes grimpantes qui s'accrochent au mur ou à un support fixé au mur. Un aspect végétal intéressant n'est cependant obtenu qu'après quelques années, lorsque la végétation aura envahi une bonne partie de l'écran. L'avantage de ce type de plantation est un arrosage facultatif ;
- il est aussi possible de végétaliser des murs classiques par la suspension de bacs remplis de terre végétale qui peuvent accueillir de la végétation. Un système d'arrosage doit dans ce cas être prévu ;
- construction d'un mur intégrant la végétation : il s'agit d'une solution intermédiaire entre l'écran mince et la butte de terre. Le système constructif consiste à remplir de terre une structure équipée de sortes de jardinières, dont l'emprise au sol est beaucoup moins importante qu'une butte de terre.

Ce type de protection présente à la réalisation une efficacité en transmission semblable à celle des écrans et des buttes. Les caractéristiques en absorption sont difficiles à évaluer : elles dépendent essentiellement de la forme et du matériau de la structure. La conservation des performances en transmission nécessite de compenser le tassement naturel de la terre par un nouvel ajout de matériau à la fin de l'hiver suivant, avant la plantation. Ces préconisations exigeantes sont malheureusement rarement respectées. Par ailleurs, l'arrosage des végétaux est indispensable.

Les couvertures partielles *1.4*

Elles conviennent pour des atténuations atteignant ou dépassant 15 dB(A) au niveau des rez-de-chaussée, et elles permettent également de traiter des bâtiments de grande hauteur. Elles sont surtout adaptées lorsque le bâti se situe d'un seul côté de la voie.

Les couvertures ajourées *1.5*

Ces protections consistent à couvrir la chaussée d'un dispositif atténuant la propagation des niveaux sonores tout en permettant un éclairage et une ventilation naturels de l'infrastructure.

Ces dispositifs sont couramment appelés « damiers acoustiques ».

Des informations complémentaires figurent au paragraphe 3.7.

1.6 Les couvertures totales ou les tunnels

Ce sont les protections à la source les plus efficaces, mais également les plus coûteuses, aussi bien en construction qu'en entretien et fonctionnement, surtout si une ventilation est nécessaire. L'usage en est ainsi limité aux zones très denses ou très sensibles. Plus encore que pour les buttes et écrans, l'énergie provenant des têtes de tunnels et des parties de voies non masquées de part et d'autre des sections couvertes, aura une incidence déterminante sur l'efficacité des couvertures. Cela peut conduire à des longueurs d'ouvrages importantes.

Différents types de couvertures de voirie peuvent être réalisées :

- couvertures dites « lourdes » constituées d'une dalle utilisable en surface ;
- couvertures dites « légères » où seule est assurée la fonction acoustique.

L'efficacité acoustique de ces couvertures peut atteindre des valeurs très importantes en dehors des zones proches des extrémités, notamment dans le cas des couvertures lourdes.

Les contraintes de sécurité propres aux tunnels doivent être prises en compte pour ce type d'ouvrage.

Par ailleurs, la réalisation d'une couverture lourde offre une opportunité d'aménagement de surface, par exemple pour une opération d'urbanisme, et réduit ainsi l'effet de coupure. Pour clarifier la domanialité de chacun, des conventions doivent être passées entre l'utilisateur de la surface et le maître d'ouvrage de la voie. Le surcoût par rapport à une couverture légère (non praticable) est également à prendre en considération.

D'autres dispositifs de protection contre le bruit 1.7

1.7.1 Les parements absorbants

On a pu voir que pour les écrans, le choix d'un matériau absorbant pouvait parfois s'avérer nécessaire. D'autres configurations concernant des murs qui n'ont pas de fonction acoustique mais une fonction de soutènement, peuvent également être des sources de réflexion des rayons sonores :

- voirie en tranchée avec murs verticaux ;
- trémie de sortie de tunnel, y compris mur anti-recyclage des fumées d'incendie ;
- murs de soutènement en vis-à-vis.

Dans ces cas, la technique consiste, pour réduire ces réflexions sonores, à recouvrir la paroi réfléchissante d'un parement assurant l'absorption acoustique.

On retrouve en général les mêmes techniques que pour les écrans, les éléments étant souvent plus légers puisque la stabilité est assurée par la paroi à traiter et qu'aucune exigence en transmission n'est nécessaire.

Pour le cas des tunnels, un traitement absorbant est souvent nécessaire en extrémité (cas aussi des couvertures) afin d'atténuer l'énergie acoustique rayonnée par la sortie. Les parois doivent alors être recouvertes de matériaux absorbants sur un linéaire de quelques dizaines de mètres à partir de l'extrémité pour obtenir des gains significatifs.

à 1 m de hauteur d'écran. Ces résultats théoriques restent toutefois à valider par des mesures *in situ*.

Remarque : des précautions doivent être prises lorsqu'on installe des dispositifs en sommet d'écran. En effet, l'efficacité est totalement dépendante de la forme et de la taille du dispositif ainsi que des matériaux employés : si des dispositifs permettent d'améliorer la diffraction, d'autres peuvent la détériorer.

Une norme européenne est en cours de rédaction pour évaluer l'efficacité de tels dispositifs.

1.7.2 Les couronnements d'écrans

Cette technique consiste à installer, en sommet d'écran, un dispositif destiné à améliorer le comportement en diffraction de l'écran. Cet aménagement peut être envisagé dans le cas d'un nouvel écran, afin d'en améliorer l'efficacité ou dans le cas d'un écran existant pour compléter une protection devenue insuffisante.

Les simulations numériques qui ont été réalisées montrent que certains de ces aménagements, sous certaines conditions, peuvent apporter des gains de 1 à 2 dB(A), ce qui peut permettre de gagner 50 cm

D E U X I È M E C H A P I T R E

La théorie des écrans et leur dimensionnement

2.1 Principes du fonctionnement physique d'un écran

L'efficacité acoustique constitue un objectif essentiel lors de la réalisation d'un écran acoustique.

Les schémas suivants présentent, sur une coupe perpendiculaire à l'ouvrage et sur une vue de dessus, les différents phénomènes en jeu :

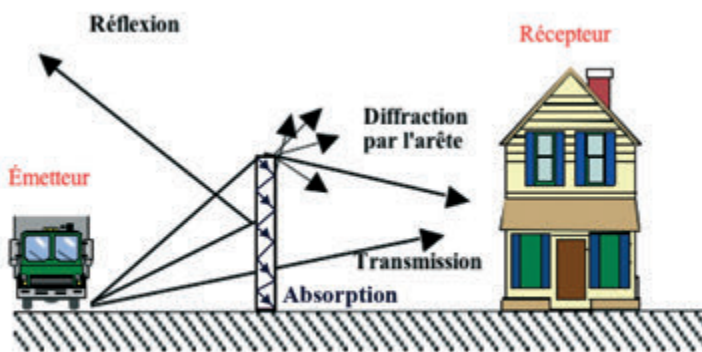


Figure 1 : coupe verticale

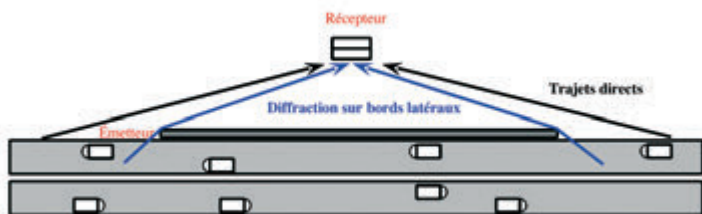


Figure 2 : vue de dessus

Lorsque l'onde sonore se propage de la source (émetteur) en direction du récepteur, certains rayons sonores contournent l'écran, d'autres le rencontrent. Une partie de l'onde sonore :

- est transmise par l'écran ;
- est absorbée par l'écran ;
- est réfléchi par l'écran ;
- est diffractée sur les arêtes de l'écran.

2.1.1 La transmission

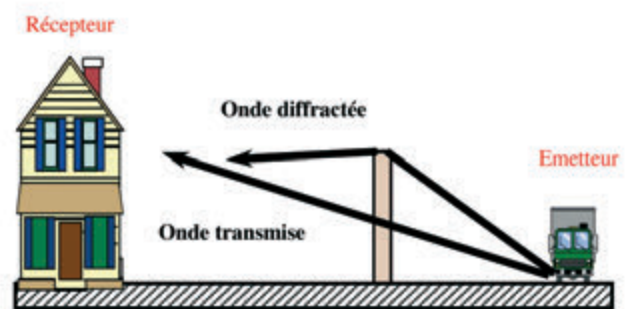


Figure 3 : transmission - diffraction

L'onde transmise à travers l'écran se propage vers le récepteur et se cumule à l'onde diffractée. Pour que la protection du récepteur soit satisfaisante, il convient de réduire d'au moins 25 dB l'énergie transmise (voir chapitre 6).

Généralement, lors des études de dimensionnement des écrans, cette énergie transmise est considérée comme négligeable devant l'énergie diffractée (sauf cas particulier des couvertures légères).

Cette atténuation de l'énergie au cours de la transmission est une caractéristique intrinsèque de l'écran facile à obtenir en utilisant des matériaux appropriés et une mise en œuvre adaptée.

À titre d'exemple, on peut indiquer les épaisseurs de matériau qui conviennent pour réaliser un écran :

- bois (assemblage de clins rainurés) : 35 à 40 mm ;
- plastique (polycarbonate ou méthacrylate) : 12 à 15 mm ;
- acier : 1,5 mm ;
- aluminium : 4 mm.

Pour beaucoup de matériaux, les contraintes mécaniques s'avèrent plus sévères que la seule contrainte acoustique (cas du béton par exemple).

2.1.2 La réflexion / absorption

Lorsque l'onde sonore rencontre l'écran, elle se réfléchit dessus. Une partie de l'énergie incidente est absorbée, le reste est renvoyé par l'écran et peut se révéler indésirable. Par exemple, des habitations exposées aux réflexions peuvent voir leurs niveaux sonores augmenter. C'est aussi le cas pour deux écrans disposés en parallèle pour lesquels l'efficacité globale peut être détériorée.

L'utilisation de matériaux adaptés pour la face de l'écran située côté route permet de réduire cette énergie réfléchi.

Cette capacité à absorber une partie de l'énergie est une caractéristique intrinsèque de l'écran.

2.1.3 La diffraction

Lors de la diffraction, l'onde sonore est atténuée et poursuit sa propagation en direction du récepteur. Tout se passe comme si les arêtes de l'écran étaient à leur tour devenues des sources sonores rayonnant avec une puissance atténuée. Le principe de diffraction est comparable au phénomène que l'on rencontre en optique, seules les longueurs d'ondes diffèrent. On retrouve d'ailleurs un vocabulaire commun : zone éclairée, zone d'ombre...

Le schéma suivant illustre ces différentes notions :

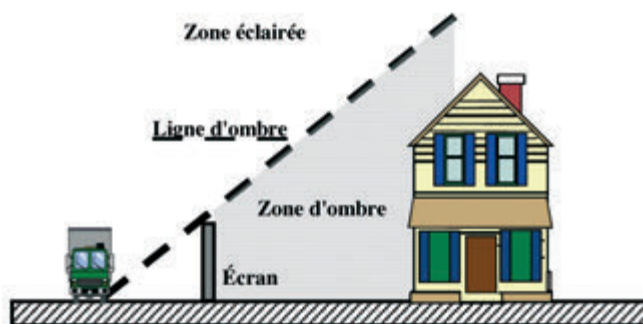


Figure 4 : ligne d'ombre de diffraction

Lorsque des récepteurs se trouvent en zone d'ombre ou à proximité de la ligne d'ombre, les niveaux sonores générés par la source subissent une certaine atténuation. Cette atténuation est liée à la différence de marche imposée par l'écran (différence de distance entre le trajet diffracté et le trajet direct sans écran : voir

figure 5). L'amplitude de l'atténuation liée à la diffraction dépend donc essentiellement des caractéristiques géométriques de l'écran et de sa position vis-à-vis de la source et du récepteur :

- sur terrain plan et pour une hauteur d'écran donnée, **l'atténuation est d'autant plus forte que l'écran est proche de la source ou du récepteur** (l'implantation d'un écran à proximité du récepteur constitue parfois une solution pertinente) ;
- **l'atténuation est plus forte pour les récepteurs proches de l'écran que pour les récepteurs éloignés**, d'une part parce que la différence de marche γ est plus élevée, d'autre part du fait de la moindre contribution sonore des portions non masquées de la route ;
- pour une implantation et une hauteur d'écran données, **l'atténuation est plus forte à proximité du sol qu'en hauteur**.

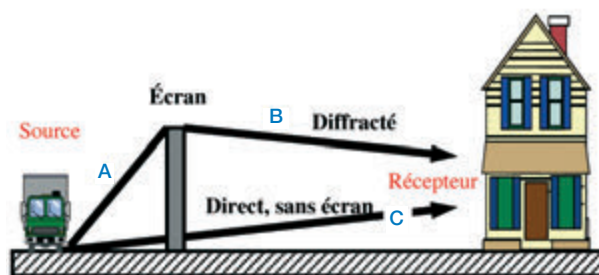


Figure 5 : différence de marche ($\delta = A+B-C$)

Par ailleurs, l'atténuation en diffraction est également liée à la fréquence du signal diffracté : **l'efficacité acoustique d'un écran est plus importante pour les fréquences aiguës que graves**. Sur site plan, on considère ainsi qu'un écran d'une hauteur inférieure à 2 m (une GBA par exemple) atténue très peu les fréquences graves et médiums, et n'apporte par conséquent qu'une atténuation très réduite sur le bruit global (voir paragraphe 3.6 relatif aux obstacles de faible hauteur).

En résumé, l'efficacité globale d'un écran pour les riverains est en grande partie conditionnée par son efficacité en diffraction (implantation, hauteur, géométrie du sommet) ainsi que par la portion de la route non masquée (longueur). Le choix du matériau n'a que peu d'influence.

2.2 Principes du dimensionnement acoustique d'un écran

Lorsque la réalisation d'un écran est envisagée, cela signifie que l'on arrive à la fin d'un processus. Selon les situations, les différentes solutions envisageables pour traiter ces nuisances sonores ont été analysées. On pourra utilement se référer à l'ouvrage *Bruit et études routières - Manuel du chef de projet* (Certu, Setra, octobre 2001), qui détaille toutes les étapes à suivre lors de la réalisation d'un projet.

Les démarches présentées ci-après, pour le dimensionnement d'un écran, concernent la ou les phases d'étude spécifiques à sa réalisation.

Lors du dimensionnement, il s'agit d'optimiser les facteurs géométriques que sont la hauteur, la longueur et l'implantation, en vue de respecter les objectifs visés.

La démarche proposée suit les étapes suivantes :

- étape n°1 : analyse des résultats sans protection ;
- étape n°2 : choix du type de protection envisageable ;
- étape n°3 : examen des hypothèses de trafic ;
- étape n°4 : dimensionnement, calculs d'efficacité.

Pour mener à bien les calculs prévisionnels des niveaux sonores, différentes méthodes peuvent être utilisées en fonction de la phase d'étude et de la complexité de l'ouvrage de protection.

2.2.1 Analyse des résultats sans protection

Cette analyse porte sur les résultats de simulation obtenus pour les deux périodes réglementaires que sont le jour, de 6 heures à 22 heures, et la nuit, de 22 heures à 6 heures. Après comparaison avec les objectifs à atteindre, elle doit permettre de montrer la nécessité de prévoir ou non une protection acoustique.

2.2.2 Choix du type de protection envisageable

En fonction du dépassement des objectifs et en fonction du site, il est déjà possible d'avoir une idée *a priori* du type de protection que l'on pourra utiliser :

- à la source ;
- sur le bâti ;
- mixte.

Dans le cas général, la recherche d'une protection à la source doit être privilégiée mais ce principe ne peut pas toujours être respecté. Pour les aménagements de voiries urbaines, par exemple, le peu d'emprise disponible au sol limite au traitement de façades les solutions de protection.

Il faut aussi vérifier que la protection envisagée n'est pas d'un coût disproportionné par rapport au nombre de locaux à protéger. Une comparaison économique doit être établie entre les différentes solutions : soit seulement un écran acoustique, soit uniquement un traitement au niveau du bâti, soit une protection mixte (écran complété par une isolation de façade).

Dans d'autres cas, par exemple pour les immeubles de grande hauteur, il est possible de choisir un traitement mixte : protection du type « écran » pour les étages inférieurs et les espaces extérieurs et renforcement de façade pour le haut des immeubles. En effet, dans ce cas, une protection à la source serait techniquement irréalisable ou d'un coût disproportionné.

À ce stade du choix des solutions de protection, il faut intégrer les principales contraintes imposées par le site : emprise disponible, intégration paysagère, etc.

2.2.3 Examen des hypothèses de trafic

Les hypothèses de trafic prises en compte pour les études acoustiques, constituent l'un des paramètres fondamentaux du projet. En dépit de toutes les précautions prises, il est possible de constater des différences significatives entre les prévisions de trafic et la réalité. Or, la réglementation ne fixe pas de limite temporelle quant au respect des objectifs fixés, les seuils sont donc à respecter sur la durée de vie de l'infrastructure. Deux cas se présentent alors :

- lorsque les études acoustiques ont conclu qu'aucune protection n'était nécessaire, on ne fait rien. Il est cependant toujours possible de reprendre et de modifier le projet initial pour étudier et réaliser des protections, si le trafic augmente dans des proportions non prévues ;
- dans le cas où une protection est décidée, il est particulièrement important qu'elle soit pérenne sur le plan acoustique. En effet, il est très difficile de rehausser un écran sauf dans les cas, assez rares, où cela a été prévu dès l'origine.

Dans ces conditions, il y a lieu de réexaminer les hypothèses de trafic et d'étudier l'opportunité de dimensionner l'ouvrage pour la période diurne avec un trafic correspondant à la « saturation acoustique ». En effet, à partir d'un certain débit, la vitesse de circulation se met à décroître. On peut observer alors des niveaux sonores atteignant un maximum et pouvant ensuite décroître si le débit va en progressant.

Attention, la prise en compte de tels trafics journaliers ne constitue pas une garantie absolue. Si l'hypothèse prise de saturation acoustique correspond à la période Jour, le bruit peut continuer à croître pour la période Nuit, qui pourrait de ce fait devenir la plus pénalisante. De plus, même pour la période Jour, le bruit pourrait continuer à croître si la proportion des poids lourds venait à augmenter.

2.2.4 Dimensionnement, calculs d'efficacité

Comme nous l'avons déjà vu, suivant la situation, l'objectif le plus contraignant à respecter pour le dimensionnement des protections est, soit celui de la période diurne (6h-22h), soit celui de la période

nocturne (22h-6h). Néanmoins, dans le contexte réglementaire actuel, le maître d'ouvrage doit justifier dans les documents publics qu'il a bien étudié les deux périodes et qu'il respecte les deux seuils associés. Il est donc indispensable de vérifier en fin d'étude que la solution recommandée est pertinente pour les deux périodes.

Dans la phase étude du projet, la réglementation oblige à prendre en compte les effets météorologiques pour les simulations faites à plus de 250 m. Il peut être recommandé de le faire pour des distances plus faibles, en particulier pour les calculs derrière l'écran, où l'influence de la météorologie est significative.

L'utilisation d'une méthode intégrant la prise en compte des phénomènes météorologiques est donc souhaitable. Pour le réseau national, la circulaire du 12 décembre 1997 impose la méthode NMPB - Route 96 (désormais normalisée : XP S 31 133, avril 2001).

Les principaux logiciels disponibles sur le marché pour réaliser ce type d'étude, permettent de simuler les protections les plus courantes :

- écrans ;
- buttes de terre ;
- couvertures partielles ;
- couvertures totales.

Pour optimiser la protection, il faut profiter des avantages que procure l'utilisation d'un logiciel :

- possibilité de multiplier le nombre de calculs, ce qui permet de tester aisément plusieurs variantes ;
- utilisation des outils fournis par les logiciels pour affiner la protection : classement hiérarchique des sources, etc.

Ces différents tests doivent permettre d'optimiser les dimensions, l'implantation et par conséquent l'efficacité finale pour les riverains.

Pour éviter toute mauvaise interprétation par le maître d'ouvrage, la description de la protection recommandée par le bureau d'études doit être sans ambiguïté : si seule la hauteur de l'écran est donnée, bien préciser la référence (hauteur par rapport au bord de la voirie ou par rapport au point haut de la chaussée). La solution la plus explicite consiste à fournir un profil en long de l'écran avec cotation de l'arête supérieure.

Dans tous les cas, il faut rester réaliste et en particulier ne pas perdre de vue l'insertion dans le site de cet ouvrage, les sujétions de constructions ou l'emprise dans le cas des buttes. De même, sont à éviter les dimensions d'écran telle une hauteur de 3,37 m.

2.2.5 Méthodes utilisables

Deux méthodes sont couramment utilisées pour dimensionner les protections acoustiques : les méthodes manuelles et les logiciels de simulation numérique ; à choisir selon le niveau de l'étude et de complexité du site.

Il convient de garder à l'esprit que, quelle que soit la méthode retenue, elle présente des incertitudes, d'autant plus élevées que les sites sont complexes ou que les outils utilisés sont simplifiés. Hormis le cas d'évaluations sommaires, les écarts entre les valeurs obtenues par le biais de deux méthodes de calcul différentes ne dépassent généralement pas **2 dB(A)**. Cela est valable pour des sites relativement simples et à moins d'une centaine de mètres des sources. Ils peuvent être sensiblement supérieurs dans des cas complexes (topographie perturbée, forte densité de bâti, etc.) ou à plus grande distance. Même s'il est souvent intéressant de mener les calculs intermédiaires à la précision de la décimale, en particulier pour évaluer l'incidence de certains paramètres, les résultats définitifs doivent être arrondis à l'entier le plus proche.

2.2.5.1 Les méthodes manuelles

Ces méthodes sont fondées sur l'utilisation manuelle de formules mathématiques ou d'abaques à lecture directe. Le *Guide du bruit des transports terrestres* (fascicule *Prévision des Niveaux Sonores*, Cetur, novembre 1980) a longtemps constitué l'ouvrage de référence pour les calculs de bruit routier. Il permet de traiter le cas de quelques points récepteurs rapidement et avec une bonne précision, à condition que la géométrie soit simple (topographie plane, profil en travers constant à choisir parmi des cas types).

La démarche devient cependant très complexe dès lors qu'on veut procéder à une analyse rigoureuse

des sites ou multiplier les points de calcul. Son usage est maintenant limité aux cas simples, aux études amont (études préliminaires, éventuellement APS), et aux vérifications ponctuelles.

2.2.5.2 Les logiciels

Basés sur la recherche de chemins acoustiques entre lignes sources (décomposées en sources élémentaires ponctuelles) et récepteurs, et sur l'application de formules de propagation sur chacun de ces chemins, les logiciels permettent de traiter la plupart des cas rencontrés avec un bon niveau de précision. Ce sont les seuls outils offrant de prendre en compte l'effet des conditions météorologiques dans les calculs.

Ils permettent aussi de distinguer la contribution sonore d'un tronçon de la route, ce qui constitue un auxiliaire appréciable pour le dimensionnement des protections. Ils sont maintenant utilisés aussi bien pour les phases amont des projets routiers et les études d'impact que pour les études de détail. Un catalogue des logiciels de calcul de bruit est disponible sur le site Internet du Certu.

2.2.5.3 Autres méthodes

Les maquettes, utilisées par le passé pour l'étude des sites particulièrement complexes, ont été définitivement abandonnées compte tenu de leur coût très élevé.

Les formes particulières d'écrans peuvent être abordées au moyen de modèles théoriques développés par les laboratoires de recherche, tels que les méthodes par éléments finis de frontière (BEM : Boundary Element Method). Ces modèles ne s'appliquent toutefois qu'à des configurations de site très simples. Du fait de leurs nombreuses limitations, les résultats de calculs n'ont qu'une valeur indicative et doivent impérativement être interprétés. C'est pourquoi ces modèles, non intégrés à l'heure actuelle dans les logiciels « grand public », restent réservés à des cas très particuliers.

2.2.6 Qualité d'une étude

Les outils informatiques permettent une présentation attrayante des résultats, souvent appréciable pour la communication avec le public : cartes de bruit horizontales ou verticales, tracés de courbes isophones, etc.

Cependant, il faut garder à l'esprit que le label informatique, la quantité et la présentation esthétique des résultats fournis ne sont pas forcément synonymes de fiabilité. Celle-ci est tributaire :

- de la qualité et de la précision des données introduites (géométrie du tracé, caractéristiques de trafic, relevé topographique) ;
- de l'adéquation des formulations et algorithmes du logiciel aux spécificités du site ;
- de la pertinence, vis-à-vis du problème posé, de la modélisation du site et des sources par l'opérateur ;
- de la compétence de l'utilisateur, qui doit pouvoir porter un regard critique sur les résultats afin d'affiner la modélisation ou détecter une erreur éventuelle.

Ainsi, quelle que soit la notoriété du logiciel et de ses auteurs, l'expert acousticien reste seul responsable des conclusions de son étude prévisionnelle, et ce dans la limite des hypothèses fournies par le commanditaire.

T R O I S I È M E C H A P I T R E

Effacité acoustique des dispositifs

Une fois le dimensionnement réalisé, il est indispensable de respecter quelques règles simples d'implantation pour obtenir l'efficacité optimale attendue de l'écran acoustique. Des dispositifs ou formes d'écrans particuliers permettent aussi dans certains cas d'améliorer cette efficacité sans en augmenter sensiblement le coût.

Les résultats présentés dans les paragraphes suivants sont souvent issus de simulations numériques pour des configurations simplifiées. Dans certains cas, peu de validations par mesure in situ ont été réalisées, ils n'ont donc qu'une valeur indicative. On trouvera en annexe des approfondissements et les résultats détaillés de certaines simulations.

3.1 Implantation et positionnement de l'écran dans le site

Un certain nombre de critères sont à prendre en considération, les uns pouvant interférer avec les autres, afin de respecter l'objectif acoustique fixé. Il s'agit donc de prendre en compte, notamment :

- le coût de la protection, qui est fonction notamment de la surface de l'écran ;
- l'espace disponible pour l'implantation de l'écran et la configuration du site ;
- les éléments liés à la sécurité et de manière générale l'ensemble des contraintes ;
- l'insertion paysagère.

3.1.1 Implantation par rapport à la voie

Dans le chapitre précédent, nous avons vu que, pour une hauteur donnée, l'efficacité de l'écran est d'autant plus forte qu'il est installé à proximité de la source et que le récepteur est situé en zone d'ombre de l'écran.

Dans le cas général, c'est l'implantation au plus près de la source qui représente la solution la plus pertinente. Elle doit évidemment être compatible avec le respect des règles de sécurité (voir chapitre 4).

Les simulations suivantes présentent, pour un exemple de configuration (figure 1), la variation d'efficacité lorsqu'on éloigne l'écran de la route : un écran implanté à 25 m du bord de la voie sera moins efficace de 3,5 dB(A) qu'un écran placé à 5 m.

	Variation d'efficacité par rapport à un écran situé à d = 5 m
d = 2 m	+ 1,5 dB(A)
d = 10 m	- 1,5 dB(A)
d = 15 m	- 2,5 dB(A)
d = 20 m	- 3,5 dB(A)
d = 30 m	- 5,5 dB(A)
Sans écran	- 12 dB(A)

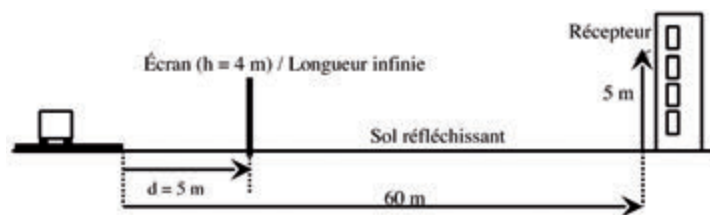


Figure 1 : configuration écran de 4 m de hauteur à 5 m de la voie

3.1.2 Optimisation du couple hauteur - longueur, murs en retour

La réduction de la surface d'écran à construire se traduit par l'optimisation du couple hauteur-longueur.

En présence d'un écran acoustique, l'énergie sonore reçue au récepteur provient :

- d'une part de la zone masquée par la protection après diffraction sur les arêtes horizontales et verticales de l'écran ;
- d'autre part de la zone non protégée et toujours en vue directe sur la voie (voir chapitre 2).

D'où l'obligation de prévoir des longueurs d'écran importantes pour masquer suffisamment la voie routière vue depuis les récepteurs à protéger (figure 2). En fonction de l'efficacité recherchée, il peut être nécessaire de masquer de 80 à 90% de la vue sur la route. Concrètement, cela représente des mesures d'angles θ de l'ordre de 140° à 160° , soit des débordements L de l'ordre de 150 à 250 m par rapport à la dernière habitation à protéger. Tout ceci est fonction de l'éloignement de l'habitation par rapport à la voie routière.

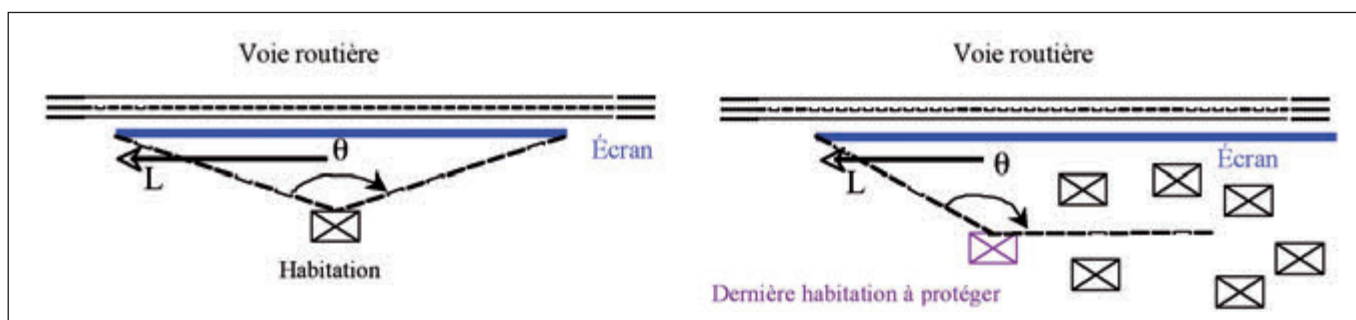


Figure 2 : longueur d'écran nécessaire à la protection des habitations

Une autre solution envisageable pour réduire au maximum la portion de route non masquée consiste à ajouter des murs en retour aux extrémités de l'écran, sous réserve de disposer d'emprises suffisantes.

Les simulations suivantes présentent, pour un exemple de configuration de site, l'influence du couple hauteur - longueur d'écran et de murs en retour de 20 m placés aux extrémités de l'écran.

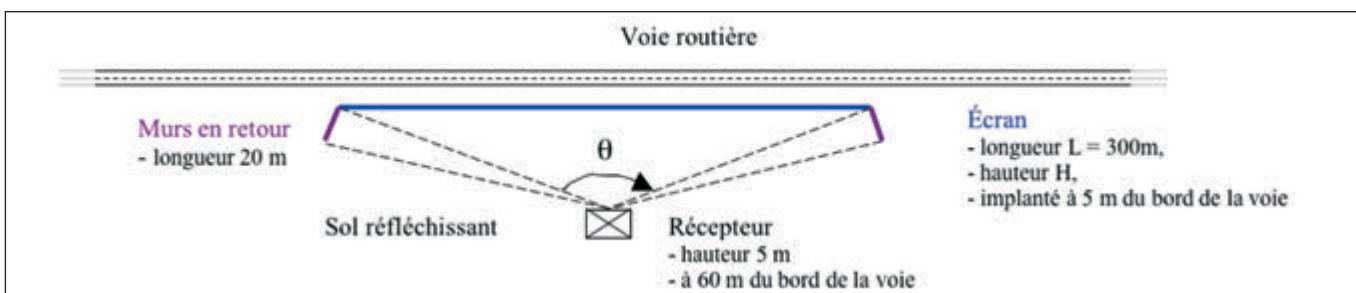


Figure 3 : murs en retour

Au niveau du récepteur, les gains dus à l'insertion d'un écran, par rapport à une configuration sans écran, sont les suivants :

	Écran L = 300 m ($P^* \approx 78\%$)	Écran L = 300 m avec murs en retour ($P \approx 85\%$)	Écran de longueur infinie** ($P = 100\%$)
Écran H = 2 m	5 dB(A)	5,5 dB(A)	6 dB(A)
Écran H = 4 m	8,5 dB(A)	10,5 dB(A)	12 dB(A)
Écran H = 6 m	9,5 dB(A)	13 dB(A)	15,5 dB(A)

* $P = \theta / 180$ = proportion angulaire de voie routière masquée

** Les gains pour un écran théorique de « longueur infinie » représente les gains maximaux qu'il est possible d'obtenir.

On peut remarquer que pour une hauteur d'écran supérieure ou égale à 4 m, les gains dus aux murs en retour peuvent atteindre 2 à 3 dB(A).

3.1.3 Position de l'écran dans le site

Dans certains cas, une implantation judicieuse ainsi qu'un allongement minime de la longueur de l'écran, permettent de gagner de précieux décibels pour un surcoût très faible. Les exemples de configurations ci-dessous sont repris du guide *Recommandations techniques pour les ouvrages de protection contre le bruit*, Cetur, 1978.

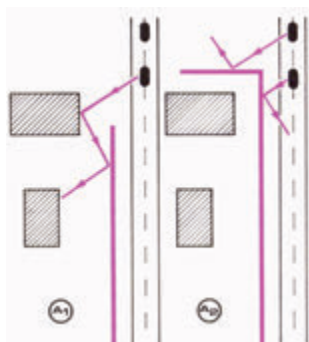


Figure 4 : allongement écran et mur en retour

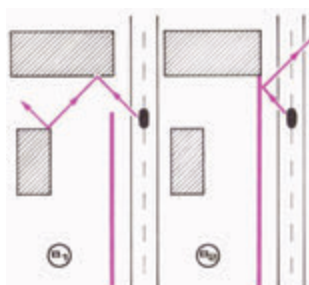


Figure 5 : allongement du mur

Dans ces exemples, ce sont les configurations A2 et B2 qui se révèlent beaucoup plus efficaces

3.1.4 Interruptions et recouvrements

Lorsqu'une ouverture doit être aménagée dans un écran, il est nécessaire de s'assurer que les fuites acoustiques engendrées seront minimales.

Le guide Cetur de 1978 fournit une règle empirique de recouvrement afin de minimiser ces fuites acoustiques : recouvrement de deux fois la largeur de l'ouverture (voir les schémas suivants).

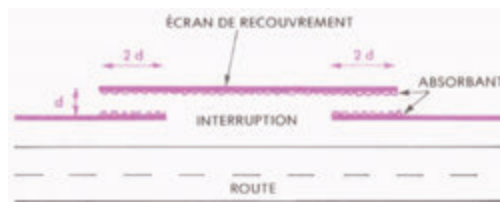


Figure 6 : traitement d'une interruption d'écran

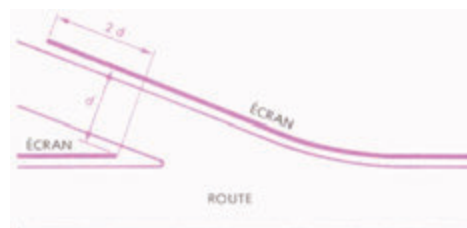


Figure 7 : recouvrement dans une sortie de voie

Des simulations numériques confirment qu'un recouvrement de deux à trois fois la largeur de l'ouverture est nécessaire pour limiter les fuites acoustiques.

Écrans et végétation 3.2

Les plantations basses ne dépassant pas la taille d'un arbuste n'ont pas d'influence sur l'efficacité d'un écran acoustique. En revanche, on a parfois accusé les arbres dont la hauteur dépasse celle de l'écran de dégrader son efficacité en diffusant de l'énergie sonore vers la zone masquée par l'ouvrage. Il apparaît que la réalité est plus complexe :

- ce phénomène ne pourrait physiquement intervenir qu'aux fréquences les plus élevées, et n'aurait en définitive qu'une faible incidence sur le bruit global au niveau des habitations ;
- quelques écrits suggèrent par ailleurs que la présence d'arbres à proximité d'un écran contribue à réduire l'intensité des turbulences dues aux vents portants. Cela pourrait donc conduire à une réduction du niveau sonore.

En tout état de cause, de tels effets resteraient très marginaux au regard de l'efficacité de l'écran.

3.3 Matériau absorbant ou réfléchissant ?

Nous avons pu voir au chapitre précédent que l'insertion d'un écran acoustique dans un site entraîne l'apparition de réflexions des ondes sonores qui peuvent, selon les sites, s'avérer gênantes. Elles peuvent en effet entraîner soit une augmentation des niveaux sonores, soit une atténuation moindre des niveaux sonores avec écran, ou du moins plus faible que celle attendue (cas des écrans en vis-à-vis).

Les schémas suivants présentent quelques cas typiques où les réflexions des ondes s'avèrent plus ou moins gênantes :

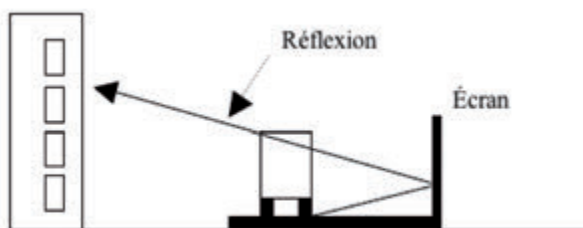


Figure 8 : écran seul avec réflexions en face

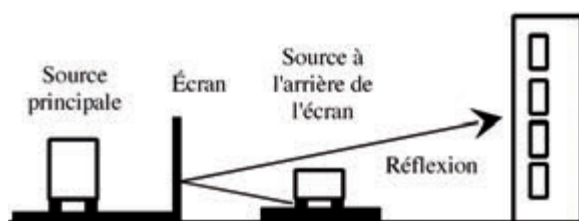


Figure 9 : écran seul avec réflexions à l'arrière

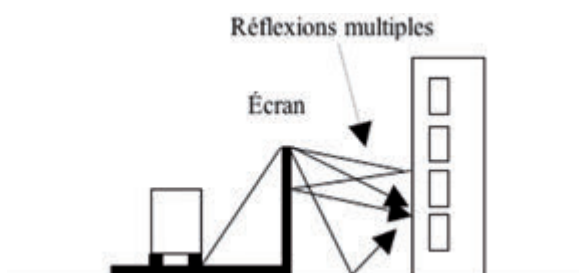


Figure 10 : écran avec réflexions multiples à l'arrière

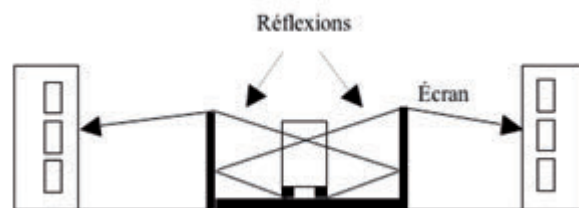


Figure 11 : écrans en vis-à-vis

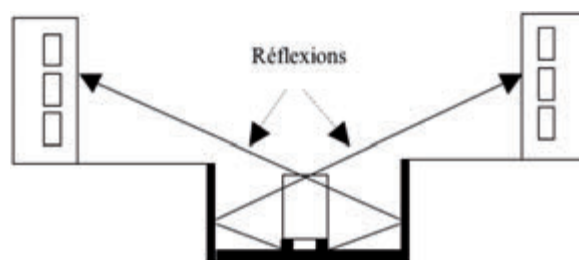


Figure 12 : trémie

Pour tous les cas où la présence de l'écran entraîne la création de réflexions indésirables, l'intérêt de l'utilisation d'un matériau absorbant sur une des faces de l'écran (ou sur les deux) est extrêmement variable. Les simulations présentées en annexe 2 révèlent que le gain lié à l'utilisation d'absorbant reste inférieur à 2 dB(A) pour le cas d'une zone située en face d'un écran unique mais peut atteindre 10 dB(A) ou plus dans le cas d'une trémie.

Ce paramètre ne doit pas être négligé lors de la réalisation d'un écran acoustique et il est donc primordial que les études de dimensionnement intègrent ce facteur et fournissent les performances en absorption prises en compte dans les simulations.

L'absorption est une caractéristique intrinsèque du matériau avec lequel est réalisé l'écran. Des valeurs minimales peuvent être prescrites lors des appels d'offres (voir chapitre 6).

En l'absence de prescriptions dans l'étude acoustique, le choix du type d'absorbant pourra être opéré selon les tableaux présentés au chapitre 6 de ce guide.

Les écrans à reliefs 3.4

Afin de limiter le phénomène de réflexion de l'énergie acoustique vers un écran en vis-à-vis ou en direction d'habitations situées de l'autre côté de la plate-forme routière, nous avons vu au paragraphe précédent que l'on pouvait employer des matériaux absorbants. Il est aussi possible d'obtenir un résultat similaire avec des matériaux réfléchissants, en inclinant l'écran ou en adoptant des formes et un relief étudiés en fonction de la configuration du site où est implanté l'écran.

Les écrans réfléchissants bien orientés et présentant de fortes irrégularités de surface, permettent, dans certains cas, de diffuser les ondes sonores vers des zones non gênantes. Nous désignerons ces dispositifs comme « écrans à reliefs » dès lors que la hauteur moyenne de leurs irrégularités de surface est supérieure à 10 cm.

Le relief le plus intéressant est celui dont les éléments le composant disposent d'**arêtes horizontales**. Les reliefs à arêtes verticales (cas de l'écran en zigzag horizontal, par exemple) ne présentent que peu d'intérêt, l'énergie acoustique étant principalement diffusée dans une zone proche d'un plan horizontal.

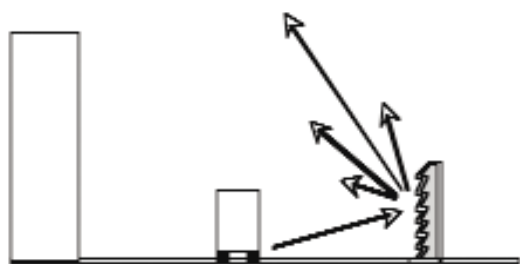


Figure 13 : illustration du phénomène de réflexion sur un écran à reliefs

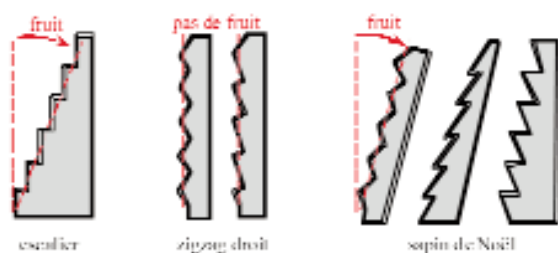


Figure 14 : les principales familles d'écrans à reliefs (vues en coupe)

3.4.1 Principes physiques des écrans à reliefs

Comme dans le cas de la diffraction, l'efficacité acoustique en réflexion d'un écran à reliefs n'est pas intrinsèque et dépend d'un certain nombre de paramètres :

- position de la source, qui détermine l'angle d'arrivée de l'onde sonore sur l'écran ;
- position du récepteur à protéger, qui détermine l'angle de départ après réflexion de l'onde sur l'écran ;
- formes et dimensions de la partie de l'écran située côté route, notamment orientation des « facettes » ;
- éventuellement, matériau recouvrant en partie l'écran. La présence de matériaux absorbants limitera encore davantage l'énergie acoustique réfléchie.

L'analyse de nombreux résultats de simulations numériques permet de faire les remarques suivantes. Aux **basses fréquences (125 et 250 Hz)**, la longueur d'onde (de l'ordre de 3 m à 125 Hz) devient grande devant la rugosité de l'écran (hauteur moyenne du relief). Le comportement de la protection est alors très proche de celui d'un écran plan dont l'inclinaison serait identique au fruit des éléments superposés. Si le fruit est nul (cas par exemple des écrans en zigzag réfléchissants non inclinés), l'écran complexe agit comme un écran droit. Si le fruit est de 15°, l'écran agit aux basses fréquences comme un écran plan incliné de 15°.

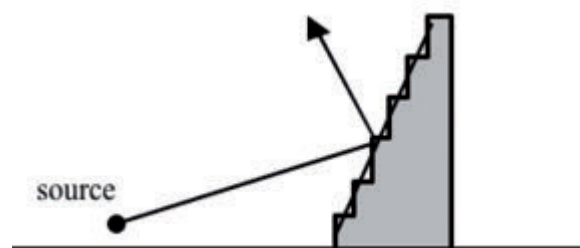


Figure 15 : comportement de l'écran aux basses fréquences

Aux moyennes fréquences (500 et 1000 Hz), le comportement des écrans devient plus complexe. La longueur d'onde est du même ordre de grandeur que la rugosité de l'écran. De manière générale, on peut dire que plus la fréquence est élevée, plus le champ acoustique est réfléchi de façon spéculaire (l'angle de réflexion est égal à l'angle incident) par les facettes élémentaires des modules. Aux plus basses fréquences, le champ réfléchi a un caractère fortement diffus.

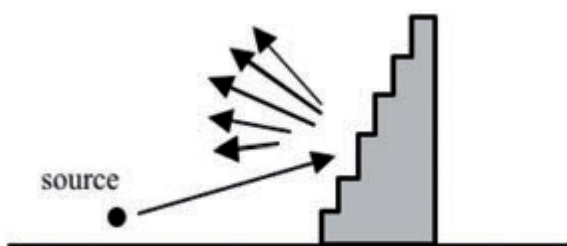


Figure 16 : comportement de l'écran aux moyennes fréquences

Aux hautes fréquences (2000 et 4000 Hz), la longueur d'onde (une dizaine de centimètres) devient petite devant la rugosité de l'écran. Chaque facette réfléchit de façon spéculaire l'énergie acoustique. Ainsi, les facettes verticales (dans le cas d'un écran en escalier par exemple) confèrent aux ondes le même comportement que pour l'écran droit et n'apportent pas d'amélioration sensible. A contrario, une nette efficacité est observable dans le cas où toutes les facettes non horizontales sont inclinées (de préférence de façon à renvoyer l'énergie acoustique vers le ciel).

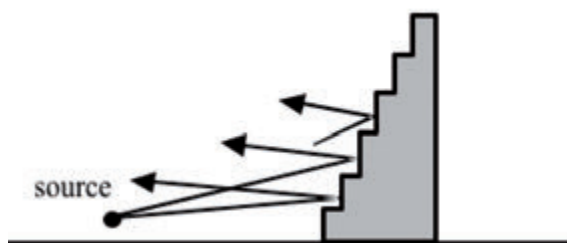


Figure 17 : comportement de l'écran aux hautes fréquences

3.4.2 Directivité de quelques écrans à reliefs

Les diagrammes figurant en annexe 3 présentent l'augmentation de niveau sonore due à l'insertion d'un écran à reliefs composé de matériaux réfléchissants simulée pour des récepteurs situés à 100 m face à l'écran et repérés par leur élévation θ . Pour juger de l'efficacité des différents types de reliefs, il est utile de comparer les diagrammes de ces écrans aux mêmes diagrammes établis pour des écrans droits réfléchissants et absorbants et pour un écran réfléchissant incliné de 5°.

On constate que les écrans de type « sapin de Noël » et de type « zigzag incliné » sont les plus à même de réduire les niveaux sonores pour des récepteurs situés face à l'écran de l'autre côté de la voie routière.

Il faut cependant préciser que ce type de protection n'est pas actuellement modélisable par les logiciels basés sur la recherche de chemins acoustiques entre lignes sources et récepteurs. Leur impact est donc difficile à évaluer lors des études prévisionnelles de bruit. Leur mise en œuvre peut cependant apporter une certaine marge de sécurité au maître d'ouvrage vis-à-vis des obligations réglementaires.

Les couronnements d'écrans 3.5

Pour certaines positions de récepteurs, l'efficacité des écrans acoustiques peut encore être améliorée en agissant sur la diffraction. Cela se traduit par la mise en place, au niveau de l'arête supérieure de l'écran, de « couronnements » aussi appelés « diffracteurs ». La finalité de ces dispositifs est d'augmenter l'efficacité acoustique de la protection sans en augmenter la hauteur totale.

Les formes les plus utilisées sont le Té, le cylindre, le champignon ou le couronnement asymétrique :

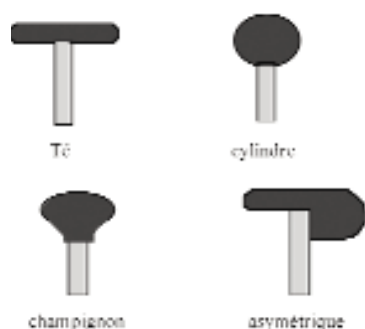


Figure 18 : formes les plus courantes des couronnements

Contrairement à la transmission et à l'absorption, l'efficacité acoustique en diffraction d'un couronnement n'est pas uniquement due au diffracteur mais dépend de différents paramètres.

En effet, l'efficacité globale dépend non seulement de la forme et des dimensions du couronnement ou du matériau le constituant, mais aussi de la hauteur totale de la protection écran avec couronnement, des positions de la source et du récepteur (l'efficacité augmente en fonction du degré de pénétration du récepteur dans la zone d'ombre) et de l'angle sous lequel est vue la source depuis le récepteur (angle de diffraction). Une meilleure efficacité est obtenue pour les angles importants.

De façon générale, l'utilisation de matériaux réfléchissants (béton ou tôle non perforée) est à proscrire car elle conduit à une dégradation de l'efficacité globale de l'écran droit. Ceci est notamment le cas pour les

formes arrondies tels le cylindre et le champignon.

Attention : certaines formes de couronnements à vocation architecturale peuvent dégrader l'efficacité totale du dispositif.

Des informations plus complètes relatives aux principes physiques du fonctionnement des couronnements et à leur efficacité figurent en annexe 4. On y trouvera également des résultats de simulations pour quelques couronnements types.

Les gains obtenus par la mise en place d'un couronnement peuvent atteindre **2 à 3 dB(A)**. Les gains les plus importants sont observés en zone d'ombre à faible distance derrière l'écran et pour des couronnements de taille relativement importante : té absorbant de 70 cm de largeur ou cylindre absorbant de 60 cm de diamètre. À titre de comparaison, l'annexe 4 présente également la différence d'efficacité entre deux écrans de 4,5 et 5 m par rapport à un écran de 4 m. On constate que pour un rehaussement d'écran, le maximum d'efficacité est plutôt observé dans une zone située sous la ligne d'ombre. L'utilisation des couronnements est donc notamment judicieuse pour les écrans implantés le long des voies en remblai ou en viaduc, situation dans laquelle les récepteurs sont généralement situés en forte zone d'ombre. Pour protéger des récepteurs situés à des étages élevés d'immeubles, on privilégiera le rehaussement de l'écran.

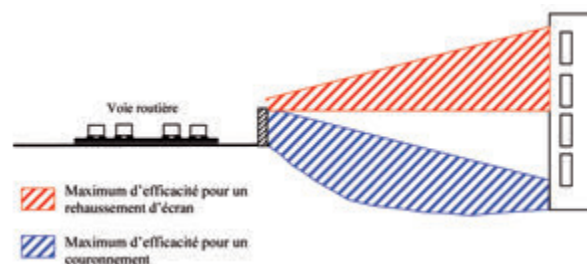


Figure 19 : zone d'efficacité maximale des couronnements et rehaussements d'écran

Des formes de couronnements d'écran plus complexes ont été étudiées mais leur efficacité n'ayant pas été démontrée, elles restent peu utilisées. Parmi elles, le couronnement de type multi-diffracteur semble être prometteur (voir simulations en annexe 4).



Figure 20 : multi-diffracteur

Limites actuelles :

Comme pour les écrans à reliefs, ce type de protection n'est pas modélisable par les logiciels. Leur impact est donc difficile à évaluer lors des études prévisionnelles de bruit. Cependant, leur mise en œuvre peut apporter une certaine marge de sécurité au maître d'ouvrage vis-à-vis des obligations réglementaires.

L'utilisation de formes complexes peut, par contre, apporter une qualité esthétique ou architecturale intéressante aux ouvrages. Attention cependant aux couronnements dont la liaison avec l'arrête supérieure de l'écran n'est pas continue : ce genre de dispositif, parfois utilisé pour des considérations architecturales, a plutôt tendance à dégrader fortement l'efficacité globale des dispositifs.

Attention : ne pas négliger les problèmes de stabilité générale de ce type d'ouvrage.

Les obstacles de faible hauteur 3.6

Par obstacles de faible hauteur, on entend des obstacles acoustiquement opaques placés sur une grande longueur en bordure des infrastructures routières et dont la hauteur totale par rapport à l'altitude du bord de la plate-forme sur laquelle ils sont disposés, ne dépasse pas 1 m. L'obstacle de faible hauteur le plus couramment rencontré le long des routes est la GBA (Glissière en Béton Armé), qui ne doit pas être considérée comme un écran antibruit.

Physiquement, si le récepteur se trouve dans la zone d'ombre de l'obstacle de faible hauteur, seules les hautes fréquences seront atténuées de façon sensible par diffraction. Mais même si l'effet peut être perçu à l'écoute, le gain acoustique global apporté par de tels éléments de petite taille reste **peu important**. Si récepteur et source sont en vue directe, l'effet diffractant est alors globalement faible.

Sur site plan, pour un obstacle long de 80 cm de haut disposé en bord d'autoroute, l'efficacité acoustique

pour un récepteur situé à 1,50 m de hauteur et à une distance de 20 m de l'obstacle est d'environ 4 dB(A). Dans les cas où l'autoroute est en remblai de 4 et 10 m, cette efficacité passe respectivement à 3 et 2 dB(A).

Il est à noter que, dans les configurations routières courantes, les obstacles de faible hauteur sont de par leur géométrie très sensibles aux effets météorologiques, et perdent notamment leur efficacité dans le cas de conditions atmosphériques favorables à la propagation (comme dans le cas d'un écran de grande hauteur situé trop loin à la fois de la route et du récepteur).

Dans certaines situations où il est possible d'ajouter des dispositifs très proches des sources sonores basses (moins de 50 cm de distance), on peut mettre en place un écran acoustique de faible hauteur avec absorbant côté source. Cette solution, qui offre un rôle protecteur sensible de plusieurs dB(A) peut être utilisée par exemple le long des voies de tramway.

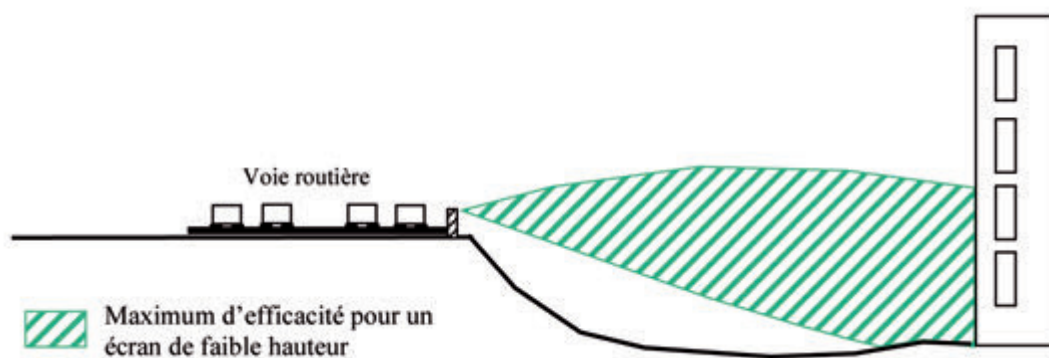


Figure 21 : diagramme d'efficacité potentielle pour une voie routière en remblai

3.7 Les couvertures ajourées

On entend par « couverture ajourée » un dispositif antibruit constitué d'un ensemble de baffles absorbants, verticaux ou inclinés, positionnés au-dessus d'une plate-forme routière, généralement entre deux écrans droits bordant la route ou dans le cas de voies en tranchée. Le réseau de baffles est généralement défini par une succession de plans parallèles selon une, deux ou trois directions principales. Dans le cas

de plusieurs directions principales (la couverture a alors, vue de haut, l'aspect d'un quadrillage rectangulaire ou triangulaire), on parle de « damier phonique ». La figure ci-après indique, pour une autoroute à 2x2 voies, les gains supplémentaires apportés par une couverture ajourée par rapport à la situation de deux écrans droits seuls :

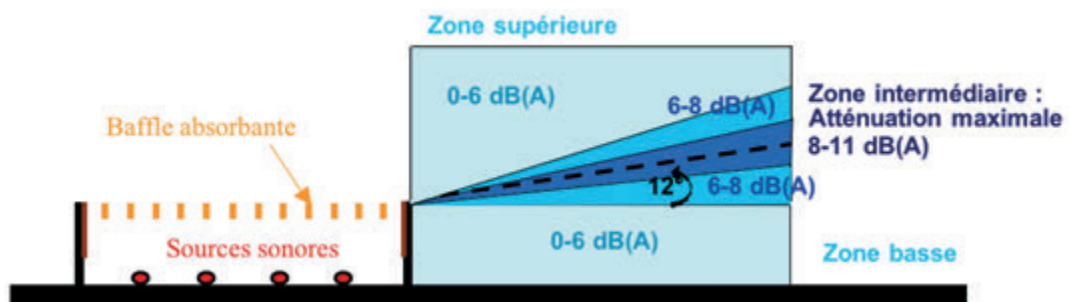


Figure 22 : efficacité d'une couverture ajourée typique à baffles parallèles en fonction de la zone de réception par rapport à la situation sans couverture

Dans la « zone basse » de réception, c'est-à-dire quand la hauteur du récepteur reste inférieure à la hauteur totale de la protection antibruit, l'efficacité de la couverture ajourée par rapport au cas des deux écrans sans couverture, est minimale (inférieure à 6 dB(A)). Ceci est dû au fait que les deux écrans seuls sont déjà très efficaces dans cette zone d'ombre.

Dans une « zone intermédiaire » située autour d'un axe dont l'angle est d'environ 12° par rapport à une horizontale tangente à la partie haute de la protection phonique, l'atténuation de la couverture ajourée est maximale et peut atteindre 11 dB(A), et ce par rapport au cas des deux écrans droits seuls. En effet, dans cette zone, les écrans droits deviennent nettement moins efficaces en diffraction alors que les baffles offrent toujours un gain élevé car un certain nombre de sources et leurs réflexions les plus influentes « traversent » un grand nombre de fois les baffles et sont d'autant plus atténuées. In fine la performance de la couverture est optimale.

Dans la « zone supérieure », où le récepteur est nettement plus haut, un certain nombre de sources et leurs réflexions les plus influentes sont en vue directe (ou quasiment) du récepteur, et les fronts d'ondes les plus énergétiques se propagent jusqu'au récepteur en ne rencontrant que peu de baffles. La performance de la couverture est alors minimale.

Effets météorologiques et écrans acoustiques 3.8

L'efficacité des écrans acoustiques varie sensiblement avec les conditions météorologiques.

Dans le cas de conditions météorologiques **homogènes**¹ et pour un récepteur situé à 50 m du bord de plate-forme et à 1,50 m de hauteur, l'efficacité d'un écran droit de 3 m de hauteur est d'environ 6 dB(A), et de 10 dB(A) pour un écran de 5 m de hauteur. Dans le cas de conditions météorologiques **favorables**² à la propagation du bruit, ces efficacités augmentent d'environ 2 dB(A).

Pour un récepteur situé à 200 m du bord de plate-forme et à 1,50 m de hauteur, l'efficacité d'un écran droit de 3 m de hauteur est d'environ 5 dB(A), et de 8 dB(A) pour un écran de 5 m de hauteur. Dans le cas de conditions météorologiques favorables, ces efficacités augmentent d'environ 5 dB(A).

En terme de bruit reçu, le niveau sonore pour un récepteur à 1,50 m situé à 50 m derrière un écran de 3 m de hauteur augmente d'environ 2 dB(A) dans le cas de conditions favorables par rapport au cas homogène, et de 5 dB(A) pour un récepteur à 200 m.

On peut également noter que lorsque la source ou le récepteur se situent en hauteur, la météo n'a pas d'influence significative sur l'efficacité de l'écran.

Les rayons sonores sont **1** rectilignes, les facteurs thermiques et les effets du vent ne jouent pas sur leur courbure.

Les rayons sonores sont **2** courbés vers le bas.

Q U A T R I È M E C H A P I T R E

Composants, structure et conception des écrans acoustiques

Ce chapitre s'intéresse aux principaux composants et aux modes de conception des différents types d'écrans acoustiques.

4.1 Généralités

Les écrans acoustiques sont caractérisés par :

- leur situation : hors ouvrage ou sur ouvrage ;
- leur coupe transversale : simple ou avec diffracteur ;
- leur position : verticale ou inclinée ;
- leur fonctionnement : réfléchissant, absorbant simple face, absorbant double face ;
- leur composant principal : béton, béton de bois, bois, métal, plastique, briques, etc. ;
- leurs fondations : sur pieux, sur micropieux, sur semelles, etc.

Chacun de ces paramètres est abordé dans la suite du chapitre.

4.1.1 Morphologie des écrans

4.1.1.1 Composition type d'un écran acoustique

D'une manière très schématique, on peut considérer que les écrans sont constitués d'une partie visible, acoustiquement active, et d'une partie enterrée, qui est : leurs fondations.

Afin que leur construction soit la plus économique possible, la partie active des écrans est le plus souvent constituée d'éléments indépendants juxtaposés, facilement transportables, construits en usine.

Au contraire, les fondations sont construites en place, sauf dans le cas un peu particulier où on utilise des semelles en béton préfabriquées.

4.1.1.2 Structure des éléments

Les écrans sont donc en général constitués d'éléments indépendants d'une longueur pouvant aller jusqu'à 5 m.

Dans le cas le plus fréquent, ces éléments sont constitués de poteaux verticaux soutenant des panneaux acoustiques. Après avoir réalisé les fondations de l'écran, on pose successivement les poteaux puis les panneaux acoustiques (voir figure 1).

Il existe cependant des types d'écrans dont les

éléments sont constitués de panneaux autoporteurs, c'est-à-dire pour lesquels il est difficile de distinguer les poteaux et les panneaux. Ces éléments peuvent être des panneaux en béton, de forme circulaire, en U, ou raidis par des nervures (voir figure 2). Il peut aussi s'agir d'éléments métalliques monolithiques intégrant deux poteaux à leurs extrémités.

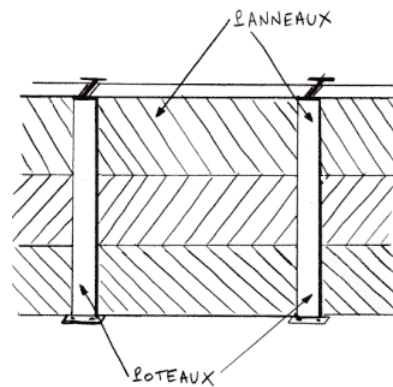


Figure 1 : ensemble poteaux + panneaux

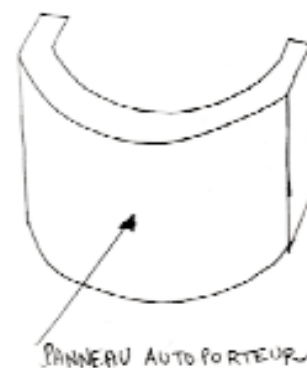


Figure 2 : panneau autoporteur

Dans la suite du présent document, nous décrivons essentiellement les écrans constitués de poteaux et de panneaux, car ces derniers sont les plus répandus. Le lecteur trouvera cependant quelques informations sur les panneaux autoporteurs en béton dans le paragraphe consacré aux panneaux acoustiques en béton.

4.1.2 Principaux composants des écrans

Les écrans acoustiques font appel à de nombreux composants. Certains, tels l'acier ou le béton, sont bien connus des ingénieurs des domaines « routes et ouvrages d'art ». D'autres sont plus spécifiques aux écrans acoustiques.

Voici une présentation succincte de ces derniers.

4.1.2.1 Laines minérales

De nombreux types d'écrans font appel à la laine minérale comme matériau absorbant. Il s'agit d'un matériau fibreux développé depuis longtemps pour l'industrie et le bâtiment. La laine minérale se rencontre sous deux formes : la laine de roche, composée de fibres courtes et raides, et la laine de verre composée de fibres longues et souples. Leurs épaisseur et densité conditionnent le caractère plus ou moins absorbant des écrans : pour la laine de roche, l'épaisseur et la masse volumique généralement rencontrées sont respectivement de 50 mm et de 70 kg/m³ ; 50 mm et 25 kg/m³ pour la laine de verre.

La laine minérale doit être recouverte d'un voile (aussi en laine minérale) anti-défibatoire résistant aux rayons UV, et d'un protecteur mécanique sous la forme d'un claustra.

4.1.2.2 Bétons poreux absorbants

L'emploi de certains matériaux pour la confection du béton, confère à ce dernier des propriétés intéressantes en matière d'absorption acoustique. C'est ainsi qu'ont été proposés, ces dernières années, des écrans en béton de bois, en béton pouzzolane ou en béton et billes d'argile.

Le plus courant des bétons absorbants utilisés dans le domaine des écrans acoustiques est le béton de bois. C'est un matériau récent puisque introduit au début des années 1990. Il est obtenu en intégrant du bois préalablement traité pour neutraliser son caractère hydrophile comme agrégat dans la composition du béton. Il se présente sous forme de panneaux préfabriqués en usine.

4.1.2.3 Bois

Les bois utilisés pour la réalisation d'écrans acoustiques peuvent être des bois exotiques (bangkirai, maçaranduba, bilina, cumaru...) mais on rencontre principalement des écrans en résineux et plus particulièrement en pin français : 80 % des écrans sont réalisés dans des bois résineux ou indigènes. Tous ces bois doivent être issus de préférence de forêts gérées durablement (standard FSC ou PEFC).

Selon le guide Arébois, les bois utilisés pour les écrans routiers doivent présenter une durabilité naturelle ou conférée correspondant à la classe d'emploi 4 selon la norme NF EN 350.

Les bois dont la durabilité naturelle n'est pas suffisante reçoivent un traitement en autoclave, qui consiste à remplacer l'air contenu dans les cellules de bois par des sels organiques et minéraux (cuivre/chrome, bore...) afin d'améliorer la résistance des sciages vis-à-vis du pourrissement et des insectes xylophages. Ce type de traitement est réservé aux bois imprégnables (pin).

Les variations dimensionnelles des sciages, qui sont fonction de l'hygrométrie ambiante, et les phénomènes de déformation (vrillage, tuilage) doivent être limités par les dispositions constructives des fabricants.

Les écrans en bois ne nécessitent aucun traitement de surface ; ils peuvent être teints par des lasures. L'application d'une lasure sur les sciages n'a qu'une fonction esthétique et demande un entretien régulier (tous les 3 à 5 ans en fonction de l'exposition des panneaux aux UV solaires). L'application de la lasure doit se faire sur des sciages secs et, au moins pour la première couche, avant assemblage des panneaux (deux couches au minimum). On privilégiera les lasures acryliques (préservation de l'environnement). Il est à noter que quelques écrans ont été vernis mais leur aspect s'étant très rapidement dégradé, cette technique a vite été abandonnée.

4.1.24 **Plastiques transparents (méthacrylate, polycarbonate, etc.)**

La grande majorité des écrans transparents comporte des panneaux constitués soit de polyméthacrylate de méthyle (souvent aussi appelé PMMA ou méthacrylate), soit plus rarement de polycarbonate car plus onéreux à produire.

D'une épaisseur de 10 à 25 mm, ces panneaux sont soit extrudés dans des filières, soit coulés.

Il existe des qualités de panneaux dont la résistance aux chocs est améliorée par l'inclusion de fils de polyamide noirs ou blancs.

Lorsque des oiseaux sont susceptibles de percuter les écrans, il est possible d'opter pour des panneaux renforcés par des fils de couleur noire, plus visibles que des panneaux standard. Il est également possible de prévoir des motifs sablés représentant des prédateurs.

4.1.25 **Verre feuilleté**

Ces dernières années, quelques écrans en verre feuilleté (Stadip ou équivalent) ont été réalisés, notamment dans le sud de la France. Ce verre est obtenu par assemblage de deux panneaux en verre, en général de 10 mm chacun, avec un film en polyvinyle de butyral (PVB) qui constitue, en cas de bris, une armature retenant les éclats de verre.

Écrans implantés hors ouvrages d'art 4.2

Dans ce chapitre, nous présentons les types d'écrans les plus couramment mis en œuvre en France. Cette présentation débute par la partie non visible des écrans, les fondations, et se poursuit par les parties visibles, poteaux et panneaux.

Il existe de nombreux autres types d'écrans que nous n'évoquerons pas, notamment parce que leur durabilité nous semble insuffisante.

4.2.1 Adaptation au profil de la route

4.2.1.1 Adaptation au tracé en plan

Les écrans sont constitués d'éléments indépendants. Lorsque la route n'est pas rectiligne, l'écran présente en vue de dessus l'allure d'une ligne brisée, les éléments restant plans pour des raisons d'économie. Pour cela, on utilise le jeu entre les différents éléments composant l'écran pour faire tourner légèrement un élément par rapport à celui qui le précède (voir figure 3).

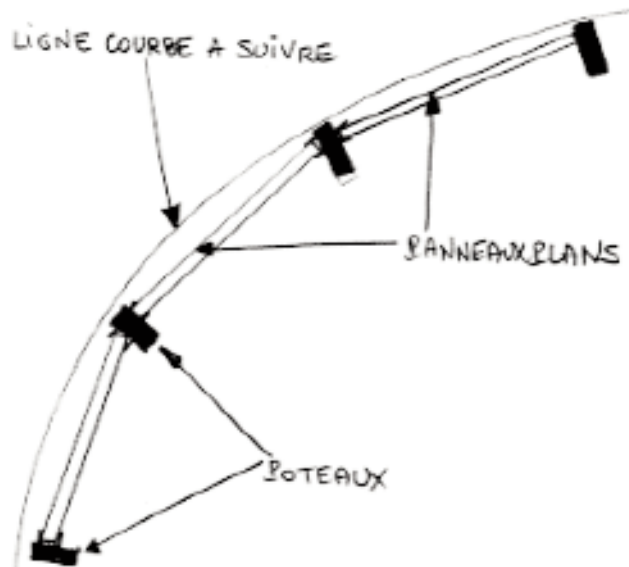


Figure 3 : adaptation au tracé en plan

4.2.1.2 Adaptation au profil en long

Lorsque l'écran est fondé sur un remblai ou sur le terrain naturel, les éléments et notamment les poteaux, sont placés verticalement (voir figure 4). Il en résulte, en haut et en bas de l'écran, des décrochements d'autant plus marqués que le profil en long est pentu. En partie basse de l'écran, ces décrochements sont en général peu visibles. En partie supérieure, ils sont bien visibles mais souvent considérés comme esthétiquement acceptables.

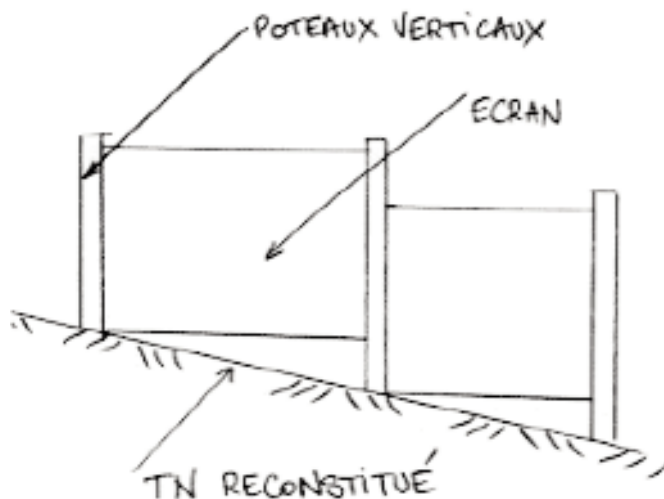


Figure 4 : adaptation au profil en long

4.2.2 Fondations des écrans

Suivant la configuration du terrain, il existe plusieurs types de fondations envisageables pour soutenir un écran acoustique.

4.2.2.1 Pieux forés

Les écrans acoustiques sont souvent fondés sur des pieux forés en béton armé de petit diamètre (de 60 cm à 1 m). Compte tenu de leur faible profondeur, ces derniers sont forés à sec ou à la tarière creuse. Comme sur une pile de pont, les pieux sont coiffés par des plots en béton armé plus larges que les pieux, ce qui permet de placer les poteaux à l'emplacement prévu sur les plans, et ce malgré les tolérances d'exécution des forages (voir figure 5).

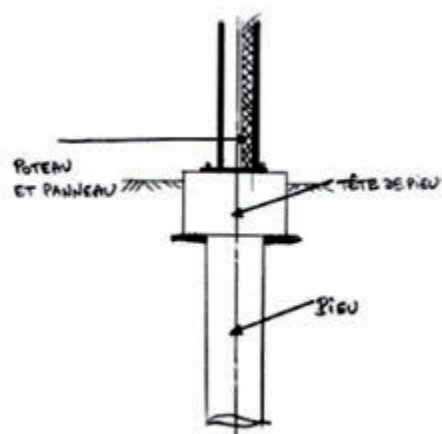


Figure 5 : fondation sur pieux forés

Lorsque la voie à protéger se trouve être en remblai, il convient de s'assurer, avant de lancer la consultation, que le sommet des pieux ne sera pas visible des riverains.

4.2.2.2 Micropieux

Lorsque le projet prévoit de fonder l'écran acoustique profondément mais qu'il est difficile d'accéder sur le site avec un matériel de forage de pieux, il est possible de le fonder sur des micropieux ($\phi < 25$ cm), dont le forage fait appel à des engins plus compacts. Les micropieux - des tubes en acier noyés dans du coulis de ciment - ne reprenant pas des efforts de flexion importants, au moins deux files de micro-

pieux doivent être disposées sous chaque poteau ou sous chaque élément d'écran.

Dans le cas le plus courant, les deux files de micropieux sont inclinées (voir figure 6).

Dans certains cas, il n'est pas possible d'incliner les deux files pour des raisons d'encombrement. Ainsi, sur certains écrans construits en tête de murs de soutènement existants, la file de micropieux située côté mur est verticale pour ne pas entrer en conflit géométrique avec cet ouvrage, la file arrière restant inclinée (voir figure 7).

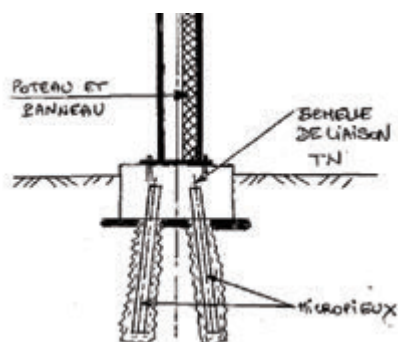


Figure 6 : fondation sur micropieux avec deux files inclinées

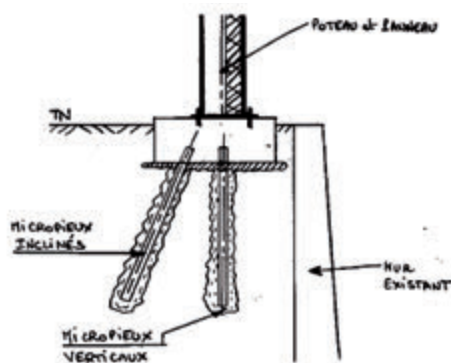


Figure 7 : fondation sur micropieux avec une file verticale et une file inclinée

4.2.2.3 Semelles superficielles ponctuelles ou filantes

Lorsque le sol présente en superficie de bonnes caractéristiques géotechniques, il est possible de fonder l'écran sur des semelles superficielles (voir figure 8). Celles-ci peuvent être de deux types :

- filantes, c'est-à-dire continues, ce qui permet de poser les panneaux sur les semelles ;
- ponctuelles, ce qui oblige à prévoir des longrines de liaisonnement entre les semelles (voir 4.2.2.4).

Dans les deux cas, les semelles doivent être placées

hors gel, un objectif en général atteint lorsque le dessous de la semelle se trouve au moins 80/90 cm sous le dessous de la chaussée ou sous le niveau du terrain naturel.

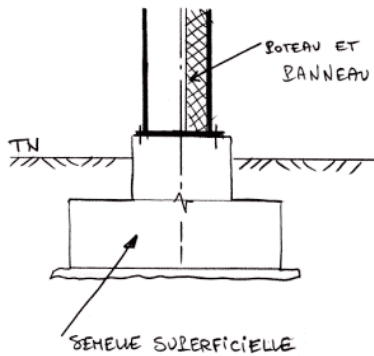


Figure 8 : fondation de type semelle superficielle

Ce type de fondations est utilisé lorsque l'on dispose de l'espace nécessaire le long de la voie à protéger et que des réseaux souterrains ne sont pas implantés au voisinage immédiat de l'écran.

4.2.2.4 Longrines de liaison des fondations

Lorsque l'écran comporte des fondations profondes (pieux ou micropieux) ou des fondations superficielles non continues, il y a lieu de prévoir de petites poutres en béton armé entre chaque élément de fondation. Celles-ci peuvent être liées aux fondations (on parle alors de longrine), ce qui nécessite de prévoir des joints tous les 20 à 25 m ou, au contraire, totalement indépendantes (on parle alors plutôt de soubassement), cette dernière option constituant le cas le plus courant. Ces poutres, de section rectangulaire, remplissent plusieurs fonctions :

- mécanique : elles permettent aux panneaux de reposer au sol sur toute leur longueur, ce qui limite leurs déformations ;
- acoustique : elles empêchent l'onde sonore de passer sous l'écran, ce qui peut arriver en leur absence, quand la terre sous l'écran se tasse.
- pérennité : pour certains types d'écrans comme les écrans en bois, elles évitent que les panneaux soient posés directement sur le sol, limitant ainsi les remontées d'eau néfastes à la durabilité des panneaux.

La largeur de ces poutres est normalement plus petite que celle des têtes de pieux. Ceci est dû au fait que les panneaux posés sur la longrine font entre 10 et 20 cm d'épaisseur alors que les pieux ont un diamètre le plus souvent compris entre 60 cm et 1 m.

En général, cette différence et les décrochements qu'elle engendre, ne posent pas de problème particulier. Toutefois, lorsque la partie supérieure des têtes de pieux et de la longrine ou du soubassement constitue le fil d'eau de la voie à protéger, il est préférable d'aligner le parement des poutres côté route avec celui des têtes de pieux, cette disposition évitant l'accumulation de déchets au droit des pieux.

4.2.2.5 Fondations par scellement direct des poteaux dans le sol

Sur certains projets, les fondations de l'écran sont constituées par le scellement dans le sol d'une surlongueur de poteau, souvent égale à la hauteur apparente de l'écran. Pour ce faire, l'entreprise exécute un forage, descend le poteau dans le forage, puis remplit de béton le vide résiduel (voir figure 9). Malgré plusieurs avantages et, en particulier, celui de ne nécessiter aucun dispositif de liaison entre les fondations et le poteau, cette technique est à déconseiller. En effet, elle ne permet aucun réglage longitudinal, transversal ou altimétrique. Cela peut s'avérer catastrophique dans le cas de linéaires importants pour lesquels les jeux ne peuvent être rattrapés. Elle présente d'autres inconvénients, comme la nécessité de maîtriser parfaitement le positionnement des poteaux avant leur scellement et, si les poteaux sont en acier, de comporter un point triple air-acier-béton pouvant favoriser la corrosion de l'acier du poteau. De même, le remplacement du poteau par exemple suite à un choc de véhicule s'avère plus contraignant du fait de son scellement dans le sol.

Pour le diamètre \emptyset du forage, il est recommandé de retenir $\emptyset = \max(40 \text{ cm}, \text{deux fois la plus grande dimension transversale du profilé à sceller})$.

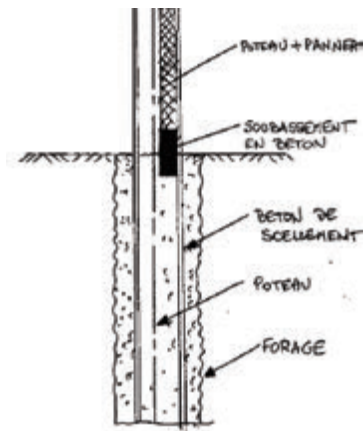


Figure 9 : fondation par scellement du poteau

4.2.2.6 Autres types de fondations

Pour certains écrans de faible hauteur (murs en parpaings, murs en briques, etc.) et pour les écrans végétalisés, le mur peut être directement fondé sur le terrain naturel, par le seul intermédiaire d'un béton de propreté.

Il existe également quelques écrans fondés sur des pieux métalliques battus (pieux H ou palpieux).

4.2.3 Poteaux des écrans

Généralement, la grande majorité des écrans acoustiques comporte des poteaux métalliques. Les autres matériaux employés sont le béton armé et le bois.

4.2.3.1 Poteaux en acier

Sur les projets les plus courants, ces poteaux sont constitués par des profilés du commerce de type T, HEA, IPN ou IPE, en acier galvanisé peint ou en aluminium peint. En général, les panneaux sont plaqués sur la semelle ou sur l'une des semelles des profilés par l'intermédiaire d'un système de calage (voir figure 10). Dans certains projets, et notamment lorsque les écrans sont absorbants, la liaison poteaux/panneaux est conçue pour que les poteaux soient peu visibles du côté de la voie à protéger. Pour ce faire, on peut utiliser soit des poteaux en T, soit des systèmes de fixations particuliers (voir figure 11).

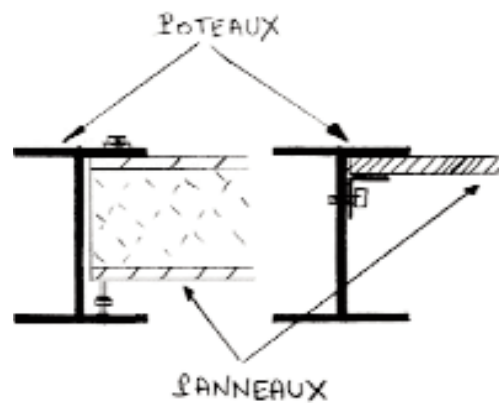


Figure 10 : poteaux en profilés du commerce avec disposition courante du panneau

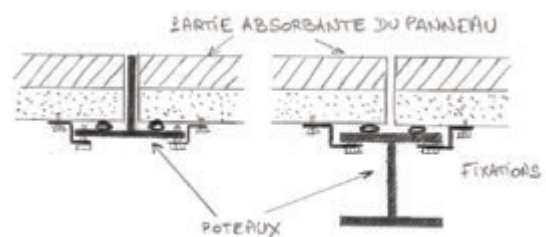


Figure 11 : poteaux avec fixations du panneau visant à masquer le poteau coté route

La figure 12 présente des poteaux un peu plus complexes que les I ou les H, donc un peu plus coûteux, mais qui permettent de mettre les panneaux en place sans avoir à les lever de leur hauteur. Ces poteaux sont constitués de PRS et comprennent des dispositifs (profilés en oméga, cornières) permettant de plaquer les panneaux sur la semelle des PRS.

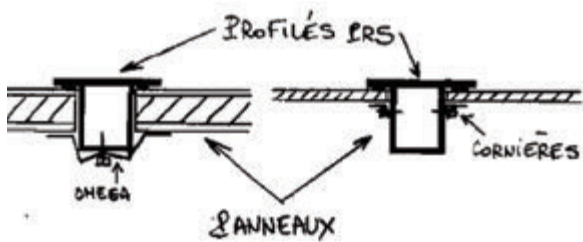


Figure 12 : poteaux permettant la pose et la dépose des panneaux selon un mouvement horizontal

Sur les projets les plus élaborés, les poteaux peuvent prendre des formes encore plus diverses et adopter, par exemple, des sections variables.

Quel que soit le profil retenu, ces poteaux sont équipés à leur base de platines permettant leur fixation sur les fondations de l'écran.

4.2.3.2 Poteaux en béton armé

Quelques écrans comportent des poteaux en béton armé de section rectangulaire ou circulaire. Avec ce type de poteaux, les panneaux peuvent être soit glissés dans des échancrures pratiquées sur les côtés des poteaux, soit tenus par des profilés métalliques vissés dans les poteaux en béton.

4.2.3.3 Poteaux en bois (pour mémoire)

Il est parfois projeté des poteaux en bois, en général en association avec des panneaux en bois. Cette disposition est déconseillée, la durabilité et la résistance à certains efforts locaux de ces éléments - au demeurant porteurs - n'étant pas toujours satisfaisantes.

4.2.4 Panneaux acoustiques

4.2.4.1 Panneaux métalliques

Un certain nombre d'écrans acoustiques comportent des panneaux dits métalliques.

Sur les écrans les plus simples, ces panneaux sont constitués par l'empilement de petits panneaux standardisés, souvent appelés caissons, eux-mêmes constitués par une tôle en acier ou en aluminium peint, pliée en forme de C, un panneau de laine de roche et une tôle ajourée ou une grille placée côté chaussée (voir figure 13). Dans ces panneaux, la tôle épaisse constitue l'écran à proprement parler. La laine de roche permet de donner à l'écran son caractère absorbant. La tôle perforée ou la grille permettent l'absorption de l'onde sonore par la laine de roche tout en protégeant cette dernière des projections d'eau et de l'action mécanique des rouleaux de certains engins de nettoyage.

Dans les écrans plus élaborés, les panneaux acoustiques sont souvent des éléments reprenant les principes définis dans ce qui précède. Toutefois, leurs dimensions peuvent être autres que celles des panneaux standardisés, en général plus grandes. Ils peuvent également être raidis par un cadre intérieur constitué de tubes carrés en acier. Enfin, les tôles peuvent être fixées entre elles ou sur le cadre par des vis ou des rivets, ce qui n'est pas le cas sur les écrans les plus simples (voir figure 14).

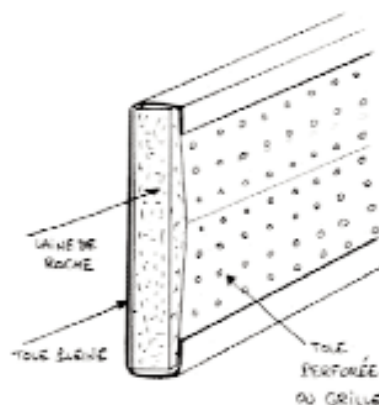


Figure 13 : caisson métallique

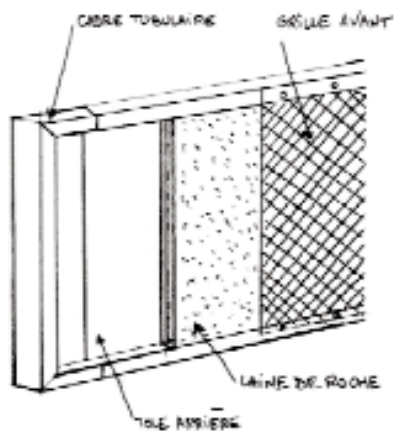


Figure 14 : panneau métallique

Les panneaux métalliques sont utilisés pour la réalisation d'écrans absorbants simple face, cas le plus général, ou absorbants double face. Il existe également quelques écrans métalliques avec deux faces pleines, donc réfléchissants.

4.2.4.2 Panneaux en bois

Les panneaux en bois sont utilisés pour la réalisation d'écrans verticaux, quelquefois inclinés. Ils peuvent être réfléchissants, absorbants simple face ou absorbants double face.

Les panneaux absorbants simple face sont constitués par un cadre intérieur, une face côté route ajourée, une face côté riverains pleine et un ou plusieurs blocs de laine de roche séparés de l'ossature par une lame d'air. Le cadre intérieur est composé de traverses et de montants constitués de tasseaux carrés ou rectangulaires. La face côté riverains est composée de lames de bois profilées parallèles, horizontales, verticales ou inclinées, appelées clins, de 10 à 20 cm de largeur et de 35 à 40 mm d'épaisseur, clouées côte à côte sur le cadre. La face avant dite lattis peut être constituée de sciages de formes diverses, tasseaux, demi-ronds, lames bombées, cloués sur le cadre intérieur, parallèles, espacés de 10 à 15 cm pour conserver une surface absorbante suffisante. Cette dernière est en général constituée de panneaux de laine de roche de 50 mm d'épaisseur (voir figure 15).

Les panneaux réfléchissants sont beaucoup plus simples. Ils sont en général constitués d'une unique paroi identique à la paroi côté riverains que nous avons décrite ci-dessus et d'un cadre constitué de tasseaux.

Le chapitre 7 « Pathologies et dégradations » présente quelques écrans équipés de grilles en lattes de bois tressées. Cette technique est aujourd'hui abandonnée.

La grille avant pouvant laisser passer des rongeurs, les panneaux de laine de roche sont protégés par un treillis le plus souvent en polyamide ou une grille métallique interposée entre eux et la grille en bois.

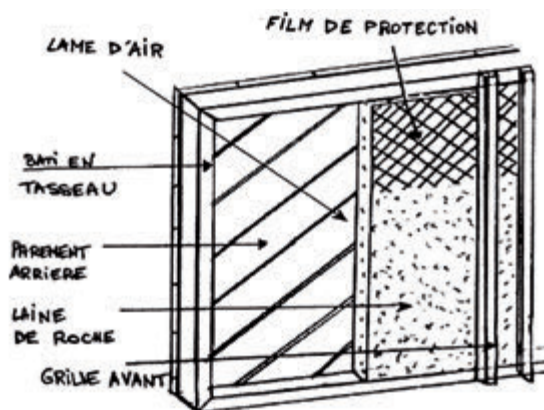


Figure n° 15 : panneau en bois

4.2.4.3 Panneaux en béton absorbant

Les écrans en béton absorbant, essentiellement en béton de bois, constituent une proportion importante des écrans construits ces toutes dernières années. Cela est d'autant plus remarquable que cette technique est n'apparue qu'au début des années 1990.

Ces écrans comportent en général des panneaux acoustiques, composés de panneaux en béton ou en béton armé constituant la structure porteuse, et habillés de panneaux de béton de bois (voir figure 16). Sur les écrans absorbants simple face, le béton de bois se limite à la face regardant la chaussée à traiter et sert de coffrage au panneau en béton. Lorsque les deux faces du panneau doivent être traitées, la face n'ayant pas servi de coffrage doit être habillée de dalles en béton de bois.

Dans la plupart des cas, les panneaux en béton de bois présentent un aspect ondulé qui, en augmentant la surface développée de l'écran, améliore leur caractère absorbant et leur permet d'atteindre les performances d'absorption requises.

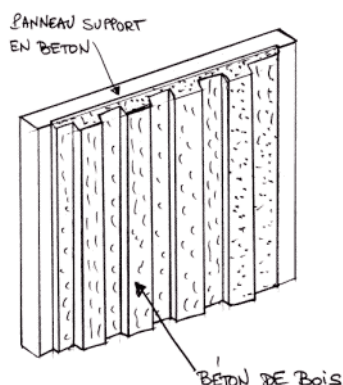


Figure 16 : panneau en béton de bois

4.2.4.4 Panneaux en béton armé

Il est possible de réaliser des écrans dont les panneaux sont entièrement en béton armé.

Dans ce cas, les panneaux sont presque toujours préfabriqués, ce qui est un gage à la fois de qualité et d'esthétique. En effet, la préfabrication permet une exécution s'affranchissant de certaines difficultés (conditions météo, position et épaisseur de la pièce, exigüité du chantier, etc.). Elle donne également accès à des techniques qu'on hésite parfois à utiliser en cas de construction en place : lavage ou sablage du béton, utilisation de granulats spécifiques, bétons colorés, etc.).

Les panneaux présentent généralement une épaisseur d'environ 10 cm et une longueur très légèrement inférieure à l'entraxe des poteaux. Pour des raisons de manutention en usine et sur chantier, leur hauteur est souvent égale à un tiers ou à la moitié de la hauteur totale de l'écran.

Les panneaux en béton sont utilisés pour la réalisation d'écrans uniquement réfléchissants.

4.2.4.5 Panneaux en briques absorbantes

Certains des écrans construits ces dernières années font appel à des briques absorbantes, c'est-à-dire des briques remplies de laine de roche et perforées sur leurs faces absorbantes (voir figure 17).

Lorsque l'écran est de faible hauteur, les panneaux peuvent être obtenus par simple empilement de briques scellées au mortier, comme un mur en parpaings. Lorsque l'écran dépasse 2 m à 2,50 m de hauteur, les panneaux sont constitués de cadres en béton armé dans lesquels sont posées et jointoyées au mortier les briques absorbantes (voir figure 18).

Les panneaux en briques absorbantes sont utilisés pour la réalisation d'écrans absorbants simple face ou absorbants double face.

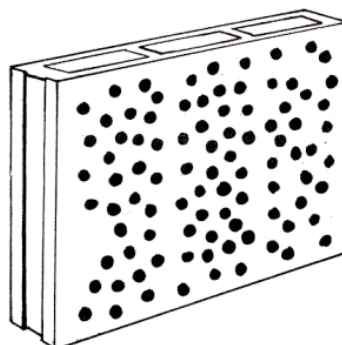


Figure 17 : brique absorbante



Figure 18 : panneau de briques absorbantes

4.2.4.6 Panneaux transparents

Les panneaux transparents, utilisés uniquement pour la réalisation d'écrans réfléchissants, ont connu ces dernières années un certain ralentissement dû à l'importante maintenance qu'ils nécessitent.

Mis à part les panneaux de type « verre feuilleté » (voir paragraphe 4.1.2.5), le verre a presque disparu du fait de sa trop grande vulnérabilité au vandalisme. La plupart des panneaux transparents sont donc aujourd'hui constitués de plaques en polycarbonate ou en méthacrylate.

Certains de ces matériaux, PMMA coulés, peuvent être sciés, percés, cintrés à froid ou pliés à chaud. Généralement, les plaques de plastique sont soit prises dans un cadre métallique périphérique appuyé ou fixé aux poteaux, soit prises en feuillure directement sur l'aile du poteau. Cette disposition consiste à coincer la plaque de plastique entre une des ailes du poteau et deux cornières boulonnées (voir figure 19).

En partie supérieure, les panneaux de plastique peuvent être soit pris dans une lisse supérieure, soit libres. Ce dernier cas est de plus en plus fréquent car plus esthétique ; de plus il est possible de prévoir à leur sommet un pli qui raidit le panneau et limite ses flèches sous l'action du vent. Ces dernières sont souvent déterminantes dans le choix de l'épaisseur de la plaque.

Le polycarbonate et le méthacrylate sont des matériaux qui présentent un coefficient de dilatation bien supérieur à celui de l'acier et du béton. Des mouvements différentiels importants peuvent se produire entre les panneaux et l'ossature métallique. Dans ce contexte, il est nécessaire de prévoir un jeu adapté entre ces deux parties et d'équiper les bords des panneaux de plastique de joints pouvant résister à ces déplacements (voir figure 20). Sur ce dernier point, les meilleurs résultats sont actuellement obtenus avec des joints en U à lèvres en caoutchouc éthylène-propylène-diène (EPDM) ce qui permet d'éviter que le joint ne sorte de la pare-close.

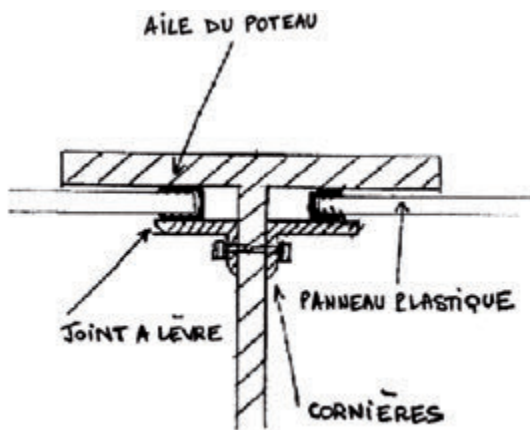


Figure 19 : prise en feuillure

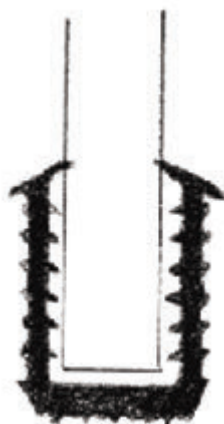


Figure 20 : joint à lèvres en EPDM en U

4.2.4.7 Panneaux associant plusieurs matériaux

De nombreux écrans récents font appel à des panneaux associant plusieurs matériaux. Ainsi, il n'est pas rare de voir des panneaux acoustiques en bois comportant des parties transparentes en polycarbonate ou en méthacrylate. Il existe aussi des écrans transparents comportant des soubassements métalliques opaques permettant par exemple le passage de câbles.

Remarque : séduisants sur le plan esthétique, ces écrans ne vont pas sans poser des problèmes structuraux. Les matériaux n'ayant en effet pas le même coefficient de dilatation thermique, des mouvements différentiels plus ou moins importants ont lieu à chaque cycle thermique, ce qui peut finir par endommager les panneaux.

4.2.4.8 Autres techniques (pour mémoire)

Dans le guide Cetur consacré aux écrans acoustiques édité en 1985, une place importante était faite aux écrans en verre et aux écrans en mousse d'argile. Ces vingt dernières années, l'utilisation d'écrans en verre s'est raréfiée en raison de la très grande vulnérabilité de ce matériau aux actes de vandalisme. Le verre s'est ainsi vu remplacé par le polycarbonate et surtout le méthacrylate (voir 4.2.4.6).

Les écrans en mousse d'argile, dont l'adhérence au support en béton n'était pas suffisante, ont également totalement disparu.

4.2.5 Dispositions relatives à l'étanchéité acoustique des écrans

Les éléments visibles de l'écran acoustique étant presque toujours préfabriqués et les fondations coulées en place, il faut assurer une liaison entre ces deux parties.

4.2.5.1 Liaison entre les fondations et les éléments

Liaison par tiges filetées scellées dans le béton :

Dans la grande majorité des cas, cette liaison est assurée par des tiges en acier galvanisé filetées, scellées en bas dans le béton des fondations et pourvues en haut d'écrous permettant de plaquer le pied du poteau sur les fondations (voir figure 21).

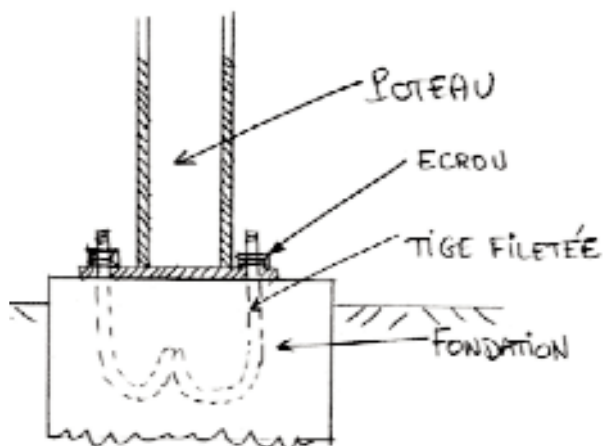


Figure 21 : liaison par tiges filetées

Liaison par tiges filetées fixées dans des rails d'ancrage :

Sur quelques écrans de faible hauteur, cette liaison est assurée par des tiges en acier galvanisé fixées dans des rails d'ancrage noyés dans le béton, rails dont la longueur permet d'ajuster un peu la position longitudinale des tiges. Nous ne recommandons cependant pas cette disposition. En effet, le rail constitue un point d'accumulation des eaux pluviales qui peut à long terme porter préjudice au béton de la partie supérieure de la fondation (voir figure 22).

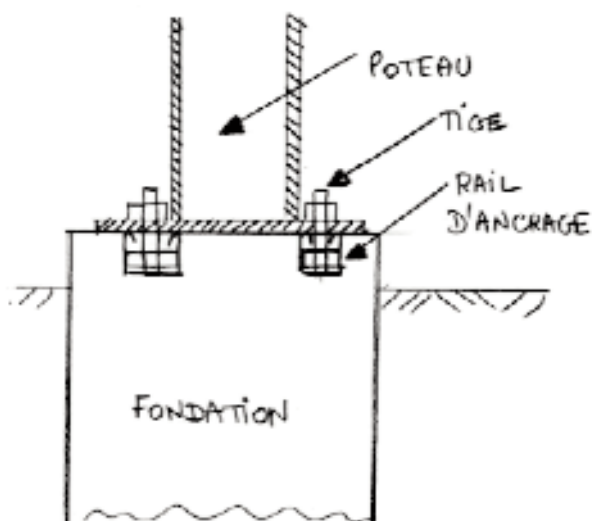


Figure 22 : liaison par rails d'ancrage

Liaison par recouvrement d'armatures de béton armé :

Lorsque les poteaux sont en béton préfabriqué, la liaison est assurée par recouvrement des aciers passifs du pieu ou de la semelle avec les aciers du poteau. La figure 23 illustre ce procédé. Elle présente par ailleurs un élément circulaire préfabriqué servant de coffrage perdu au nœud de liaison (les aciers transversaux ne sont pas représentés sur cette figure).

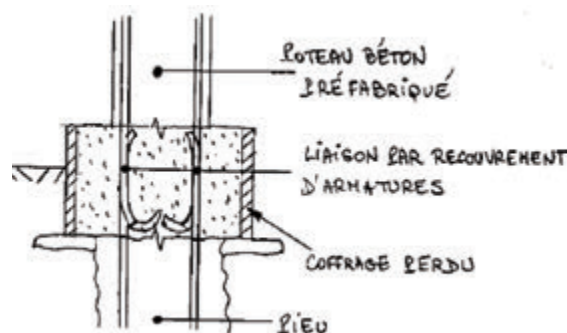


Figure 23 : liaison par recouvrement d'armatures

4.2.5.2 **Liaisons entre les poteaux et les panneaux**

Comme nous avons pu le voir, les écrans sont de véritables « mécano » de pièces juxtaposées. Après avoir traité la liaison bas des panneaux / fondations, il faut s'assurer du bon traitement des discontinuités de l'écran :

- entre ses panneaux et ses poteaux ou entre deux panneaux autoporteurs contigus ;
- entre éléments parallèles d'un même panneau (caissons, planches, plaques en béton, etc.).

Afin que l'écran constitue un véritable obstacle en transmission, il est impératif que ces discontinuités soient aussi étanches que possible.

Entre éléments d'un même panneau, il est possible de travailler la forme des éléments pour qu'ils s'emboîtent les uns dans les autres. Ainsi prévoit-on couramment un système de clins entre deux planches d'un panneau en bois. De même, il est possible de prévoir des recouvrements entre panneaux en béton préfabriqués (voir figure 24). Ces dispositions complexifient un peu les structures mais sont souvent durables.

Entre panneaux et poteaux ou entre panneaux et longrines, il faut le plus souvent se résoudre à mettre en œuvre de vrais joints indépendants (voir figure 25). Comme nous l'indiquons dans la partie de ce guide consacrée à la pathologie des écrans (chapitre 7), ces

joints ont malheureusement tendance à se détacher rapidement de la structure, avec les conséquences acoustiques et esthétiques que l'on devine. Pour éviter ces problèmes, il convient de mettre en œuvre les éléments de l'écran de manière à ce que les joints soient uniformément comprimés par le poids des panneaux (cas d'un joint horizontal) ou par la pression exercée par les écrous de calage (cas d'un joint vertical situé entre un poteau et un panneau). Il convient également de placer ces joints dans des gorges qui limiteront au maximum leurs déplacements transversaux ou d'adapter des joints en U.

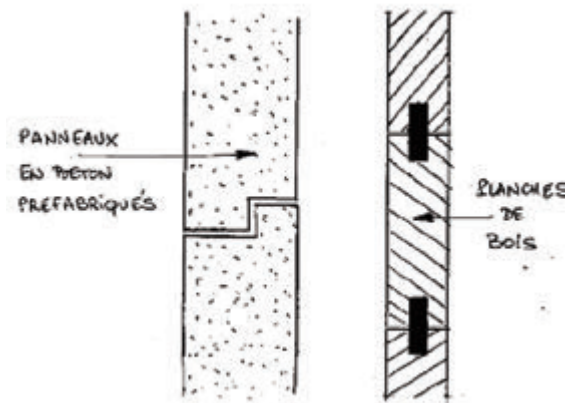


Figure 24 : étanchéité acoustique par imbrication des éléments

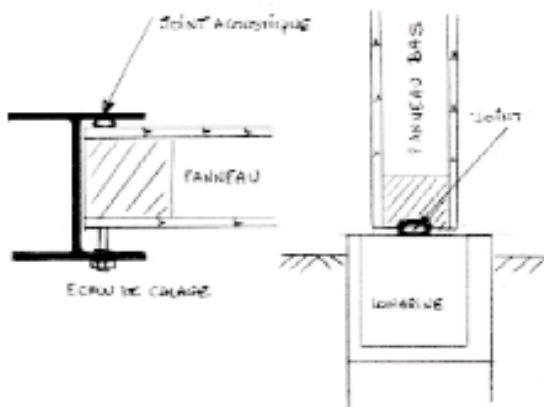


Figure 25 : étanchéité acoustique par joints rapportés

4.2.6 Cas particulier : les écrans végétalisables

Certains écrans dits végétalisables sont constitués par des éléments creux remplis de terre et mis en végétation.

En général, les éléments creux sont des pièces préfabriquées en béton également utilisées pour la réalisation de soutènements (voir figure 26). On trouve cependant aussi des écrans pour lesquels ces éléments sont en acier galvanisé ou en bois.

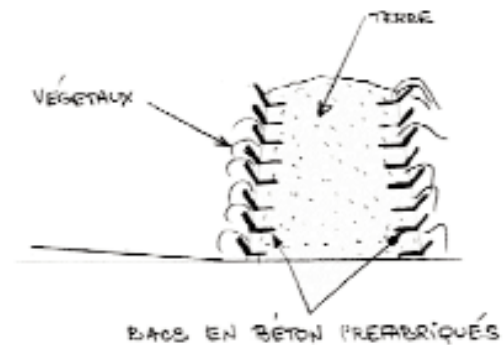


Figure 26 : principe d'un écran végétalisable

Lorsque la végétation se développe normalement, les écrans végétalisés présentent plusieurs avantages : leur aspect est naturel ; ils sont rarement tagués, recouverts d'affiches ou vandalisés.

Comme toute technique, ils présentent également des inconvénients. Ainsi, leur emprise au sol est souvent plus importante que celle d'un écran non végétalisé mais moindre qu'une butte de terre. Par ailleurs, un arrosage régulier de la végétation peut être nécessaire et la maintenance (fauchage et entretien de la végétation) est rendue délicate par la forte pente de l'ouvrage.

Compte tenu de ce dernier point, il est recommandé de n'utiliser ce type d'écran que lorsque le maître d'ouvrage est en mesure d'assurer cet arrosage.

Le choix des plantations doit être fait en concertation avec le paysagiste généralement associé à l'intégration de l'ouvrage dans le site (voir chapitre 8), on installera de préférence des plantes grimpantes (lierre, ampélopsis, vigne vierge...).

Écrans implantés sur ouvrages d'art 4.3

Le présent paragraphe présente les écrans sur ouvrages d'art. La fixation des écrans sur des ouvrages existants non conçus pour les recevoir n'est pas traitée dans le présent guide car elle nécessiterait des développements supplémentaires très importants.

4.3.1 Adaptation au profil de la route

4.3.1.1 Adaptation au tracé en plan

Sur un ouvrage d'art, la réalisation d'un écran acoustique non rectiligne s'effectue comme pour un écran hors ouvrage, c'est-à-dire en tirant parti des jeux entre éléments successifs.

4.3.1.2 Adaptation au profil en long

Sur un ouvrage d'art, pour des raisons constructives, les équipements du tablier ou du mur (corniches, longrines d'ancrage des barrières, barrières) sont exécutés ou posés parallèlement au profil en long de la route et donc du tablier ou du sommet du mur. Dans ces conditions, contrairement aux parties hors ouvrage où ils sont placés horizontalement, les éléments d'écrans sont toujours placés parallèlement au profil en long (voir figure 27).

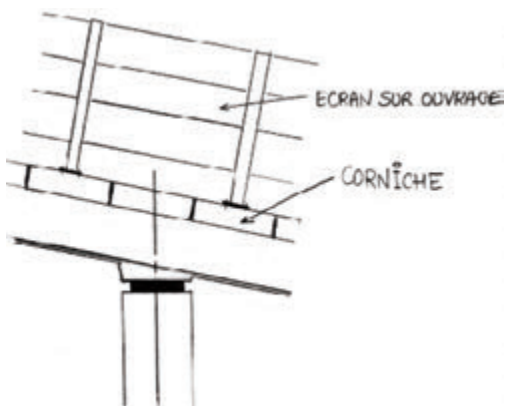


Figure 27 : adaptation au profil au long

4.3.1.3 Localisation des écrans sur l'ouvrage d'art

Les écrans sont des structures légères qui ne résistent en général pas à un choc de véhicules. Il est donc impératif de les placer derrière un dispositif de retenue. Sur un tablier de pont, les écrans sont en général fixés sur les corniches de l'ouvrage ou sur la longrine d'ancrage des barrières de sécurité, avec un recul suffisant pour ne pas être endommagés par un violent choc de véhicule (voir figure 28).

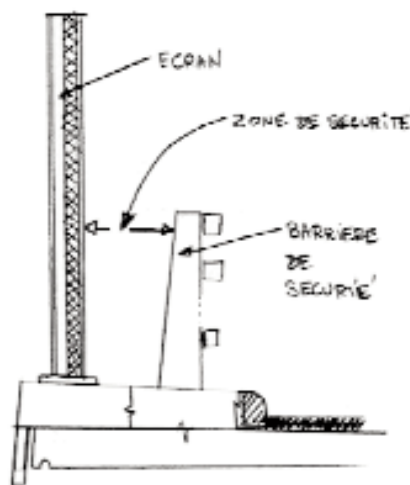


Figure 28 : écran sur corniche béton

Lorsque les corniches de l'ouvrage sont des corniches caniveaux, on évite de placer l'écran entre la barrière de sécurité et le caniveau car celui-ci ne peut plus être inspecté simplement. Si l'écran n'est pas très haut, une solution consiste à fixer l'écran sur la partie extérieure de la corniche caniveau. Si la corniche est en béton, on peut prévoir de fixer les poteaux sur des nervures de corniche (voir figure 29). Si la corniche est en métal, on la remplace par un dispositif conçu sur mesure et assurant à la fois les fonctions de corniche, de caniveau et d'écran acoustique (voir figure 30).

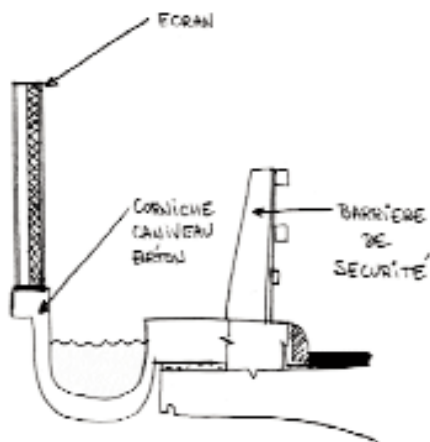


Figure 29 : écran sur corniche caniveau béton

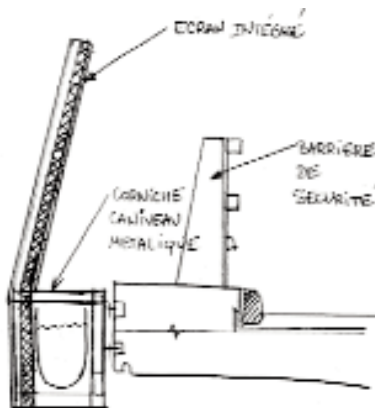


Figure 30 : écran sur corniche caniveau métallique

4.3.2 Principaux types d'écrans utilisés

Lorsque l'écran est implanté sur le terrain naturel ou sur un remblai, il y a en général peu de contraintes de site et tous les types d'écrans sont possibles, y compris les plus lourds.

Les choses sont un peu différentes lorsque les écrans sont fixés à des ouvrages d'art comme des murs de soutènement ou des ponts.

Sur des ponts, pour des raisons d'économie, on privilégie plutôt des écrans légers et de faible emprise au sol. Si le paysage doit rester visible des automobilistes et qu'on est en mesure de les entretenir, on opte en général pour des écrans composés de poteaux en acier et de panneaux en plastique transparent. Si le paysage peut être masqué, on opte plutôt pour des écrans composés de poteaux en acier et de panneaux métalliques.

4.3.3 Fondations / fixations

Sur un ouvrage d'art, les écrans ne disposent pas de fondations spécifiques, l'ouvrage servant de fondation à l'écran. Comme sur les écrans hors ouvrage, il faut cependant assurer une liaison entre la partie supérieure de l'ouvrage, en général en béton armé, et les poteaux de l'écran.

La liaison est constituée comme indiqué au paragraphe 4.2.5 Dispositions relatives à l'étanchéité acoustique des écrans.

La figure 31 ci-dessous montre une disposition qui semble donner satisfaction sur les tabliers de pont. Le poteau est posé sur quatre écrous inférieurs vissés sur les tiges filetées puis, après réglage, fixé par quatre autres écrous supérieurs. Cette opération terminée, on injecte l'espace situé sous la platine du poteau puis on met en place et on serre définitivement quatre contre-écrous destinés à empêcher tout desserrement des écrous supérieurs.

Cette disposition est intéressante pour plusieurs raisons :

- elle facilite le réglage fin des poteaux ;
- elle évite les circulations d'eau sous les platines ;
- elle facilite la mise en œuvre de l'étanchéité de type résine de plus en plus souvent prévue sur les longrines d'ancrage des barrières de sécurité ou sur les corniches en béton ;
- elle limite le risque de desserrement des écrous sous l'effet des vibrations des tabliers.

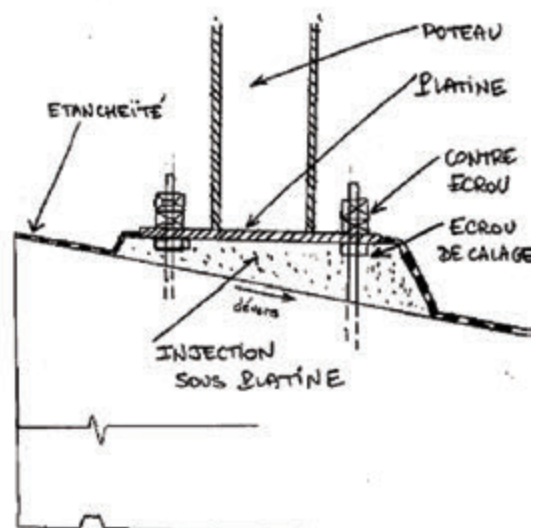


Figure 31 : traitement de la base des poteaux

4.3.4 Dispositions particulières

4.3.4.1 Franchissement des joints de chaussée de pont

Il est très fréquent qu'un écran sur ouvrage doive franchir au moins un des joints de chaussée de cet ouvrage. Afin d'éviter tout dysfonctionnement de l'écran, il est impératif que l'écran comporte lui-même un joint à cet endroit.

De nombreuses pathologies ayant été identifiées dans ce domaine, il est recommandé de prévoir un poteau d'écran de part et d'autre du joint à franchir et de fermer le vide par deux tôles, chacune fixée d'un côté et se recouvrant plus ou moins selon la température extérieure (voir figure 32). Il est possible de placer un joint entre les deux tôles, mais la mauvaise durabilité des joints couramment utilisés dans les écrans laisse penser qu'il vaut mieux ne rien mettre du tout.

Cette solution est très simple, donc économique et durable, et très efficace sur le plan acoustique. Sur un plan esthétique, elle peut amener à interrompre le rythme courant des poteaux et introduit un dispositif qui sera perçu comme un poteau très épais. Ce dernier se situe toutefois à un endroit singulier de l'ouvrage, ce qui en atténue fortement l'impact.

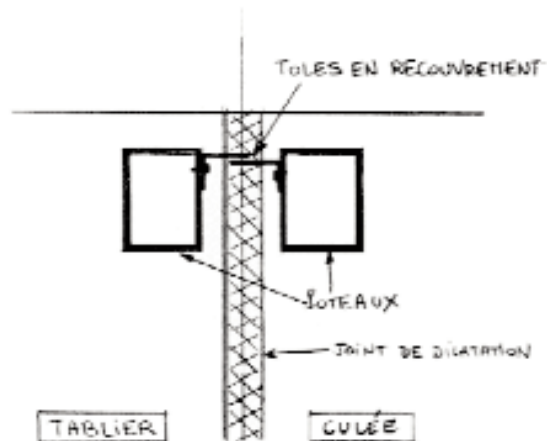


Figure 32 : franchissement d'un joint de chaussée par un écran acoustique

4.3.4.2 Possibilité de chaînage des panneaux

Sur les écrans les plus simples, les panneaux peuvent être simplement glissés entre les semelles des poteaux qui les soutiennent. Cette disposition ne pose en général aucun problème. Toutefois, en cas de défaillance accidentelle d'un poteau (choc d'un véhicule, rupture d'une soudure de platine, écrous desserrés), ces panneaux peuvent ne plus être tenus et tomber au sol. Si on estime que la chute accidentelle au sol d'un panneau ne présente aucun risque, on peut ne pas prendre de dispositions particulières.

Si, au contraire, on estime que cette chute peut provoquer des accidents graves et qu'il n'est pas possible d'opter pour des dispositifs plus bridés, il est parfois possible de mettre en œuvre un chaînage entre les différents panneaux (voir figure 33). Souvent constitué d'un petit câble en acier fixé aux panneaux avec un mou important, ce dispositif permet aux panneaux non endommagés de soutenir celui ou ceux qui menacent de tomber de l'ouvrage.

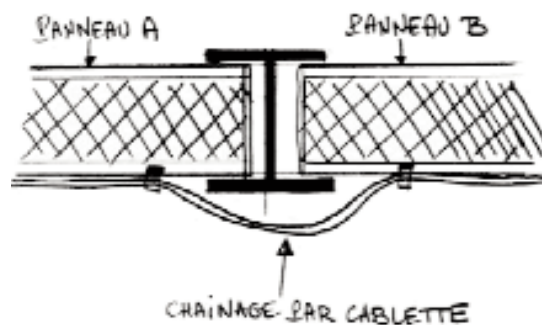


Figure 33 : chaînage par câblette

4.4 Écrans et traitements particuliers

Nous évoquons dans le présent paragraphe des cas un peu particuliers d'écrans ou de mises en œuvre d'écrans acoustiques :

- les écrans fixés sur des murets en béton de même profil que les séparateurs de type GBA ;
- les écrans fixés sur les barrières de sécurité de type BN4 ;
- le traitement d'une paroi en béton par un revêtement absorbant.

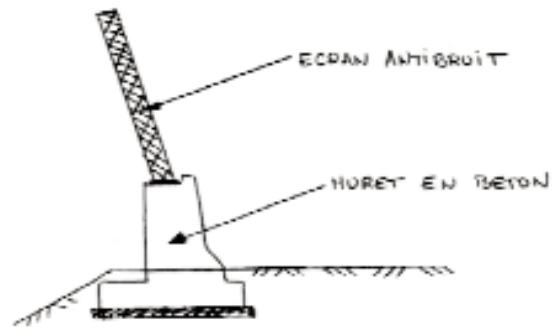


Figure 34 : écran fixé sur muret en béton

4.4.1 Écrans fixés sur murets en béton

Depuis quelques années, des écrans acoustiques ont été conçus dans le but de réduire au maximum la largeur de la plate-forme routière. Cette conception consiste à fixer l'écran au sommet d'un muret en béton armé. Dans sa partie aérienne côté véhicules, l'écran a le même profil qu'un séparateur en béton de type GBA. Cependant, comme on peut le constater sur la figure 34, l'écran risque d'être endommagé par des chocs violents. Il faut donc restreindre cette conception aux voies à faible trafic et aux tronçons sur lesquels la chute d'un panneau d'écran ne présente aucun risque pour les biens et les personnes en contrebas.

4.4.2 Écrans fixés sur barrières de sécurité de type BN4

Il est possible de fixer directement un écran acoustique métallique sur une barrière de sécurité de type BN4 (voir figure 35). Les indications nécessaires sont données au chapitre 4 du guide *Barrières de sécurité pour la retenue des poids lourds / Barrières de niveau H2 ou H3* édité par le Setra en septembre 1999.

Avec cette conception, l'écran risque cependant d'être endommagé par des chocs même peu violents. Il faut donc restreindre son utilisation aux ouvrages où aucune autre solution d'implantation n'est envisageable.

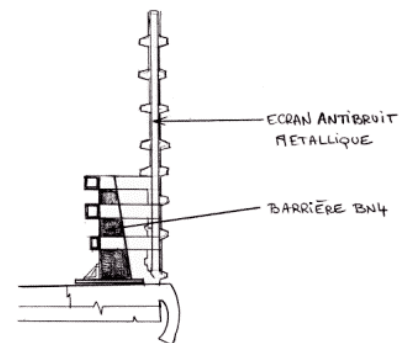


Figure 35 : écran fixé sur barrière de sécurité de type BN4

4.4.3 Traitement d'une paroi en béton par un revêtement absorbant

Certains projets prévoient de rendre absorbantes les parois en béton armé d'un ouvrage (extrémités d'un tunnel ou d'une tranchée couverte, semi-couverture, murs de soutènement).

La paroi à traiter constituant une excellente ossature porteuse, le traitement consiste le plus souvent à y fixer des panneaux absorbants, sans poteaux ni fondations. Si on opte pour un revêtement en béton de bois, celui-ci est livré sous forme de dalles qui sont vissées directement dans les parois en béton. Si on opte au contraire pour un revêtement en laine de roche, celui-ci est mis en œuvre à l'abri de caissons métalliques carrés ou rectangulaires fixés sur une ossature métallique elle-même vissée sur les parois en béton.

Exemples de réalisations 4.5

4.5.1 Écrans



Photo 1 : écran réfléchissant composé de panneaux et de poteaux métalliques (rocade ouest, Lille)



Photo 2 : écran absorbant composé de caissons et de poteaux métalliques (RN 118, Orsay)



Photo 3 : écran absorbant sur ouvrage, avec casquette, composé de caissons et de poteaux métalliques (A86, Drancy)



Photo 4 : écran réfléchissant/absorbant composé de poteaux métalliques, de panneaux de polycarbonate et de briques absorbantes (A3, Bobigny)



Photo 5 : écran réfléchissant/absorbant composé de poteaux en béton, de panneaux de polycarbonate et de panneaux métalliques (A6, Arcueil)



Photo 6 : écran absorbant/réfléchissant composé de poteaux métalliques et de panneaux en bois exotique (A86, Rosny-sous-Bois)



Photo 7 : écran réfléchissant composé de poteaux et de panneaux en pin teinté (prototype à l'essai)



Photo 8 : écran réfléchissant composé de poteaux métalliques et de panneaux en bois exotique avec éléments décoratifs (A10, Palaiseau)



Photo 9 : écran réfléchissant composé de poteaux métalliques, de panneaux bas en bois exotique ou en briques et de panneaux hauts en plastique (Liaison A104/RN2)



Photo 10 : écran réfléchissant composé de poteaux métalliques, de panneaux en bois exotique avec inclusions plastiques et d'un soubassement en briques acoustiques (A86, Rosny-sous-Bois)



Photo 11 : écran absorbant composé de poteaux métalliques, de panneaux en béton de bois et d'un couronnement absorbant (RN 184, Éragny)



Photo 12 : écran absorbant fixé sur un muret en béton et composé de poteaux métalliques et de panneaux en béton de bois



Photo 13 : écran absorbant composé de poteaux métalliques et de panneaux en béton revêtu d'un mélange de résine et de billes de verre (A86, Fresnes)



Photo 14 : écran réfléchissant composé de poteaux et de panneaux préfabriqués en béton (boulevard périphérique de Paris, porte de Châtillon)



Photo 15 : écran réfléchissant composé de panneaux préfabriqués en béton (A1, Le Bourget)



Photo 16 : écran absorbant composé de poteaux métalliques et de panneaux en briques acoustiques bicolores (A86, Rosny-sous-Bois)



Photo 17 : écran absorbant composé de poteaux métalliques et de panneaux en briques acoustiques (A3, Bobigny)



Photo 18 : écran réfléchissant composé de poteaux métalliques et de panneaux en briques pleines (voie de desserte de l'aéroport, Blagnac)



Photo 19 : écran réfléchissant composé de poteaux métalliques et de panneaux en briques pleines avec hublots en polycarbonate (A1, Saint-Denis)



Photo 20 : écran absorbant/réfléchissant composé d'un soubassement végétalisable et de panneaux en bois et en méthacrylate (A1, Saint-Denis)



Photo 21 : écran réfléchissant composé de gabions en bois remplis de grave (Toulouse)

4.5.2 Dispositifs particuliers



Photo 22 : couronnement absorbant en béton de bois



Photo 23 : parement absorbant composé de panneaux de fibre de roche protégés par une grille en métal perforé (A86, Bobigny)



Photo 24 : parement absorbant composé de panneaux de fibre de roche protégés par une grille en métal perforé, mis en œuvre sur des soutènements en béton (A1, Le Blanc Mesnil)



Photo 25 : panneau décoratif en cours de pose au sein d'un écran réfléchissant composé de poteaux métalliques et de panneaux en béton (A8, Aix -3 Sautets)

Remerciements à :

Cécile Maurel (Setra, CTOA) ; Philippe Lebas (Cete NC, DOA)
Michel Boileau (DDE31, BEOA).

Crédits photographiques :

R. Durang, (LREP) ; C. Klein (DDE 93) ; C. Lavigne (Architecte,
Vanves) ; Innocenti (Escota).

C I N Q U I È M E C H A P I T R E

Les normes spécifiques aux écrans acoustiques

5.1 Des pratiques nationales à une normalisation européenne

5.1.1 Recommandations de 1978

Ce fascicule du Cetur préconisait, lors des appels d'offres de construction d'écrans acoustiques, la prise en compte d'un indice minimum d'affaiblissement en transmission de 22 dB(A) pour une efficacité globale de l'écran de 10 dB(A). Pour l'absorption, des valeurs minimales du coefficient α_{sabine} étaient données par bandes d'octave. Ces valeurs, comprises entre 0 et 1, représentent l'absorption mesurée dans un champ diffus. Les mesures de qualification se déroulaient en salles réverbérantes selon les mêmes méthodes que celles utilisées pour les produits du bâtiment. Aucune mesure n'était prévue lors de la réception.



5.1.2 Publication de la norme expérimentale S 31-089 en 1986 et recommandations Cetur en 1987

En 1986, une méthode dite « impulsionnelle », développée par le LCPC a été normalisée, à titre expérimental (S 31-089). Cette méthode, utilisant un pistolet comme source sonore permet de tester in situ les performances intrinsèques (absorption et transmission) des écrans.

Des recommandations techniques ont été publiées par le Cetur en 1987 demandant de prévoir dans les appels d'offres un indice minimum en transmission de 27 ou 30 dB(A). Pour l'absorption, des valeurs minimales de α_{local} par bandes d'octave et globales en dB(A), étaient données. Ces coefficients, compris entre 0 et 1 repré-

sentent l'absorption mesurée dans un champ « libre ». Ces recommandations prévoyaient une mesure de qualification sur un échantillon d'écran ainsi que des mesures de réception en cours et en fin de chantier à l'aide de cette même méthode d'essai S 31-089.

5.1.3 Publication de la norme homologuée NF S 31-089 en 1990 et recommandations Certu en 1997

En 1990, la norme S 31-089 est révisée et homologuée. Le Certu a mis à jour les recommandations techniques en 1997. Les principes énoncés en 1987 sont maintenus : demande d'essai de qualification selon NFS 31-089 lors de la remise des offres et réalisation de mesures in situ, en fin et/ou en cours de chantier selon la même méthode.

5.1.4 La pratique actuelle

Une normalisation européenne, relative aux écrans acoustiques, se met progressivement en place ; l'objectif est d'harmoniser les pratiques européennes dans le domaine des écrans et de faciliter la circulation des produits, notamment par la mise en place d'un marquage CE.

Les différentes normes publiées ou en cours d'élaboration, relatives aux exigences acoustiques et non acoustiques des écrans ainsi que le principe du marquage CE sont présentés ci-après. Lorsque ces normes sont publiées comme normes françaises, leur prise en compte dans les marchés publics s'impose.

En raison de leur procédé d'élaboration, certaines de ces normes ne sont pas spécialement adaptées au contexte français. C'est pourquoi, les états membres du CEN, auxquels s'imposent ces normes, ont la possibilité de ne pas établir de spécifications pour certains des thèmes abordés. Pour plus de détails, on se reportera au chapitre 6 suivant.

Les normes acoustiques 5.2

En 1997 ont été publiées trois parties de la norme NF EN 1793 (Dispositifs de réduction du bruit du trafic routier - Méthode d'essai pour la détermination de la performance acoustique).

NF en 1793	Intitulé de la norme	Statut
Partie 1	Caractéristiques intrinsèques relatives à l'absorption acoustique	Publiée en 1997
Partie 2	Caractéristiques intrinsèques relatives à l'isolation aux bruits aériens	Publiée en 1997
Partie 3	Spectre sonore normalisé de la circulation	Publiée en 1997

Ces textes décrivent les méthodes d'essais en salle réverbérante permettant de qualifier les dispositifs. Dans la suite de la rédaction, nous appellerons « produit » un échantillon d'écran acoustique composé de panneaux, de joints d'assemblage et éventuellement d'un poteau si le dispositif de montage en prévoit.

Afin de se mettre en conformité avec cette nouvelle norme européenne, la norme française NF S 31-089 a été révisée en octobre 2000 limitant son usage à la réception des ouvrages *in situ*.

Nous disposons donc de deux méthodes distinctes, utilisées d'une part, pour la qualification des produits (NF EN 1793) et d'autre part, pour la réception des ouvrages *in situ* (NF S 31-089).

Ces deux méthodes étant physiquement différentes, les résultats obtenus ne sont donc pas directement corrélés. En effet dans le cas de la qualification, les mesures sont réalisées à l'intérieur d'une salle réverbérante avec un champ sonore diffus alors que pour la réception, elles sont réalisées en extérieur.

Ce sont donc deux indicateurs différents qui sont mesurés, tant pour la transmission que pour l'absorption, ce qui explique que les valeurs minimales recommandées au chapitre 7 soient différentes selon le type de mesure : qualification du produit ou réception d'ouvrage.

5.2.1 Qualification acoustique des produits

5.2.1.1 Absorption

La méthode d'essai est décrite dans la norme NF EN 1793 partie 1 (et dans la norme NF EN 20354).

Elle consiste à poser au sol dans une salle d'essai réverbérante normalisée, un échantillon d'écran de 10 à 12 m² comportant au moins un poteau (si le système constructif prévoit des poteaux en montage réel).

Le principe de l'essai consiste à mesurer des durées de réverbération avec et sans l'échantillon d'essai. La durée de réverbération correspond au temps mis par un bruit pour décroître de 60 dB après son interruption. Lorsque l'absorption augmente, après mise en place de l'échantillon, cette durée diminue et on peut en déduire les coefficients d'absorption α_{Sabine} pour les bandes de tiers d'octave comprises entre 100 et 5000 Hz. Partant de ces 18 valeurs, un indicateur global d'absorption DL_{α} est calculé à partir du spectre « bruit routier » normalisé proposé dans la partie 3 de la norme NF EN 1793.

Les produits sont classés selon quatre catégories de performances :

- A0 : non testé ;
- A1 : $DL_{\alpha} < 4$ dB(A) ;
- A2 : $4 \leq DL_{\alpha} < 8$ dB(A) ;
- A3 : $8 \leq DL_{\alpha} < 12$ dB(A) ;
- A4 : $DL_{\alpha} \geq 12$ dB(A).

On peut préciser que cette méthode d'essai ne s'applique que pour les écrans fonctionnant comme des écrans acoustiquement plans. Cette notion reste relativement vague puisque aucune définition précise de cette caractéristique n'est donnée dans le texte de la norme. Toutefois, on peut estimer qu'une bonne partie des produits existants sur le marché entrent dans le champ d'application de la norme. Parmi les produits « exclus », on peut citer la famille des écrans « jardinières ».

5.2.1.2 Transmission

La méthode d'essai est décrite dans la norme NF EN 1793 partie 2 (et dans la norme NF EN ISO 140-3).

Elle consiste à installer dans une cloison séparant deux salles d'essai, un échantillon d'écran d'environ 10 m² comportant au moins un poteau (si le système constructif prévoit des poteaux en montage réel).

Le principe de l'essai consiste à mesurer les niveaux de pression acoustique moyens dans les deux salles d'essai (salles d'émission et de réception) pour en déduire l'indice d'affaiblissement R.

L'essai fournit les valeurs de l'indice d'affaiblissement pour les bandes de tiers d'octave comprises entre 100 et 5000 Hz. Partant de ces 18 valeurs, un indicateur global de l'indice d'affaiblissement DL_R est calculé à partir du spectre « bruit routier » normalisé proposé dans la partie 3 de la norme NF EN 1793.

Les produits sont classés selon trois catégories de performances :

- B0 : non testé ;
- B1 : $DL_R < 15$ dB(A) ;
- B2 : $15 \leq DL_R < 25$ dB(A) ;
- B3 : $DL_R \geq 25$ dB(A).

5.2.2 Réception acoustique des ouvrages

Décrite dans la norme NF S 31-089 d'octobre 2000, la méthode d'essai permet de mesurer les performances en réflexion et en transmission d'écrans installés sur site dont la hauteur atteint au moins 3 m.

Le principe consiste à positionner une source impulsionnelle (pistolet), générant un signal transitoire, à 2 m de l'écran et à installer un microphone devant l'écran et un autre à l'arrière (pour la transmission seulement).

Pour la transmission, la mesure est réalisée pour une seule incidence, normale à l'écran. La mesure de la réflexion est le résultat d'une moyenne réalisée à partir de quatre angles d'incidences (0°, 10°, 20° et 30° par rapport à la normale). Ces mesures sont effectuées dans un plan vertical ou horizontal, en fonction de la géométrie de l'écran.

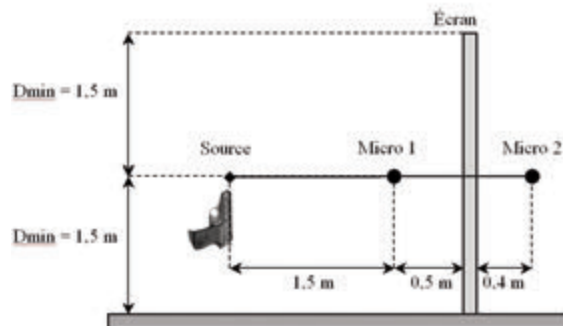


Figure 1 : mesure NF S 31-089 de l'indice de transmission

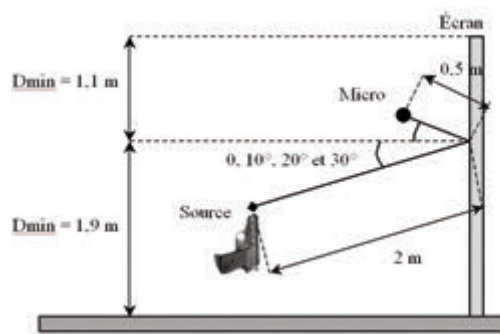


Figure 2 : mesure NF S 31-089 de l'indice de réflexion (plan d'exploration vertical)

En utilisant le caractère transitoire du signal, il est possible d'isoler chacun des signaux à l'aide d'un fenêtrage temporel. La puissance du signal est suffisante pour pouvoir réaliser les mesures sous circulation.

La figure 3 présente l'allure des signaux captés simultanément par les deux microphones.

Le premier schéma ci-après (figure 3) représente le signal devant l'écran où l'on peut notamment identifier et isoler le signal incident direct et le signal réfléchi sur l'écran. Pour le microphone arrière, on peut isoler notamment le signal transmis qui parvient avant le signal diffracté.

À partir de ces signaux, il est possible de calculer la perte d'énergie en réflexion (rapport des signaux réfléchis sur incident du micro avant) et la perte d'énergie en transmission (rapport du signal transmis du micro arrière sur le signal incident du micro avant).

Cette méthode fournit des résultats par bandes de tiers d'octave entre 200 et 5 000 Hz ainsi que des indicateurs globaux : perte locale en réflexion TL_R et perte locale en transmission TL_T . Ceux-ci sont calculés à partir des valeurs par bandes de tiers d'octave entre 200 et 2500 Hz.

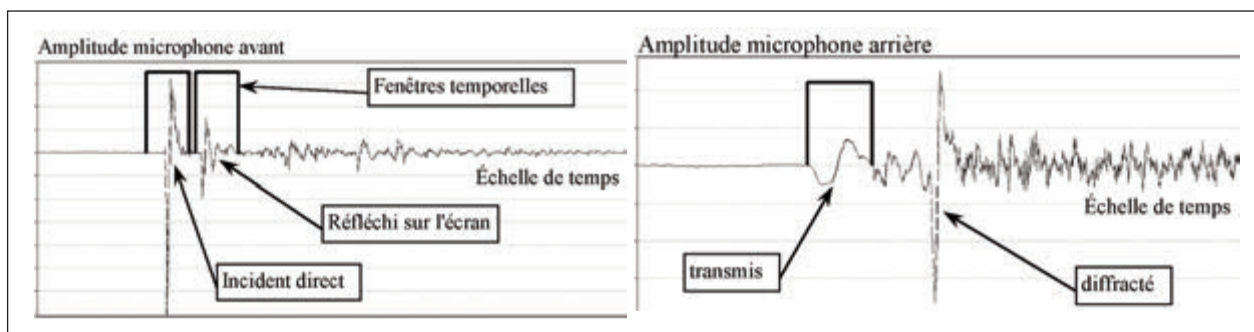


Figure 3 : signature temporelle et fenêtrage des signaux obtenus aux microphones avant et arrière lors d'une mesure réalisée conformément à la norme NF S 31-089

5.2.3 Norme européenne expérimentale de réception in situ

Une norme européenne décrivant une méthode d'essai pour la détermination des caractéristiques intrinsèques de réflexion acoustique et d'isolation aux bruits aériens a été publiée à titre expérimental en mars 2003 : CEN/TS 1793-5.

Elle constitue la partie 5 de la norme EN 1793, dont les trois premières parties publiées sont présentées au paragraphe 5.2.

Cette méthode de mesure in situ permet d'évaluer un indice de réflexion et un indice d'isolation acoustique aussi bien pour des écrans plans que non plans. Elle est basée sur une technique de soustraction des signaux sonores.

Son statut expérimental ne lui confère pas, dans l'immédiat, le statut de norme d'application obligatoire en France. Cependant, si les expérimentations envisagées pour valider ce nouveau protocole s'avèrent satisfaisantes, elle pourrait, à terme, venir remplacer la norme française NF S 31-089.

5.2.4 Norme européenne expérimentale de mesure de la diffraction

Une norme européenne décrivant une méthode d'évaluation in situ de la diffraction des écrans acoustiques a été publiée à titre expérimental en décembre 2003 : CEN/TS 1793-4.

Cette norme européenne en projet constitue la partie 4 de la norme EN 1793 (voir les trois premières parties publiées présentées au paragraphe 5.2).

Une évaluation du gain ou de la dégradation apporté(e) par la mise en place d'un dispositif à

placer sur l'arête supérieure des écrans acoustiques permet d'obtenir une classification objective de ces dispositifs.

5.2.5 Projet de norme européenne d'évaluation de la durabilité acoustique

Cette norme prEN 14389-1 est destinée à évaluer les incidences du vieillissement sur les performances acoustiques des dispositifs. Sa publication est prévue pour 2008.

5.3 Les normes non acoustiques

Les parties 1 et 2 de la norme NF EN 1794 (Dispositif de réduction du bruit du trafic routier - Performances non acoustiques) ont été publiées en 1998 puis révisées en mars 2004.

Par ailleurs, la norme 14389 partie 2 a été publiée en janvier 2005 (Dispositifs de réduction du bruit du trafic routier - Méthodes d'évaluation des performances à long terme - Caractéristiques non acoustiques).

NF en 1794	Dispositifs de réduction du bruit du trafic routier - Performances non acoustiques	Statut
Partie 1	Performances mécaniques et exigences en matière de stabilité	Publiée en 2004
Partie 2	Prescriptions générales pour la sécurité et l'environnement	Publiée en 2004
NF EN 14389	Dispositifs de réduction du bruit du trafic routier - Méthodes d'évaluation des performances à long terme	Statut
Partie 2	Caractéristiques non acoustiques	Publiée en 2005

Les trois paragraphes suivants se limitent à une présentation succincte du contenu de la norme. Ils n'ont pas vocation à servir de recommandations. Ces dernières figurent au chapitre suivant.

5.3.1 Norme NF EN 1794-1

Lorsqu'ils sont installés le long d'une voie routière, les écrans acoustiques sont exposés à différentes charges susceptibles d'entraîner des déformations. Celles-ci ne doivent pas nuire à l'efficacité du dispositif.

La partie 1 de la norme NF EN 1794 présente des méthodes de calcul ou d'essai permettant d'évaluer la conformité des éléments d'un écran acoustique ou d'un parement par rapport à un certain nombre de critères précisés dans les annexes de la norme.

Les points suivants sont abordés :

5.3.1.1 Charge du vent et charge statique (annexe A)

Les hypothèses de calcul de la charge due au vent sont précisées dans la norme. Dans certains cas, il est aussi nécessaire de prendre en compte la pression dynamique, due au passage des véhicules à proximité de l'écran, notamment lorsque les véhicules circulent à vitesse élevée à proximité du dispositif. La charge du vent et la pression dynamique due aux véhicules peuvent être considérées comme n'agissant pas simultanément.

Il s'agit ensuite de calculer les flèches maximales et permanentes pour chaque élément constitutif de l'écran ou du parement, sous l'effet de ces charges. Une pondération est appliquée pour la détermination de la flèche permanente. Des exigences mécaniques sont formulées vis-à-vis de la résistance et du comportement des éléments structuraux, acoustiques et de leurs éléments de fixation. Le cas des éléments autoporteurs et des parements est également traité. Pour les écrans inclinés, il est nécessaire de tenir compte du poids des éléments et de la charge due au poids de la neige comme agissant conjointement avec la charge du vent. Les calculs doivent être conformes aux Eurocodes spécifiques et, en leur absence, faire référence aux Eurocodes existants pour la construction. Ces calculs sont remplacés par des essais de charge lorsqu'il n'existe pas de méthode fiable.

5.3.1.2 Poids propre de l'écran (annexe B)

L'annexe B précise comment déterminer le poids sec, mouillé et mouillé réduit des éléments acoustiques du dispositif. Le type de conception de l'écran et notamment son comportement vis-à-vis de l'évacuation de l'eau de pluie détermine s'il faut utiliser plutôt le poids mouillé ou le poids mouillé réduit pour la vérification de la résistance au poids propre. Des exigences sont définies pour les éléments structuraux, les éléments acoustiques et les dispositifs de fixation. Différents facteurs de charge sont appliqués.

Une vérification de la résistance à la combinaison du poids propre, de la charge du vent et de la pression dynamique due au passage des véhicules est également à réaliser.

Les calculs doivent être conformes aux Eurocodes spécifiques et en leur absence faire référence aux Eurocodes existants pour la construction. Ces calculs sont remplacés par des essais de charge lorsqu'il n'existe pas de méthode fiable.

5.3.13 Impact des pierres (Annexe C)

Cette annexe propose un essai simulant l'impact d'une pierre projetée sur l'écran au passage d'un véhicule. Afin que les caractéristiques acoustiques du dispositif ne soient pas altérées, le type de dommage acceptable est précisé par la norme.

Cet essai est à l'heure actuelle peu mis en œuvre en France.

5.3.14 Sécurité en cas de collision (Annexe D)

Le comportement des dispositifs est à évaluer conformément à la norme NF EN 1317 (parties 1 et 2). Des critères d'acceptation sont définis dans cette annexe.

Seuls sont concernés les écrans qui ne sont pas protégés des impacts de véhicules par des dispositifs appropriés de retenue.

5.3.15 Forces dynamiques dues au déblaiement de la neige (Annexe E)

Cette annexe propose une méthode de vérification de la résistance des dispositifs à une charge due à la projection de neige et de glace lors des opérations de déneigement. La valeur de la charge, les hypothèses de calcul et les exigences mécaniques de résistance sont précisées. Cette vérification peut être réalisée par calcul ou par un essai de charge.

5.3.2 Norme NF EN 1794-2

Les écrans acoustiques ne doivent générer de risques supplémentaires ni pour les usagers de la route ou pour le public pouvant se situer à proximité des ouvrages, ni pour l'environnement en général.

Les textes de cette seconde partie décrivent des méthodes d'essais et spécifient des exigences minimales et des critères permettant de classer les différents dispositifs du point de vue de leur sécurité générale et vis-à-vis de l'environnement.

Ils se répartissent en six catégories, annexées de A à F dans la norme.

5.3.2.1 Résistance au feu de broussailles (annexe A)

Une méthode d'essai simulant un feu de broussailles est proposée, permettant de classer les dispositifs en fonction des dommages subis. Cet essai est à l'heure actuelle peu mis en œuvre en France.

5.3.2.2 Sécurité secondaire : danger des chutes de débris (annexe B)

Cette annexe demande à ce que soit étudié le comportement des éléments de l'écran lorsque ce dernier est soumis à un choc violent (collision d'un véhicule).

5.3.2.3 Protection de l'environnement (annexe C)

Cette annexe de la norme demande de fournir un certain nombre d'informations relatives aux produits constituant le dispositif.

5.3.2.4 Issues de secours en cas d'urgence (annexe D)

Lorsqu'une issue de secours doit être aménagée, la norme apporte des précisions relatives à certaines de ses caractéristiques.

5.3.2.5 Réflexion de la lumière (annexe E)

L'annexe présente une méthode d'essai, basée sur la norme ISO 2813, permettant de déterminer des valeurs de réflexion de la lumière.

5.3.2.6 Transparence (annexe F)

Une méthode de détermination de la transparence pour les personnes habitant derrière l'écran (transparence statique) et de la transparence pour les

usagers de la route (transparence dynamique) est proposée. Le calcul ne prend cependant pas en compte la salissure des éléments transparents.

5.3.3 Norme NF EN 14389-2

Cette norme NF EN 14389-2 est destinée à intégrer les incidences du vieillissement sur les performances non acoustiques des dispositifs.

Il convient non seulement que les dispositifs de réduction du bruit placés le long des routes exercent leur fonction acoustique et satisfassent aux exigences en matière de conception structurale, conformément aux documents appropriés mais encore qu'ils conservent leurs performances pendant la durée de vie requise. Il est nécessaire que les éléments structuraux conservent des coefficients de sécurité minimums acceptables à la fin de leur durée de vie prévue. De même, les éléments acoustiques doivent rester non seulement structurellement efficaces mais aussi conserver leurs performances acoustiques spécifiées.

Il convient que tous les éléments des dispositifs de réduction du bruit résistent à la corrosion et à la fragilisation, qu'ils soient stables dans leurs dimensions et que, d'une manière générale, ils aient une résistance au vieillissement élevée dans des conditions très variées.

Le marquage des dispositifs 5.4

5.4.1 Le marquage CE

Pour les domaines des équipements de la route et en particulier des écrans acoustiques, la mise en place de la normalisation européenne poursuit deux objectifs essentiels :

- faciliter la circulation des produits au sein de l'Europe en harmonisant les pratiques, notamment au niveau des méthodes d'essais permettant d'évaluer les performances des produits ;
- répondre aux exigences de la directive produits de construction (DPC) 89/106/CEE du 21 décembre 1988, en indiquant les performances minimales auxquelles doivent satisfaire les produits, afin de respecter les exigences essentielles demandées par la directive. Les écrans acoustiques font partie de ces produits de construction.

Le marquage CE s'effectue conformément à la norme NF EN 14388 dite norme « **spécifications** » publiée fin 2005. Cette dernière s'appuie sur un ensemble de normes dites « **supports** », dont notamment les normes EN 1793, 1794 et 14389-2 présentées aux paragraphes précédents. Une partie de ces normes supports est encore en cours d'élaboration : il s'agit de la partie 1 de la norme 14389 relative à la durabilité acoustique des écrans.

La norme NF EN 14388 prévoit que soient marqués les écrans acoustiques, les parements, les couvertures de chaussée, les éléments structuraux et les éléments acoustiques. Les caractéristiques à certifier diffèrent en fonction de ces types de produits. De plus, si dans un état membre donné de l'Union européenne, certaines caractéristiques mentionnées dans la norme « **spécifications** » ne sont pas réglementées, il est possible d'utiliser l'option « Aucune Performance Déterminée » (APD) dans les informations accompagnant le marquage CE pour cette caractéristique.

Le tableau suivant présente un exemple de fiche d'information accompagnant le marquage CE pour un élément acoustique pouvant être utilisé dans la construction d'un écran. Le dispositif de montage est notamment précisé (type de poteau et instructions d'assemblage).

 01234 AnyCo Ltd, PO Box 21, B-1050 03		<p><i>Marquage de conformité CE, utilisant le symbole "CE" donné dans la Directive 93/68/EEC.</i></p> <p><i>Numéro d'identification du laboratoire d'essai</i></p>
EN 14388:2004 Écran antibruit pour la réduction du bruit du trafic routier : Type AnyNoise, élément acoustique type F longueur 4 m, poteau type P, dessins Aq1 320, 12 mai 2000 et 1322, 1326, 17 mai 2000		<p><i>Nom ou marque identifiée et adresse enregistrée du fabricant</i></p> <p><i>les deux derniers chiffres de l'année au cours de laquelle le marquage est apposé</i></p>
Poids propre d'un élément acoustique mouillé et mouillé réduit :		<p><i>No. de la Norme européenne</i></p>
Poids mouillé	0.70 kN	<p><i>Description du produit et information sur les caractéristiques réglementées</i></p>
Poids mouillé réduit	0.92 kN	
Résistance aux charges :		
Charge verticale maximum qu'un élément peut supporter : 150 kN/m		
Charge perpendiculaire (90°) qu'un élément acoustique peut supporter (due à la charge du vent et à la charge statique) : 1,2 kN/m ²		
Charge perpendiculaire (90°) qu'un élément structural peut supporter (due à la charge du vent, à la charge statique et au poids propre) :		
Hauteur d'écran 3 m	5,2 kN/m	
Hauteur d'écran 4 m	4,4 kN/m	
Moment de flexion au niveau du sol qu'un élément structural peut supporter (du au déblaiement de la neige) : 15 kNm		
Charge perpendiculaire (90°) qu'un élément acoustique peut supporter (due au déblaiement de la neige) : 14 kN / 2 m x 2 m		
Absorption acoustique: DL _s	11 dB	
Isolation acoustique aux bruits aériens : DL _p		27 dB
Réflexion de la lumière :		APD
Danger des chutes de débris :		class 3
Durabilité prévue des caractéristiques acoustiques		
Modifications de l'indice de réflexion acoustique DL _{r1} après (5, 10, 15, and 20 ans) :		
En classes d'exposition typiques-3, -5, -5, -6 dB		
En condition climatique-4K3 -3, -5, -6, -8 dB		
Modifications de l'indice d'isolation acoustique aux bruits aériens index DL _{s1} après (5, 10, 15, and 20 ans):		

Figure 4 : exemple d'informations fournies par le marquage CE pour les dispositifs de réduction du bruit
 Source : Annexe ZA.3, NF EN 14388

Les caractéristiques demandées dans l'annexe ZA de la norme NF EN 14388 doivent être déclarées par les fabricants au titre du marquage CE. Cette autodéclaration (système de déclaration dit de niveau 3) sera basée sur des essais « de type » réalisés par des laboratoires notifiés et sur des contrôles de la production en usine par le fabricant.

L'arrêté du 24 avril 2006 applique le décret n°92-647 du 8 juillet 1992 aux dispositifs antibruit routiers. Un avis du 16 mai 2006 précise quels sont les quatre organismes notifiés par la France. Il s'agit du Cerib, du CSTB, du FCBA (ex. CTBA) et du CTMNC (ex. CTTB). Cet avis rappelle aux fabricants et importateurs d'écrans acoustiques qu'après le 1^{er} mai 2007 ils ne pourront plus mettre sur le marché des produits non marqués CE. Néanmoins, les produits non marqués déjà mis sur le marché avant cette date pourront être commercialisés jusqu'au 1^{er} mai 2009.

5.4.2 La procédure ATE

Dans certains cas, un produit peut ne pas avoir la possibilité d'obtenir un marquage CE par la procédure classique. C'est le cas, par exemple des produits hors champ d'application des normes ou innovants. La procédure de l'agrément technique européen (ATE) permet, dans ce cas, de délivrer des marquages CE sur la base d'un dossier technique spécifique au produit. Ces dossiers sont examinés par des organismes mandatés par chaque état membre.

S I X I È M E C H A P I T R E

Recommandations pour la rédaction d'un CCTP d'écran acoustique

6.1 Efficacité acoustique des produits et des ouvrages

Les recommandations suivantes concernent donc les écrans acoustiques « classiques » pouvant être qualifiés et réceptionnés par les normes en vigueur. Sont donc a priori exclus les écrans complexes, les couvertures, les semi-couvertures, les damiers, les buttes et les parements. Toutefois, le présent chapitre fournit quelques indications en ce qui concerne les exigences vis-à-vis d'écrans non plans et les performances acoustiques des parements et des couvertures.

Ces indications visent à garantir une qualité minimale.

6.1.1 Les spécifications relatives aux produits et matériaux

Pour les produits et matériaux, les spécifications acoustiques portent sur les caractéristiques intrinsèques de l'écran. Elles font référence à la norme NF EN 1793, partie 2 pour les écrans réfléchissants ou parties 1 et 2 pour les écrans absorbants. Cette qualification des produits et matériaux est à la charge de l'entreprise.

Lorsqu'un dispositif comporte plusieurs matériaux (cas des parois multiples, des caissons perforés remplis de matériaux absorbants...), c'est bien l'ensemble du dispositif qui doit être testé.

6.1.1.1 Spécifications relatives à l'isolation acoustique

L'indice unique d'évaluation de l'isolation aux bruits aériens DL_R , tel que défini dans la norme NF EN 1793-2, devra appartenir à la catégorie d'isolation **B3**. Il sera assorti d'une exigence minimale sur la performance en isolation en fonction du type de protection à réaliser :

	Indice minimal d'évaluation de l'isolation DL_R en dB(A)	Catégorie d'isolation
Écran	$DL_R \geq 25$ dB(A)	B3
Couverture partielle	$DL_R \geq 30$ dB(A)	B3 avec $DL_R \geq 30$ dB(A)
Couverture totale	$DL_R \geq 40$ dB(A)	B3 avec $DL_R \geq 40$ dB(A)

À l'appui de son offre, l'entreprise devra fournir un rapport d'essai rédigé conformément à la norme NF EN 1793-2. Les produits mis en œuvre devront être conformes à la description figurant dans ce rapport d'essai.

Dans le cas des couvertures totales, la valeur minimale de 40 dB(A) peut être modulée en fonction du traitement acoustique intérieur. Dans ce cas, la valeur minimale doit être fournie par le bureau d'études acoustiques et justifiée par une note de calcul.

6.1.1.2 Spécifications relatives à l'absorption acoustique (pour un écran absorbant)

Cas des écrans acoustiquement plans :

En fonction de la nature de l'ouvrage à réaliser et en l'absence de prescriptions dans l'étude acoustique, l'indice unique d'évaluation de l'absorption DL_{α} , tel que défini dans la norme NF EN 1793-1, sera choisi parmi les valeurs du tableau ci-dessous. Il correspondra à l'une des catégories d'isolation indiquées.

	Indice minimal d'évaluation de l'absorption DL_{α} en dB(A)	Catégorie de performance en absorption
Écran ou paroi simple présentant des réflexions vers des zones non protégées	$DL_{\alpha} \geq 4$ dB(A)	A2, A3 ou A4
Écrans parallèles, mur de trémie, tranchée...	$DL_{\alpha} \geq 8$ dB(A)	A3 ou A4
Tunnel, couverture	$DL_{\alpha} \geq 12$ dB(A) (ou $DL_{\alpha} \geq 8$ dB(A) si justification particulière*)	A4 (ou A3 si justification particulière*)

* Dans le cas des tunnels et couvertures, on retiendra en général une catégorie A4 ($DL_{\alpha} \geq 12$ dB(A)). Une exigence limitée à la catégorie A3 et $DL_{\alpha} \geq 8$ dB(A) devra être expressément justifiée par une note de calcul du bureau d'études acoustiques ayant dimensionné l'ouvrage.

À l'appui de son offre, l'entreprise devra fournir un rapport d'essai rédigé conformément à la norme NF EN 1793-1. Les produits mis en œuvre devront être conformes à la description figurant dans ce rapport d'essai.

Par ailleurs, des prescriptions complémentaires portant sur les coefficients d'absorption en fonction de la fréquence peuvent être retenues. Elles doivent être réservées à des situations complexes (altération du spectre initial du bruit routier suite à réflexions ou diffractions par exemple) et être justifiées par le bureau d'études en examinant, par le calcul, les effets de cette altération sur les composantes en basses fréquences des niveaux de bruit aux points récepteurs à protéger.

Cas des écrans non plans :

Les écrans acoustiques non plans étant hors domaine d'application de la norme NF EN 1793-1, l'indice unique d'évaluation de l'absorption acoustique DL_{α} n'est pas vérifiable. L'entreprise devra fournir au maître d'ouvrage un avis d'expert attestant des caractéristiques en absorption vis-à-vis du bruit routier des produits utilisés.

La norme NF EN 1793-1 n'apporte cependant pas de définition d'un écran plan. Certains dispositifs apparaissent manifestement non plans : c'est le cas des murs alvéolaires, des murs végétalisables, ou plus généralement de la plupart des systèmes issus des techniques de soutènement. Ils ne peuvent pas être testés et évalués selon la norme NF EN 1793-1.

6.1.2 Les spécifications relatives à l'ouvrage

Pour l'ouvrage à réaliser, les spécifications acoustiques portent sur les caractéristiques de l'écran, considéré comme un ensemble composite formé de la structure porteuse, des panneaux et des joints. Elles font référence à la norme NF S 31-089 tant en ce qui concerne les écrans réfléchissants que les écrans absorbants.

6.1.2.1 Cas des écrans acoustiquement plans

Perte locale minimale en transmission in situ :

La valeur minimale de la perte locale d'énergie en transmission TL_T telle que définie dans la norme NF S 31-089 est à sélectionner dans le tableau ci-dessous en fonction du type de dispositif à réaliser :

	Perte locale minimale d'énergie en transmission TL_T en dB(A) « route »
Écran	$TL_T \geq 27$ dB(A)
Couverture partielle	$TL_T \geq 30$ dB(A)
Couverture totale	$TL_T \geq 40$ dB(A)

Perte locale minimale en réflexion in situ (pour un écran absorbant) :

La valeur minimale de la perte locale d'énergie en réflexion TL_R telle que définie dans la norme NF S 31-089 est à sélectionner dans le tableau ci-dessous en fonction du type de dispositif à réaliser :

	Perte locale minimale d'énergie en réflexion TL_R en dB(A) « route »
Écran ou paroi simple présentant des réflexions vers des zones non protégées	$TL_R \geq 3$ dB(A)
Écrans parallèles, mur de trémie, tranchée	$TL_R \geq 5$ dB(A)
Tunnel, couverture	$TL_R \geq 9$ dB(A) (ou $TL_R \geq 5$ dB(A) selon les configurations*)

* Dans le cas des couvertures totales, la valeur minimale de 9 dB(A) peut être modulée en fonction du traitement acoustique intérieur. Dans ce cas, elle doit être fournie par le bureau d'études qui a réalisé l'étude acoustique et dimensionné l'ouvrage.

Des essais de réception de l'ouvrage selon la norme NF S 31-089 sont généralement prévus par et à la charge du maître d'ouvrage. Si les essais s'avèrent négatifs, ils sont à la charge de l'entrepreneur. Cette réception s'effectue en fin de chantier. Le maître d'ouvrage a également la possibilité de diligenter tout autre essai qu'il juge nécessaire en cours de réalisation. Par exemple, pour des montants de travaux importants, on peut prévoir un essai en début de chantier avec un écran témoin.

6.1.2.2 Cas des écrans non plans

Si l'écran demandé n'entre pas dans le champ d'application de la norme NFS 31-089, l'entreprise devra fournir au maître d'ouvrage un avis d'expert attestant des caractéristiques en transmission et en réflexion vis-à-vis du bruit routier de l'ouvrage proposé.

La norme NF S 31-089 n'apporte pas de définition précise d'un écran non plan. À partir des produits existants sur le marché, l'annexe E de cette norme considère que les dispositifs équipés de jardinières ne peuvent faire l'objet d'un procès-verbal selon la norme. Il en va de même des murs alvéolaires, des murs végétalisables, ou plus généralement de la plupart des systèmes issus des techniques de soutènement. L'attention du maître d'ouvrage est attirée sur le fait qu'un tel dispositif ne peut être réceptionné selon la norme en vigueur. Aucune exigence en transmission ou en réflexion ne peut donc être formulée à son égard en faisant référence à la norme.

Performances mécaniques et exigences en matière de stabilité (NF EN 1794-1) 6.2

À côté des caractéristiques acoustiques minimales, l'écran doit présenter des performances mécaniques et de stabilité mais également garantir la sécurité des usagers et la protection de l'environnement. Pour ces domaines, il est nécessaire de faire référence à la norme NF EN 1794.

6.2.1 Exigences mécaniques vis-à-vis de la charge aérodynamique

Les dispositifs utilisés devront être conformes aux exigences de l'annexe A de la norme NF EN 1794-1, rappelées ci-dessous.

L'entreprise devra fournir une note de calcul conforme aux Eurocodes ou aux règles de calcul en vigueur.

En dehors du domaine d'application de ces règles de calcul, il est possible de réaliser des essais permettant de vérifier la résistance des éléments dans leurs conditions d'utilisation. Les conditions de réalisation des essais sont précisées dans l'annexe de la norme.

Notations utilisées :

- W : charge du vent ;
- N : charge due à la neige ;
- PP : charge due au poids propre ;
- D_{hmax1} : déflexion maximale horizontale ;
- D_{hmax2} : déflexion maximale horizontale permanente (après effort) ;
- D_{vmax} : déflexion maximale verticale ;
- L_S : longueur d'un élément structural en mm ;
- L_A : longueur des éléments acoustiques en mm ;
- h : hauteur des éléments acoustiques en mm ;
- S : facteur de charge

		Charge	Exigences
Éléments structuraux	Écrans verticaux	W	$D_{hmax1} < L_S/150$
		1,5 * W	$D_{hmax2} < L_S/500$ (i), (ii)
	Écrans inclinés	W + N + PP	$D_{hmax1} < L_S/150$ et $D_{vmax} < L_S/300$
		1,5 * (W + N + PP)	$D_{hmax2} < L_S/500$ et $D_{vmax} < L_S/300$ (i), (ii)
Éléments acoustiques	Écrans verticaux	W	$D_{hmax1} < 50 \text{ mm}$ pour L_A et h
		1,5 * W	$D_{hmax2} < \min(L_A/500, h/500)$ (i), (ii), (iii)
	Écrans inclinés	W + N + PP	$D_{hmax1} < 50 \text{ mm}$ pour L_A et h
		1,5 * (W + N + PP)	$D_{hmax2} < \min(L_A/500, h/500)$ et $D_{vmax} < \min(L_A/200, h/200)$ (i), (ii), (iii)

(i) : l'élément ne doit pas montrer de signes de défaillance (flambage, déplacements permanents, fissures importantes).

(ii) : l'élément ne doit pas se détacher de ses supports ou fixations.

(iii) : les flèches des éléments structuraux ne doivent pas provoquer un déplacement permanent d'éléments acoustiques.

Éléments autoporteurs		- Les éléments non soutenus par une structure doivent remplir les exigences relatives aux éléments acoustiques définis dans le tableau page 81. - Les éléments porteurs doivent remplir les exigences relatives aux éléments structuraux et aux éléments acoustiques définis dans le tableau page 81.
Éléments de fixation	Écrans verticaux	Pas de signes de défaillance lorsqu'ils sont dimensionnés pour les charges à supporter pondérées par un facteur de charge $S=1,5$.
	Écrans inclinés	Mêmes exigences que pour les écrans verticaux mais avec un facteur de charge $S=1,75$. La charge due à la neige et au poids propre doit être prise en compte.
Parement	À l'air libre	Mêmes exigences que pour les éléments structuraux et acoustiques définis dans le tableau page 81 mais en prenant également en compte la pression dynamique due au passage des véhicules.
	Protégé du vent	Mêmes exigences que pour les éléments structuraux et acoustiques définis dans le tableau page 81 mais en prenant en compte uniquement la pression dynamique due au passage des véhicules.

6.2.2 Exigences mécaniques vis-à-vis du poids propre

Les dispositifs utilisés devront être conformes aux exigences de l'annexe B de la norme NF EN 1794-1, rappelées ci-dessous.

L'entreprise devra fournir une note de calcul conforme aux Eurocodes ou aux règles de calcul en vigueur.

En dehors du domaine d'application de ces règles de calcul, il est possible de réaliser des essais permettant de vérifier la résistance des éléments dans leurs conditions d'utilisation. Les conditions de réalisation des essais sont précisées dans l'annexe de la norme.

Les exigences suivantes sont à vérifier en utilisant le poids mouillé réduit ou le poids mouillé si des éléments peuvent absorber de l'eau. La définition de ces deux entités est donnée à l'annexe B de la norme NF EN 1794-1.

Notations utilisées :

- h : hauteur d'un élément acoustique en mm ;
- L : longueur d'un élément acoustique en mm.

Exigences mécaniques :

Les éléments structuraux doivent supporter le poids des éléments acoustiques avec un facteur de charge de 1,5.

Chaque élément acoustique doit supporter son poids propre et celui des éléments qui sont admis à reposer dessus en vérifiant les conditions suivantes :

- déflexion horizontale inférieure à $h/50$;
- déflexion verticale inférieure à $L/400$.

Ces mêmes conditions sont à vérifier pour les éléments acoustiques soumis à la charge due à la combinaison du poids propre pondéré par un facteur de charge $S = 1,35$ et de la charge de vent pondérée par un facteur de charge $S = 1,5$. La charge du vent sera calculée conformément à l'annexe A de la norme.

Les dispositifs de fixation doivent supporter le poids propre des éléments qu'ils soutiennent, pondéré par un facteur de charge $S = 1,85$.

6.2.3 Impact de pierres

L'écran acoustique doit résister à l'impact de pierres projetées et ne subir que des dommages superficiels n'altérant pas ses caractéristiques acoustiques. L'annexe C de la norme NF EN 1794-1 propose un essai qui simule ces impacts. Cet essai étant, à l'heure actuelle, peu mis en œuvre, le maître d'ouvrage pourra se contenter d'une simple note sur l'estimation du dégât d'impact de pierres sur l'écran s'il juge le risque important.

par la norme lorsqu'on se situe en dehors du domaine d'application des règles de calcul.

6.2.4 Sécurité en cas de collision de véhicules

Les exigences suivantes ne s'appliquent qu'aux dispositifs assurant en plus de leur fonction acoustique une fonction de retenue des véhicules. En complément des recommandations spécifiques aux écrans acoustiques, la performance en matière de sécurité de ces dispositifs devra être évaluée conformément aux normes relatives aux dispositifs de retenue (EN 1317-1 et EN 1317-2).

6.2.5 Charge dynamique due au déblaiement de la neige

L'écran acoustique doit résister à la surcharge liée aux projections de neige et de glace au cours des opérations de déneigement.

La prise en compte du risque dû au déblaiement de la neige ne se justifie que dans les régions où le déneigement constitue une opération d'entretien fréquente en hiver et lorsque la distance entre la zone de déneigement et l'écran est inférieure à 7 m. Si le maître d'ouvrage juge le risque de dégradations important, il demandera à l'entreprise de justifier la résistance de l'écran à la charge dynamique due au déblaiement de la neige.

L'annexe E de la norme 1794-1 fournit les hypothèses de calcul ainsi que les exigences à respecter. Sous la charge dynamique due au déblaiement de la neige, les éléments constitutifs de l'écran ne doivent subir aucune détérioration qui pourrait nuire au dispositif (fissures importantes, flambage, déformations permanentes, etc.). Un essai de charge est également proposé

6.3 Autres recommandations, sécurité générale et considérations environnementales (NF EN 1794-2)

6.3.1 Résistance aux feux de broussailles

L'essai proposé par l'annexe A de la norme NF EN 1794-2 est peu réalisé en France et des prescriptions relatives à cette annexe de la norme ne sont pas demandées.

6.3.2 Danger des chutes de débris

Si l'écran n'est pas suffisamment isolé de la voie de circulation par un dispositif de retenue approprié, le maître d'ouvrage demandera une estimation du comportement des éléments de l'écran en cas de chocs violents. Il s'agira d'être particulièrement attentif aux composants susceptibles de se briser en éclats. En cas d'écrans sur ouvrage, en remblai ou alors accessibles au public côté riverains, on pourra limiter les risques de chutes de débris par la mise en œuvre d'un dispositif approprié (filet, câble) ou par un dimensionnement des éléments de fixation prenant en compte le poids propre mouillé des éléments, pondéré par un facteur de charge de 4. L'annexe B3 de la norme décrit une méthode d'essai permettant de déterminer les caractéristiques de chutes de débris résultant d'impacts d'énergie fixe.

6.3.3 Protection de l'environnement

L'entreprise devra fournir :

- la liste de tous les matériaux constituant l'écran, notamment ceux formés de matières synthétiques (composés organiques). Les désignations sont de préférence de type chimique plutôt que commercial ;
- les conditions physiques ou chimiques susceptibles de libérer dans l'atmosphère des constituants potentiellement toxiques ;
- la liste des matériaux constituant l'écran issus d'un précédent recyclage ou susceptibles d'être dans l'avenir recyclés.

6.3.4 Issues de secours en cas d'urgence

Lorsque le maître d'ouvrage juge utile d'intégrer des issues de secours au dispositif, elles doivent respecter les prescriptions suivantes :

- hauteur minimale : 2,1 m ;
- largeur minimale : 0,9 m ;
- après aménagement d'une issue, l'efficacité acoustique de l'écran doit être maintenue ;
- les portes sont équipées d'un mécanisme de fermeture automatique conçu pour fonctionner avec un entretien minimal dans des conditions climatiques défavorables ;
- les portes s'ouvrent du côté opposé au trafic et sont munies de loquets et de verrous anti-panique. L'ouverture est possible du côté riverains à l'aide d'une clé ou d'un outil spécial ;
- l'emplacement des issues de secours est signalé par des panneaux.

Sont à inclure dans les prescriptions à respecter lors de l'intégration d'issues de secours dans un dispositif d'écrans, celles concernant l'accessibilité des personnes à mobilité réduite (PMR), décrites dans l'arrêté du 31 août 1999, vu le décret n°99-756 (elles ne s'appliquent qu'en agglomération ou pour les postes d'appel d'urgence hors agglomération) :

- pente inférieure à 5% si franchissement d'une dénivellation ;
- palier de repos horizontal d'une longueur minimale d'1,40 m ;
- bateaux d'une largeur minimale de 1,20 m, revêtement de sol différencié pour les non-voyants ;
- cheminement d'une largeur d'1,40 m.

Dans l'hypothèse où un poste d'appel d'urgence devrait être implanté, des modifications importantes s'imposent pour l'aménagement : largeur de BAU (3,30 m pour le stationnement en sécurité), passage pour atteindre la porte (libre d'obstacle et sans ressaut par rapport à la glissière).

6.3.5 Réflexion de la lumière

Cet aspect est à prendre en compte pour les écrans composés de matériaux susceptibles de réfléchir la lumière (soleil ou dispositifs d'éclairage des véhicules) et d'entraîner des risques d'éblouissement notamment en courbe.

Le maître d'ouvrage pourra demander pour information, conformément à la norme NF EN 1794-2 annexe E, des valeurs de réflexion mesurées selon la norme ISO 2813.

6.3.6 Transparence

Aucune exigence spécifique relative à cette annexe F de la norme n'est demandée.



ANNEXES

Annexe 1 : Protection acoustique par butte de terre.

Annexe 2 : Enjeu de l'ajout d'absorbant sur les écrans pour quelques configurations de sites.

Annexe 3 : Diagrammes de directivité de quelques écrans à reliefs comparés à un écran droit réfléchissant ou absorbant, et un écran incliné.

Annexe 4 : Efficacité des couronnements d'écrans.

Annexe 5 : Le marché français des écrans : répartition en volume et en type de matériaux. Coûts moyens de réalisation observés.

1 Protection acoustique par butte de terre

A.1.1 Efficacité acoustique

En première approche, une butte acoustique (ou merlon) se comporte de la même manière qu'un écran. Elle constitue un obstacle à la propagation du son et son efficacité dépend de ses caractéristiques géométriques (longueur, hauteur, pente), de sa position par rapport à la route, des récepteurs à protéger et du caractère plus ou moins absorbant de ses côtés.

À efficacité identique, une butte doit être légèrement plus haute qu'un écran. En effet, en raison de son encombrement, l'arête de diffraction (son sommet) est plus éloignée des sources routières. Le schéma ci-dessous illustre ce propos.

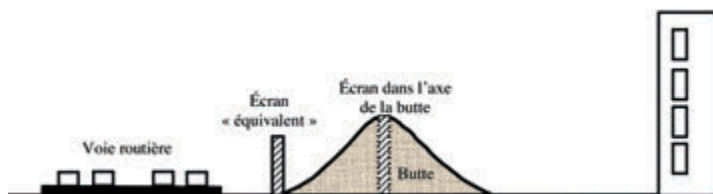


Figure 1 : équivalence écran / butte de terre

Concernant l'efficacité acoustique d'une butte vis-à-vis d'un écran positionné dans son axe, deux phénomènes physiques ayant des effets contraires se produisent :

- d'une part, du fait de sa forme arrondie, la butte de terre constitue un obstacle plus facilement « franchi » par les ondes sonores, ce qui en réduit l'efficacité par rapport à un écran droit ;
- d'autre part, le caractère absorbant de ses côtés augmente l'atténuation des ondes sonores proches du sol. Ce caractère absorbant peut notablement être amélioré en végétalisant la butte de terre. La végétation, mais surtout l'aération du sol engendrée par ses racines, améliorent l'efficacité de la butte.

Du fait de son épaisseur, une butte présente toujours un affaiblissement en transmission satisfaisant. De plus, quel que soit le matériau utilisé,

l'angle d'inclinaison du talus évite les réflexions acoustiques gênantes. Certains dispositifs raidisseurs (notamment en pied de talus) peuvent cependant se révéler préjudiciables en terme de réflexions vers des habitations situées de l'autre côté de la voie routière.

A.1.2 Mise en œuvre

Le profil en travers d'une butte acoustique qui influence sur son emprise dépend d'une part des matériaux utilisés, d'autre part de l'intégration paysagère recherchée.

La pente maximale admissible est fonction des caractéristiques géotechniques des matériaux constituant la butte. Le dimensionnement technique de base suppose généralement la mise en œuvre de talus à 3/2 (3 = horizontal pour 2 = vertical). Pour des talus plus raides, il est indispensable de s'appuyer sur une étude géotechnique spécifique. L'utilisation d'ouvrages de soutènement (terre armée, raidisseurs, fibres...) peut être un moyen d'obtenir des pentes de talus plus raides.

Un arasement en crête est nécessaire sur les dispositifs importants pour permettre le passage des engins chargés de l'entretien. Il permet également un compactage optimal sur toute la hauteur de la butte (voir profils types ci-après).

La végétalisation du dispositif nécessite la mise en place d'une couche de terre végétale adaptée aux essences (épaisseur minimale de 20 cm pour un simple engazonnement, devant être portée à 50 cm pour une végétation arbustive).

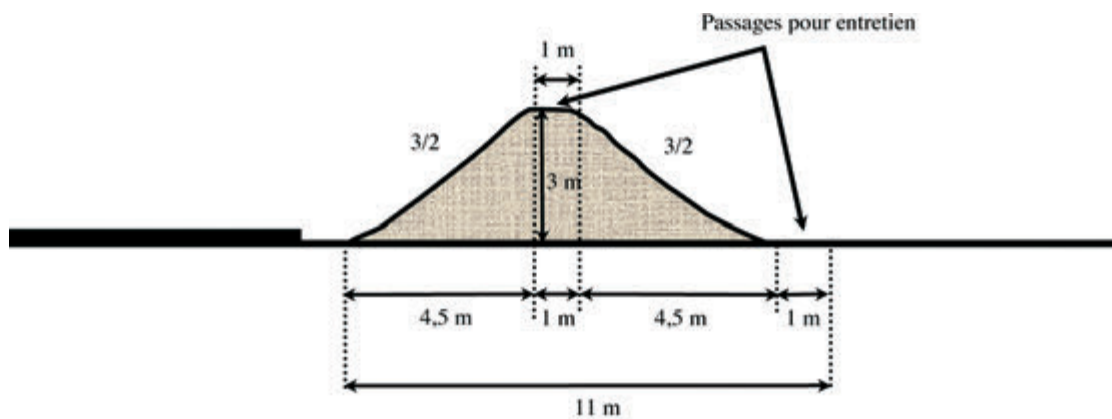


Figure 2 : une butte de 3 m de hauteur avec des pentes de 3/2 nécessite au moins 11 m d'emprise

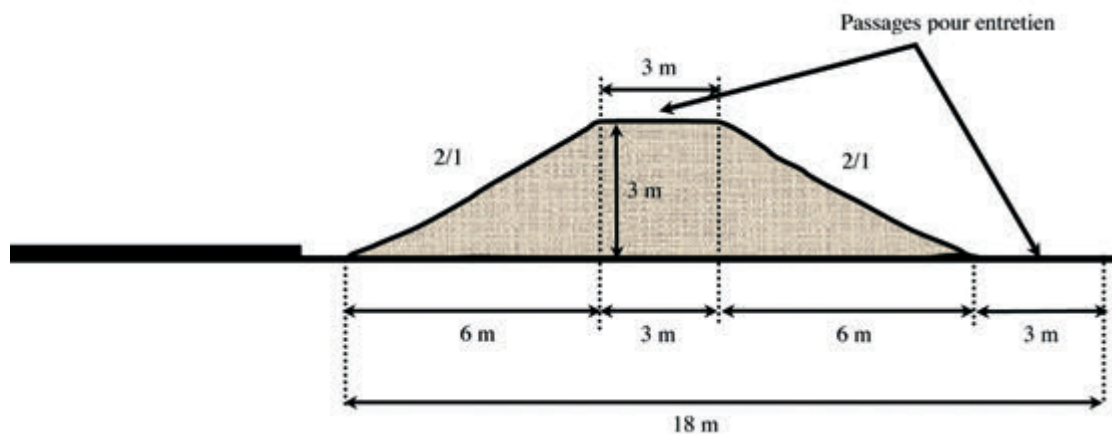


Figure 3 : une butte de 3 m de hauteur avec des pentes de 2/1 nécessite au moins 18 m d'emprise

Les bras télescopiques qui équipent la plupart des tondeuses ou débroussaillieuses ne dépassent pas 6 m de portée. Au-delà, l'entretien doit s'effectuer depuis le haut de la butte, d'où la nécessité d'adapter la largeur du chemin de service en sommet d'ouvrage et d'y prévoir un accès.

La butte est composée d'éléments meubles susceptibles de se tasser. De leur mise en œuvre dépend la hauteur du dispositif et donc son efficacité. Le compactage doit être la règle ; lorsque les matériaux ou les dimensions ne permettent pas de réaliser un compactage durable, on aura recours à des techniques compensatoires consistant à surélever la butte (en moyenne de +10 à +15% de la hauteur requise).

Sur ces deux premiers aspects de la mise en œuvre, l'intervention d'un géotechnicien permet de garantir la stabilité et les dimensions de l'ouvrage.

Remarque : il est possible d'utiliser des matériaux de récupération et notamment les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM). La valorisa-

tion de ces déchets est encouragée par la circulaire du ministère de l'Environnement n° 94-IV-1 du 9 mai 1994. Pour éviter toute pollution, leur utilisation doit intervenir en dehors des périmètres de protection proches des captages d'eau potable, des zones potentiellement inondables et à une distance minimale de 30 m de tout cours d'eau. Leur mise en œuvre doit se faire dans des conditions contrôlées portant notamment sur une connaissance des caractéristiques géotechniques et chimiques des matériaux utilisés, une limitation de hauteur, un compactage, un recouvrement des flancs par de la terre végétale (voir note Setra n°103 *Utilisation des mâchefers* - août 1997).

A.1.3 Intégration paysagère

Comme pour les écrans, l'intégration paysagère d'une butte acoustique doit se concevoir non seulement côté voirie mais également côté riverains. Son

caractère naturel constitue l'avantage le plus fréquemment mis en avant.

Côté voie, un talus engazonné et partiellement planté, notamment en partie haute pour réduire les sujétions d'entretien, simule un simple déblai et peut faire oublier l'ouvrage de protection.

Il est toutefois conseillé de ne pas trop adoucir cette pente pour ne pas trop éloigner l'arête de la source routière.



Photo 1 : déviation de Bourg-lès-Valence (DDE26)



Photo 2 : autoroute A43 L'Isle-d'Abeau (AREA)



Photo 3 : déviation de Valence (DDE26)



Photo 4 : déviation de Valence (DDE26)

Côté riverains, en fonction des emprises disponibles, certaines latitudes existent. Le modelage peut être beaucoup plus doux avec des plantations plus importantes. La clôture, si elle est nécessaire, peut être noyée dans la végétation. Dans des secteurs agricoles, il est possible d'adoucir à l'extrême le talus et éventuellement de rétrocéder la propriété (ou l'exploitation) à un agriculteur.

D'une manière générale, une bonne intégration suppose la mise en œuvre de pentes adaptées, une mise en végétation soignée et un minimum d'entretien. Des talus non entretenus décrédibilisent vite un ouvrage.

A.14 Conclusion

Les buttes de terre constituent une excellente solution de protection acoustique notamment si l'on dispose d'excédents de déblais ou de matériaux impropres au réemploi en remblai. Par rapport aux écrans, elles présentent des avantages sur les plans acoustique et paysager : absence de réflexions vers des zones bâties, surface relativement absorbante, possibilité de végétaliser les abords. Cependant, les contraintes d'emprise et d'entretien qu'elles entraînent ne doivent pas être minimisées dans les études préalables de variantes techniques.

Enjeu de l'ajout d'absorbant sur les écrans 2 pour quelques configurations de sites

À travers des simulations pour quelques configurations de sites particulières, cette annexe présente l'enjeu extrêmement variable que peut présenter l'utilisation de matériaux absorbants sur la face interne des écrans.

A.2.1 Simulations pour quelques configurations de sites plans



Cas 1 : sans écran (référence)



Cas 2 : écran côté récepteurs



Cas 3 : écran côté opposé aux récepteurs



Cas 4 : écrans des deux côtés de la voie

Figure 1 : configurations testées

Hypothèses :

- hauteur d'écran = 4 m ;
- récepteurs à 1,80 m (rez-de-chaussée) et à 10 m (3e étage) ;
- distance horizontale bord de plate-forme routière / récepteurs = 30 m ;
- sol réfléchissant.

Les simulations sont réalisées pour un écran réfléchissant et deux types d'absorbants mis en place côté chaussée (voir caractéristiques ci-dessous) :

Absorbant de **type 1** : $DL_{\alpha} = 5,8 \text{ dB(A)}$ (catégorie A2 selon NF EN 1793)

Octave en Hz	125	250	500	1000	2000	4000
α_1	0,25	0,4	0,9	0,7	0,85	0,85

Absorbant de **type 2** : $DL_{\alpha} = 9 \text{ dB(A)}$ (catégorie A3 selon NF EN 1793)

Octave en Hz	125	250	500	1000	2000	4000
α_2	0,4	0,7	0,95	0,9	0,9	0,9

On peut noter que l'absorbant de type 2 est plus efficace aux basses fréquences.

Comparaison des résultats :

Cas n° 2 - Baisse des niveaux sonores par mise en place d'un écran côté récepteur :

		Écran réfléchissant	Écran absorbant Type 1	Écran absorbant Type 2
Rez-de-Chaussée	Baisse du niveau sonore par rapport à la situation sans écran	-12,5 dB(A)	-13 dB(A)	-13 dB(A)
	Gain dû à l'écran absorbant par rapport à l'écran réfléchissant		0,5 dB(A)	0,5 dB(A)
3 ^e étage	Baisse du niveau sonore par rapport à la situation sans écran	-7,5 dB(A)	-7,5 dB(A)	-7,5 dB(A)
	Gain dû à l'écran absorbant par rapport à l'écran réfléchissant		0 dB(A)	0 dB(A)

L'absorbant est inutile dans ce cas, le gain pour un écran absorbant de type 2 par rapport à un écran

réfléchissant est au mieux de 0,5 dB(A) au niveau du rez-de-chaussée. Il est nul au niveau du 3^e étage.

Cas n° 3 - Dégradation des niveaux sonores par mise en place d'un écran du côté opposé au récepteur :

		Écran réfléchissant	Écran absorbant Type 1	Écran absorbant Type 2
Rez-de-Chaussée	Augmentation du niveau sonore par rapport à la situation sans écran	+3 dB(A)	+1 dB(A)	+0,5 dB(A)
	Gain dû à l'écran absorbant par rapport à l'écran réfléchissant		2 dB(A)	2,5 dB(A)
3 ^e étage	Augmentation du niveau sonore par rapport à la situation sans écran	+2 dB(A)	+1 dB(A)	+0,5 dB(A)
	Gain dû à l'écran absorbant par rapport à l'écran réfléchissant		1 dB(A)	1,5 dB(A)

Pour cette configuration de site, la mise en place d'un écran fortement absorbant peut s'avérer bénéfique

(gain pouvant atteindre 2,5 dB(A) pour un écran fortement absorbant par rapport à un écran réfléchissant).

Cas n° 4 - Baisse des niveaux sonores par mise en place d'écrans des deux côtés de la voie :

		Écran réfléchissant	Écran absorbant Type 1	Écran absorbant Type 2
Rez-de-Chaussée	Baisse du niveau sonore par rapport à la situation sans écran	-7 dB(A)	-11 dB(A)	-12 dB(A)
	Gain dus aux écrans absorbants par rapport aux écrans réfléchissants		4 dB(A)	5 dB(A)
3 ^e étage	Baisse du niveau sonore par rapport à la situation sans écran	-1 dB(A)	-5 dB(A)	-6 dB(A)
	Gain dus aux écrans absorbants par rapport aux écrans réfléchissants		4 dB(A)	5 dB(A)

Lorsque des zones à protéger se situent de chaque côté de la voie routière, la mise en place de deux écrans en vis-à-vis s'avère indispensable. L'utilisation de matériaux absorbants est très intéressante dans

ce cas (gains de l'ordre de 5 dB(A) lorsqu'on utilise des écrans très absorbants par rapport à des écrans réfléchissants).

A.2.2 Simulations pour quelques configurations de sites plus complexes

A.2.2.1 Écran seul sur remblai

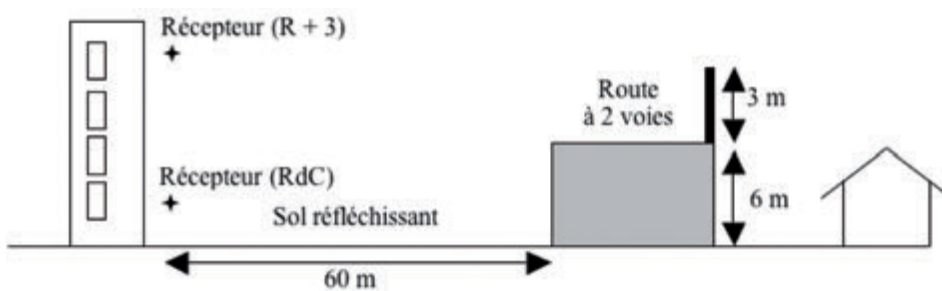


Figure 2 : écran seul sur remblai

Simulations réalisées : sans écran, avec écran réfléchissant, avec écrans absorbants de type 1 et de type 2 définis précédemment.

Dégradation des niveaux sonores suite à la mise en place de l'écran :

		Écran réfléchissant	Écran absorbant Type 1	Écran absorbant Type 2
Rez-de-Chaussée	Augmentation du niveau sonore par rapport à la situation sans écran	2 dB(A)	0,5 dB(A)	0,5 dB(A)
	Gain dû à l'écran absorbant par rapport à l'écran réfléchissant		1,5 dB(A)	1,5 dB(A)
3 ^e étage	Augmentation du niveau sonore par rapport à la situation sans écran	3 dB(A)	1 dB(A)	0,5 dB(A)
	Gain dû à l'écran absorbant par rapport à l'écran réfléchissant		2 dB(A)	2,5 dB(A)

Le gain apporté par l'utilisation d'un écran très absorbant par rapport à l'écran réfléchissant est d'environ 2 dB(A).

A2.2.2 Écran en vis-à-vis sur remblai

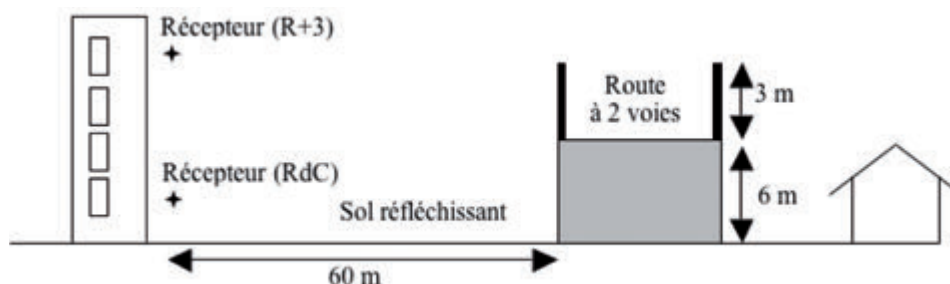


Figure 3 : écrans en vis-à-vis sur remblai

Simulations réalisées : avec écrans réfléchissants, avec écrans absorbants de types 1 et 2 définis précédemment.

Gains dus à l'utilisation de deux écrans absorbants par rapport à des écrans réfléchissants :

	Écrans absorbants Type 1	Écrans absorbants Type 2
Rez-de-chaussée	4 dB(A)	5 dB(A)
3 ^e étage	5,5 dB(A)	6,5 dB(A)

Le gain dû à l'utilisation d'écrans absorbants peut dépasser 6 dB(A) par rapport à deux écrans réfléchissants.

A2.2.3 Tranchée

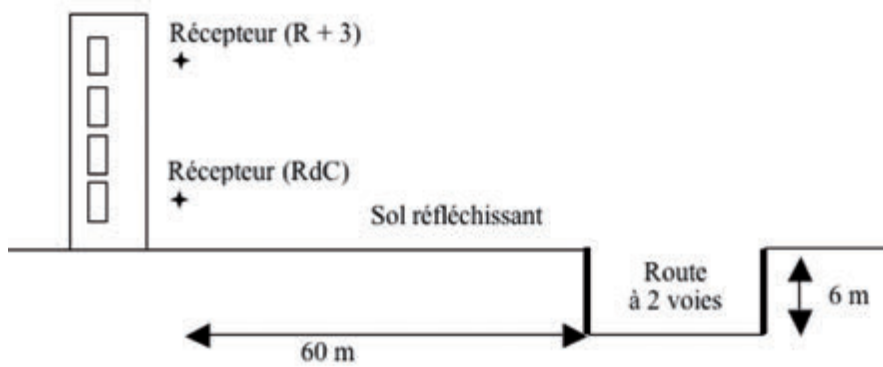


Figure 4 : tranchée

Simulations réalisées : murs de soutènement réfléchissants, avec parements absorbants de types 1 et 2 définis précédemment répartis sur toute la hauteur, avec parements absorbants de type 2 répartis sur la moitié basse ou sur la moitié haute de la tranchée.

- Gains dus à l'utilisation de parements absorbants sur toute la hauteur par rapport à des parois réfléchissantes :

	Parements absorbants Type 1	Parements absorbants Type 2
Rez-de-chaussée	7 dB(A)	9 dB(A)
3 ^e étage	8 dB(A)	10,5 dB(A)

Ce type de configuration illustre bien le cas où l'utilisation de matériaux absorbants voire très absorbants est indispensable. Les gains peuvent dépasser 10 dB(A).

- Gains dus à l'utilisation de parements absorbants de type 2 sur la moitié basse de la tranchée par rapport à des parois réfléchissantes :

	Parements absorbants Type 2
Rez-de-chaussée	9 dB(A)
3 ^e étage	9 dB(A)

- Gains dus à l'utilisation de parements absorbants de type 2 sur la moitié haute de la tranchée par rapport à des parois réfléchissantes :

	Parements absorbants Type 2
Rez-de-chaussée	7 dB(A)
3 ^e étage	6,5 dB(A)

On constate que si l'on ne veut recouvrir qu'une moitié de la tranchée par des parements absorbants, il vaut mieux les positionner en **partie basse**.

3 Diagrammes de directivité de quelques écrans à reliefs comparés à un écran droit réfléchissant ou absorbant, et un écran incliné

A.3.1 Lecture des diagrammes

Les diagrammes présentés dans cette annexe ont été obtenus par simulation numérique pour des écrans situés le long d'une voie autoroutière à 2 X 2 voies pour des récepteurs situés à 100 m face à l'écran, et repérés par leur élévation θ .

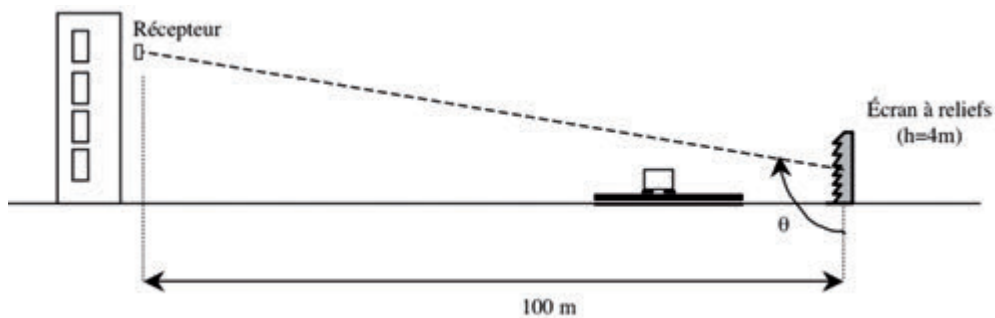


Figure 1 : exemple de simulation

L'augmentation pour un angle θ et un écran donné représente **la différence de niveau sonore pour une situation avec l'écran comparée à celle sans écran.**

Dans le cas d'une configuration récepteur - route - écran classique, les angles θ concernés sont situés entre 90 et 110°.

Exemple de lecture :

Pour un récepteur situé à 100 m de l'écran et à une hauteur de 20 m, $\theta = 100^\circ$. L'augmentation de niveau sonore due à l'insertion de l'écran à reliefs ci-dessous est de 0,7 B(A) alors qu'elle serait de 1,5 dB(A) pour un écran droit réfléchissant et de 1 dB(A) pour un écran droit absorbant (voir figures page suivante).

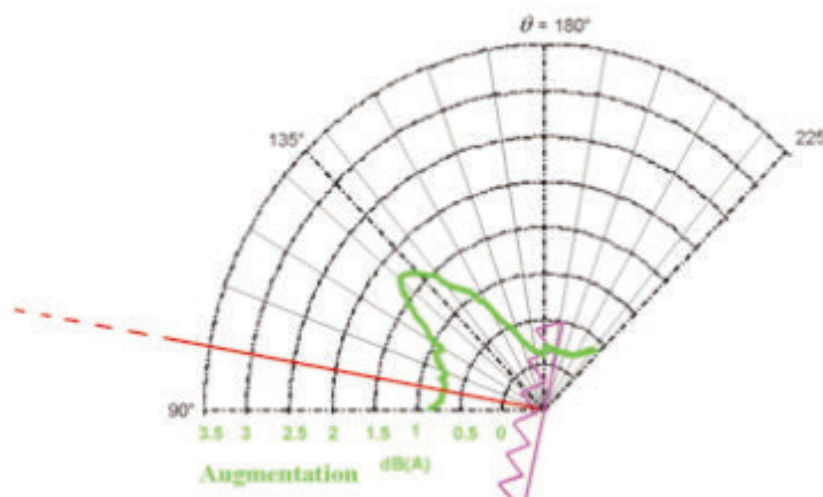


Figure 2 : écran à reliefs incliné de 10° par rapport à l'horizontale

A3.2 Résultats des simulations

A3.2.1 Écran droit

Réfléchissant :

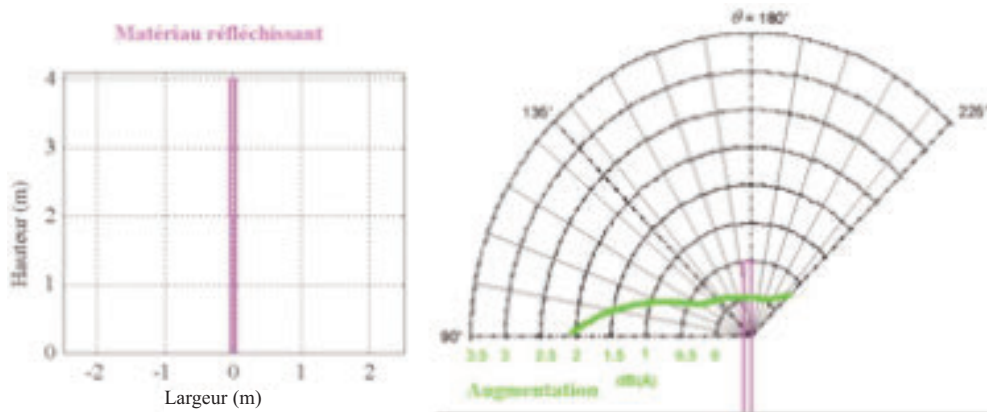


Figure 3 : écran droit / réfléchissant

Absorbant :

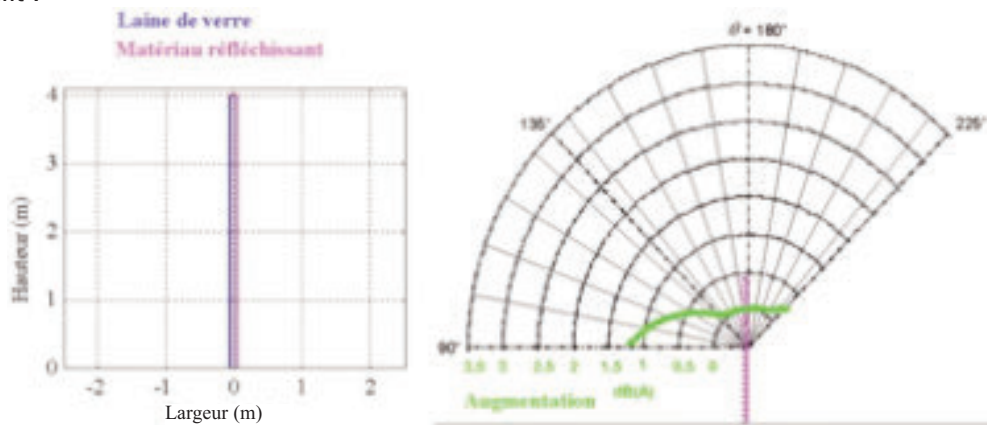


Figure 4 : écran droit / absorbant

A3.2.2 Écran plan réfléchissant incliné de 5°

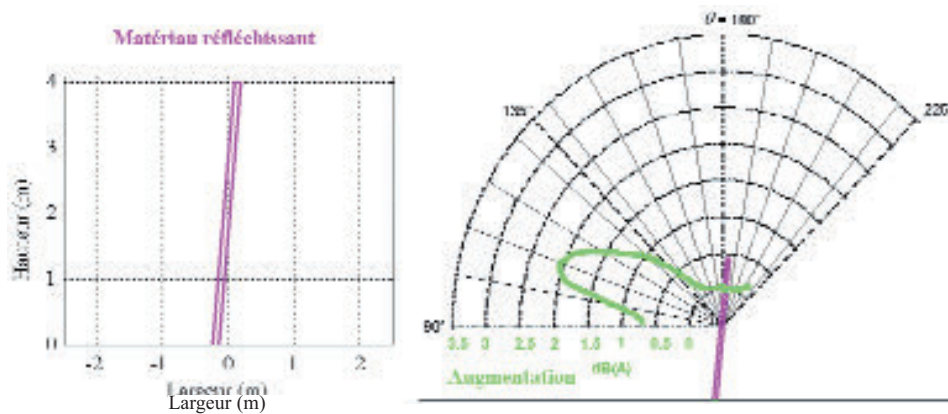


Figure 5 : écran plan incliné à 5° / réfléchissant

A3.2.3 Écran en marches d'escalier

Dimensions 1 m x 1 m :

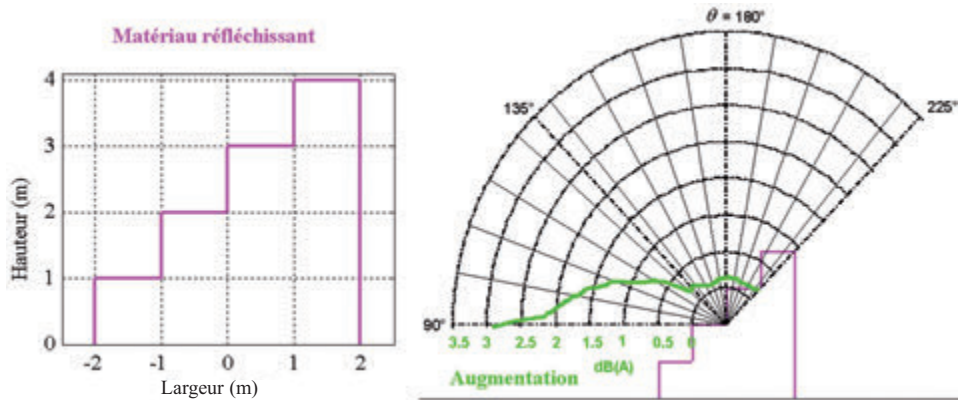


Figure 6 : écran en marches d'escalier 1 m x 1 m

Dimensions 0,5 m x 0,5 m :

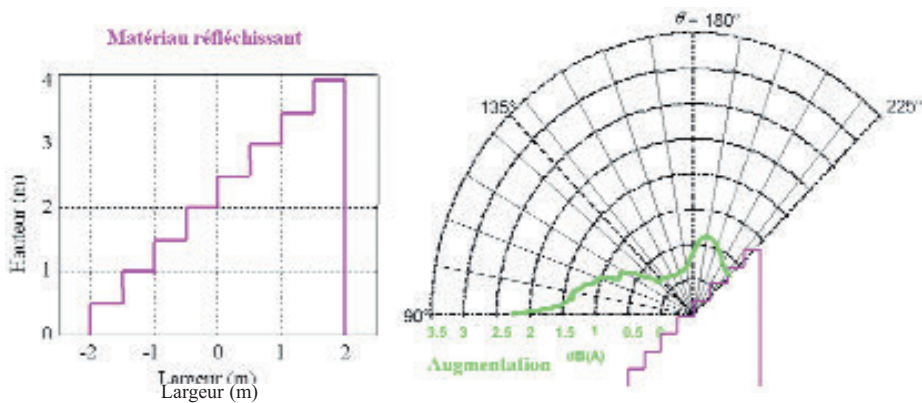


Figure 7 : écran en marches d'escalier 0,5 m x 0,5 m

A3.2.4 Écran en zigzag

6 faces / réfléchissant :

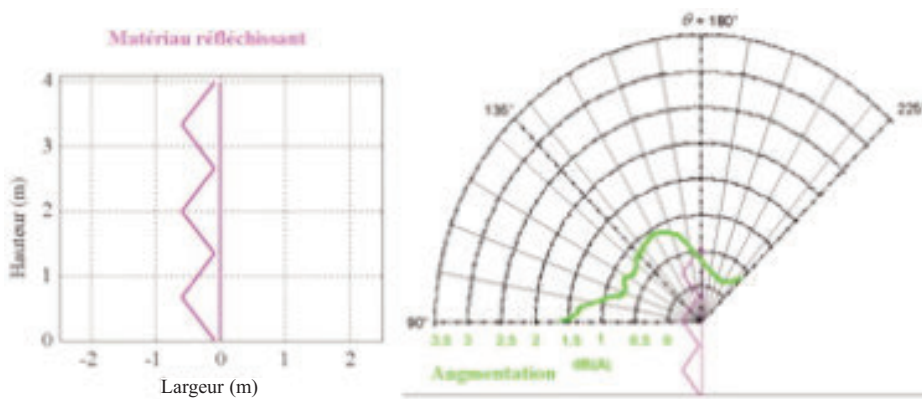


Figure 8 : écran en zigzag 6 faces

12 faces / réfléchissant :

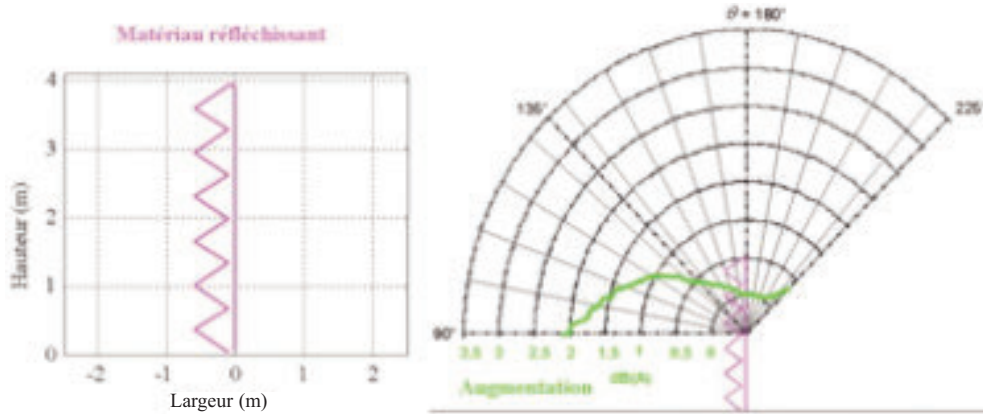


Figure 9 : écran en zigzag 12 faces

12 faces / réfléchissant incliné à 15° :

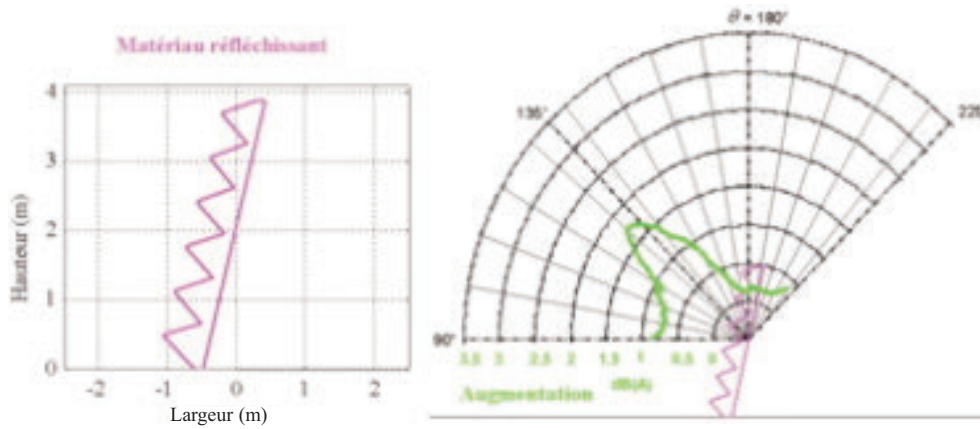


Figure 10 : écran en zigzag 12 faces / incliné

A3.2.5 Écran type « sapin renversé »

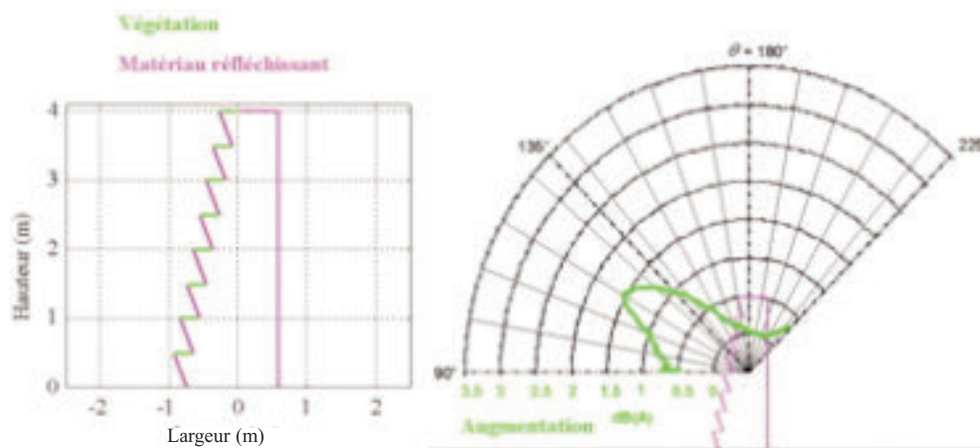


Figure 11 : écran type sapin renversé

A3.2.6 Écran type « sapin de Noël »

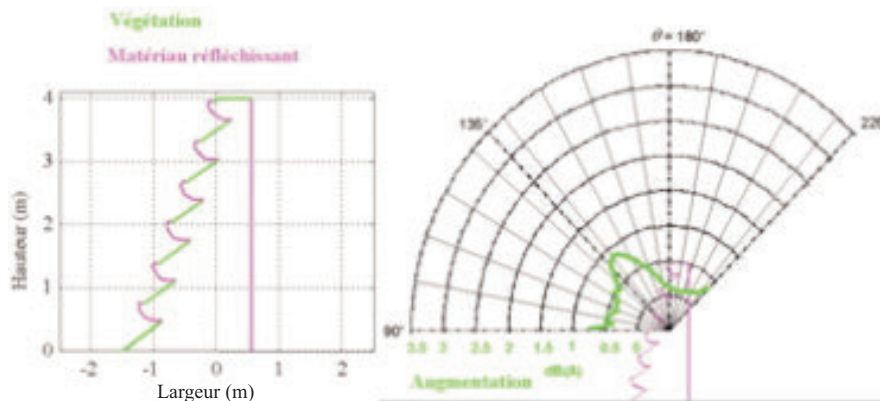


Figure 12 : écran type sapin de Noël

A3.3 Conclusion

- Écrans en marches d'escalier :

On constate que l'augmentation de niveau sonore due à l'insertion de l'écran en marches d'escalier 1m x 1m reste élevée (entre 1,5 et 2 dB(A)). Ce type de solution avec un tel pas de marche n'apporte **pas d'amélioration sensible par rapport à un écran droit réfléchissant**, voire même dégrade la situation pour certains angles θ .

Lorsqu'on diminue la taille des marches, on améliore quelque peu la situation mais sans que cela ne devienne vraiment sensible.

- Écrans en Zigzag :

Pour les écrans en zigzag réfléchissants droits, la configuration à six faces est plus intéressante que celle à douze faces.

Des résultats plus intéressants sont obtenus lorsqu'on incline ce type d'écran.

- Écrans type « sapin de Noël » :

Pour les angles θ compris entre 90 et 110°, l'augmentation de niveau sonore par rapport au cas sans écran est faible (environ 0,5 dB(A)). Ce type de relief apparaît comme étant encore **plus intéressant qu'un écran droit absorbant**.

Efficacité des couronnements d'écrans 4

L'objet de cette annexe est d'approfondir les propos figurant au paragraphe 3.5 relatif à l'efficacité des couronnements d'écrans. Les résultats présentés sont issus de simulations numériques.

A.4.1 Considérations relatives aux principes physiques du fonctionnement des couronnements

A4.1.1 Influence de la forme et du matériau recouvrant le couronnement

Pour ce qui est des formes arrondies (cylindre, champignon), la propagation acoustique autour du couronnement peut être décrite, pour les moyennes et hautes fréquences, par des ondes rampantes le long de la surface incurvée (voir figure 1).

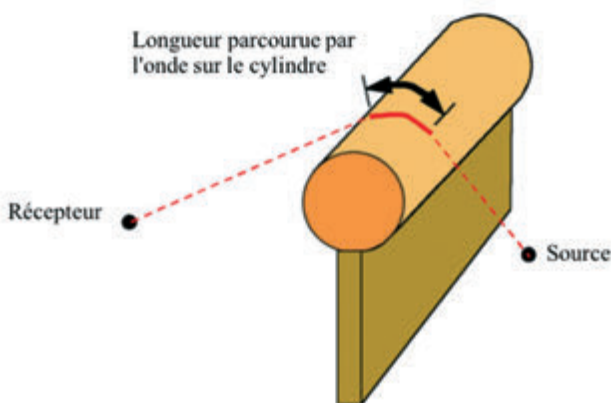


Figure 1 : phénomène des ondes rampantes pour le cas du cylindre

Il faut considérer deux types de comportements de ces dispositifs selon que les matériaux mis en œuvre sont réfléchissants ou absorbants. Dans le cas où la surface incurvée serait réfléchissante, plus le diamètre est important, plus l'onde franchira facilement l'écran : le dispositif altérera les performances de l'écran droit.

Dans le cas d'un dispositif absorbant, plus la longueur de parcours des ondes dites « rampantes »

est grande, meilleure est la performance.

Il convient donc d'être vigilant dans le choix des matériaux utilisés.

On observe le même comportement pour les buttes végétalisées.

A4.1.2 Influence de l'angle de diffraction

Il est défini comme l'angle délimité par la projection horizontale du trajet S-R et la droite horizontale perpendiculaire à l'arête de l'écran sans couronnement (voir figure 2). Si la propagation a lieu perpendiculairement à cette arête (source face au récepteur), l'angle de diffraction est de 0°. Pour une propagation fortement en biais, l'angle approche la valeur de 90°.

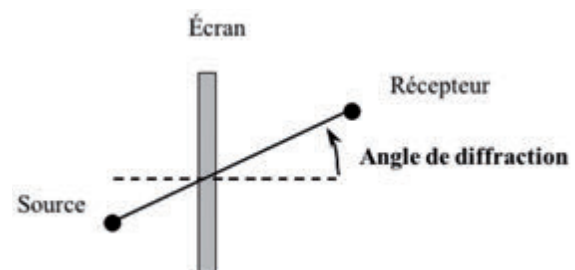


Figure 2 : définition de l'angle de diffraction

Les résultats de calcul de l'efficacité par bandes de tiers d'octave d'un couronnement absorbant en Té d'une largeur de 85 cm pour différents angles de diffraction montrent que ce couronnement présente un « creux » d'efficacité autour de 400 Hz aux faibles angles (20° et 40°). Dans cette zone fréquentielle, l'écran avec couronnement est moins efficace que l'écran seul. Aux angles plus élevés (correspondant à des incidences du son plus en biais), ce « creux » disparaît et l'efficacité globale augmente.

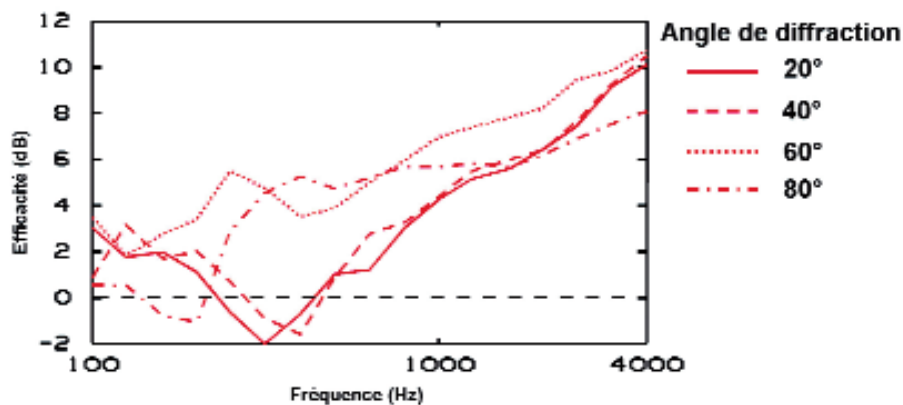


Figure 3 : efficacité en dB, en tiers d'octave du couronnement en T \acute{e} de 85 cm pour un point source à l'émission et pour différents angles de diffraction

Dans le cas d'une source routière, il est donc important que le couronnement soit d'une longueur suffisante. Il sera en effet plus efficace pour atténuer l'énergie provenant des sources présentant un angle

de diffraction important pour un récepteur donné. On peut vérifier ces considérations théoriques avec les résultats de quelques simulations présentés au paragraphe suivant.

A.4.2 Résultats de simulations de l'efficacité de couronnements cylindriques et en T \acute{e}

A4.2.1 Hypothèses

- autoroute 2 x 2 voies, infiniment longue, bordée par un écran droit réfléchissant de 4 m de hauteur infiniment long ;
- conditions homogènes de propagation, sol absorbant ;
- bruit routier à l'émission ;
- modélisation en trois dimensions.

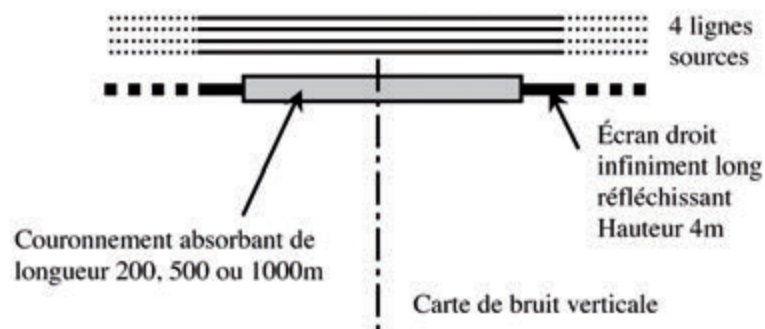


Figure 4 : vue de dessus du site modélisé

Les cartes de bruit affichent la différence de niveau sonore pour une modélisation avec et sans couronnement (figures 5 à 16). La hauteur totale de l'écran avec ou sans couronnement étant toujours de 4 m. À titre de comparaison, les mêmes calculs ont été réalisés pour des écrans de hauteur 4,5 et 5 m. Les cartes de bruit affichent la différence de niveau sonore pour ces hauteurs d'écran par rapport à un écran de hauteur 4 m (figures 17 et 18).

A4.2.2 Conclusion

Contrairement à un rehaussement de l'écran où l'efficacité est maximale dans un cône situé sous la ligne d'ombre, les couronnements d'écrans amènent un **maximum d'efficacité en forte zone d'ombre** donc pour des récepteurs proches de l'écran et à faible hauteur au-dessus du sol.

Pour des récepteurs situés à des étages élevés, le rehaussement de l'écran s'avérera donc plus intéressant. Par contre pour des récepteurs proches du sol et de l'écran (forte zone d'ombre ou voies routières

en remblai et sur viaduc), on préférera mettre en place un couronnement.

Les **couronnements cylindriques** offrent un **gain inférieur à 2 dB(A)** pour des récepteurs situés à plus de 20 m derrière l'écran (2 dB(A) pour le cylindre de 60 cm de diamètre, ce qui est à peine perceptible). Les gains pour les **couronnements en Té** sont un peu plus élevés mais **ne dépassent pas actuellement les 3 dB(A)** dès qu'on s'éloigne de l'écran.

Pour les récepteurs modélisés, des longueurs de couronnements de 500 m (débordement de 250 m de part et d'autre des récepteurs) sont suffisantes. Le gain supplémentaire obtenu pour des couronnements plus longs est faible par rapport aux surcoûts qu'ils engendrent.

A4.3.2 Cartes de bruit verticales

Les figures 5 à 10 montrent l'efficacité d'un Té en fonction de sa taille et de la longueur de l'écran sur lequel il est installé.

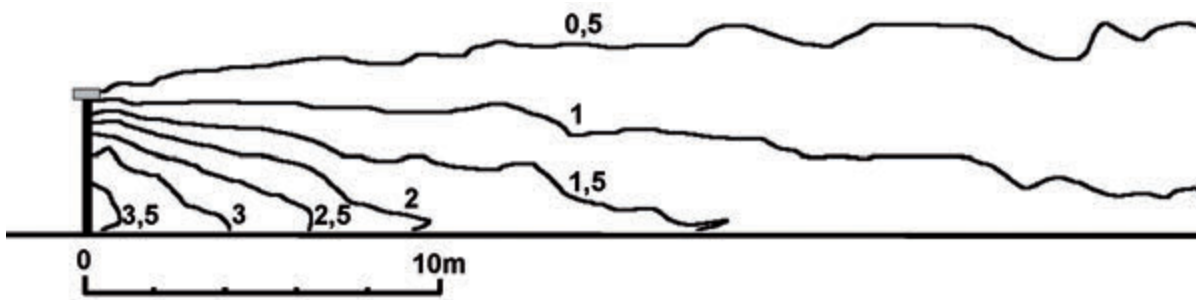


Figure 5 : té 85 cm de large, longueur 200 m

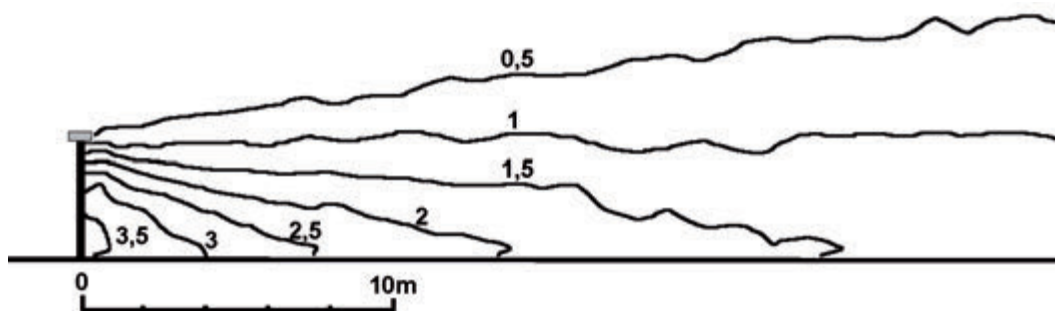


Figure 6 : té 85 cm de large, longueur 500 m

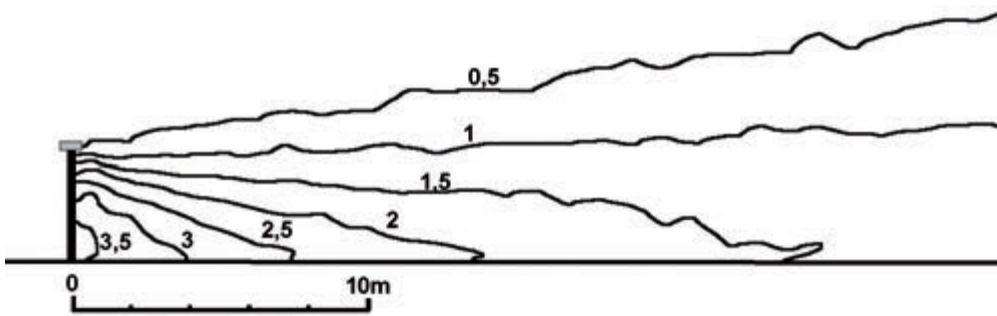


Figure 7 : t  85 cm de large, longueur 1 000 m

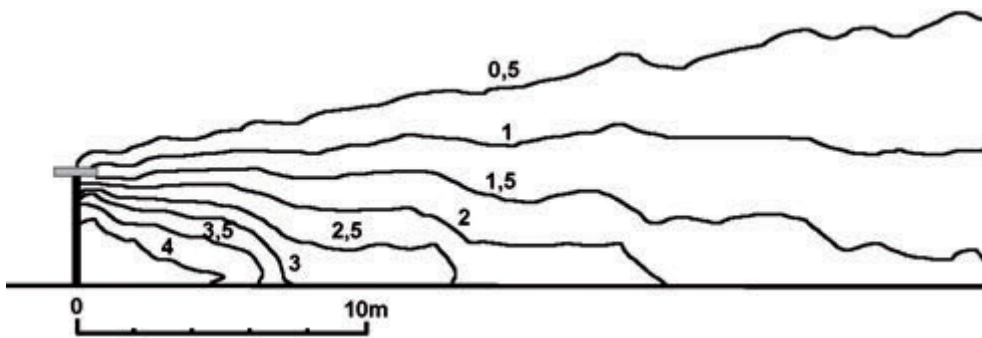


Figure 8 : t  150 cm de large, longueur 200 m

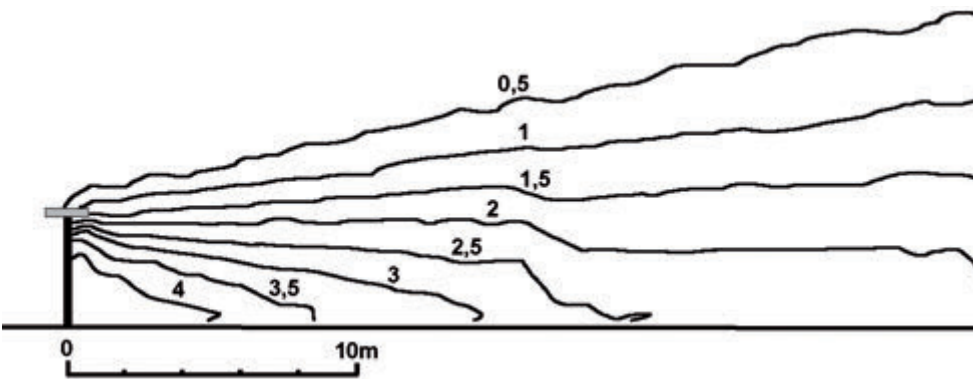


Figure 9 : t  150 cm de large, longueur 500 m

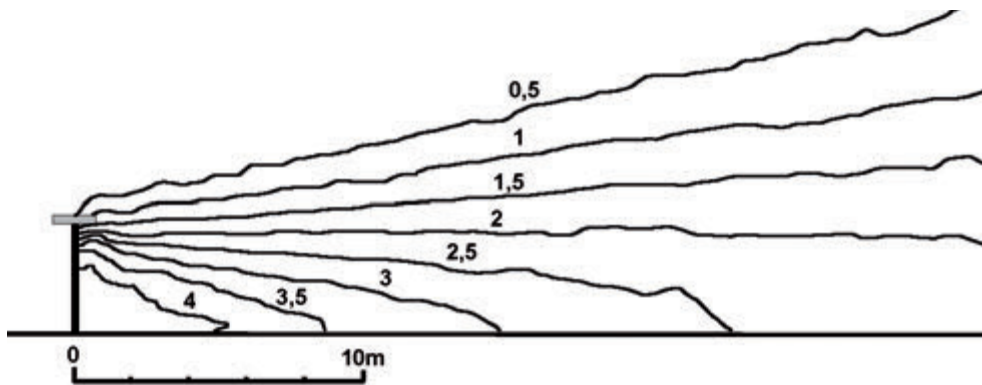


Figure 10 : t  150 cm de large, longueur 1 000 m

Les figures 11 à 16 montrent l'efficacité d'un cylindre en fonction de sa taille et de la longueur de l'écran sur lequel il est installé.

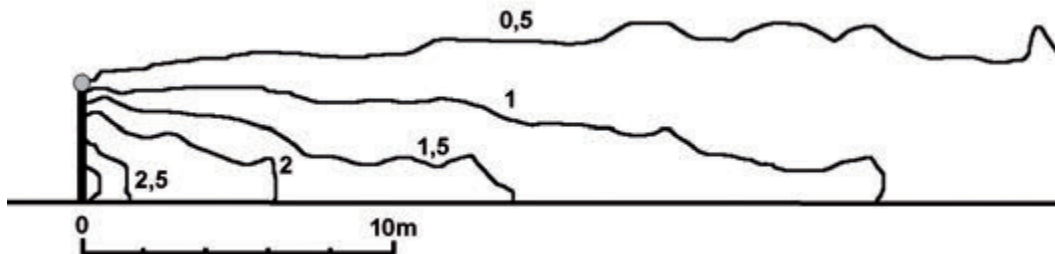


Figure 11 : cylindre 60 cm de diamètre, longueur 200 m

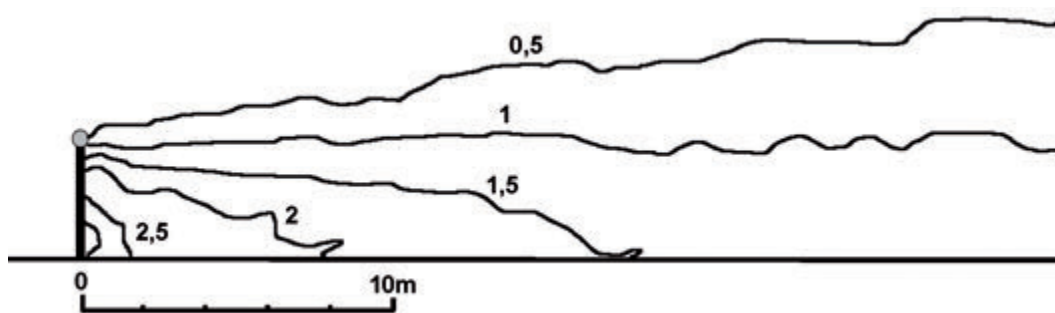


Figure 12 : cylindre 60 cm de diamètre, longueur 500 m

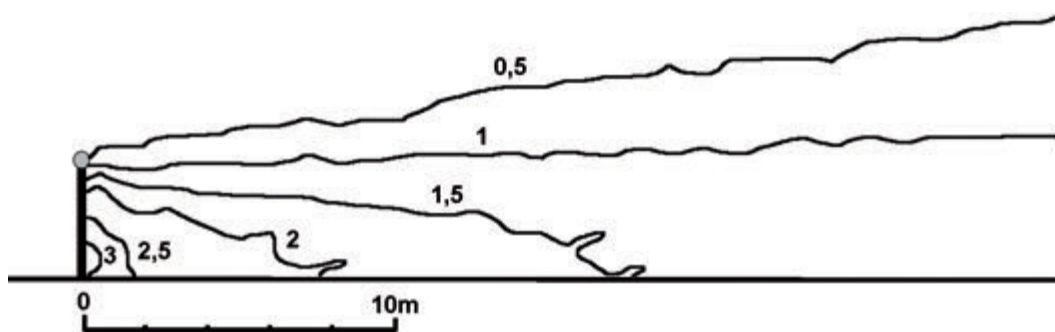


Figure 13 : cylindre 60 cm de diamètre, longueur 1 000 m

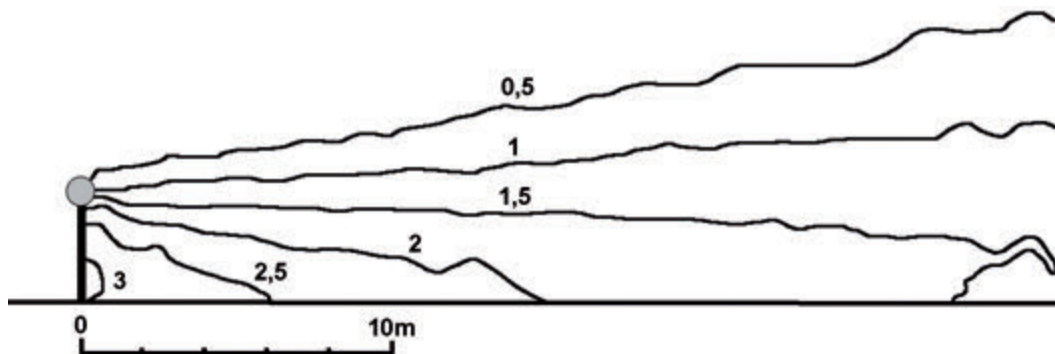


Figure 14 : cylindre 100 cm de diamètre, longueur 200 m

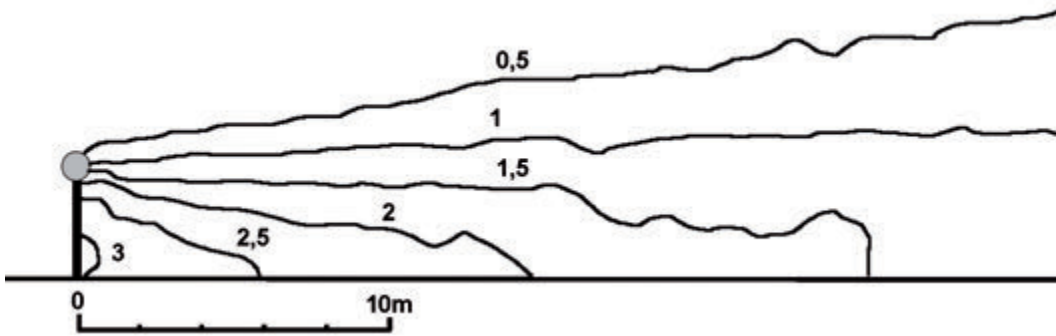


Figure 15 : cylindre 100 cm de diamètre, longueur 500 m

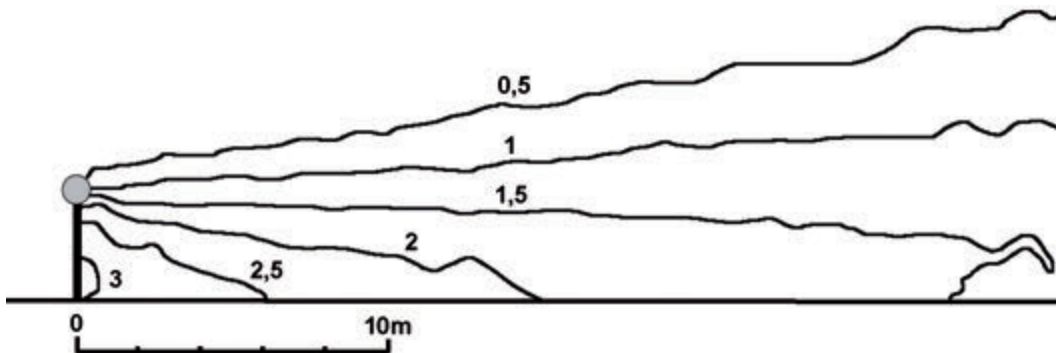


Figure 16 : cylindre 100 cm de diamètre, longueur 1 000 m

Les figures 17 et 18 montrent la zone d'efficacité maximale d'un écran rehaussé respectivement de 0,5 m et de 1 m.

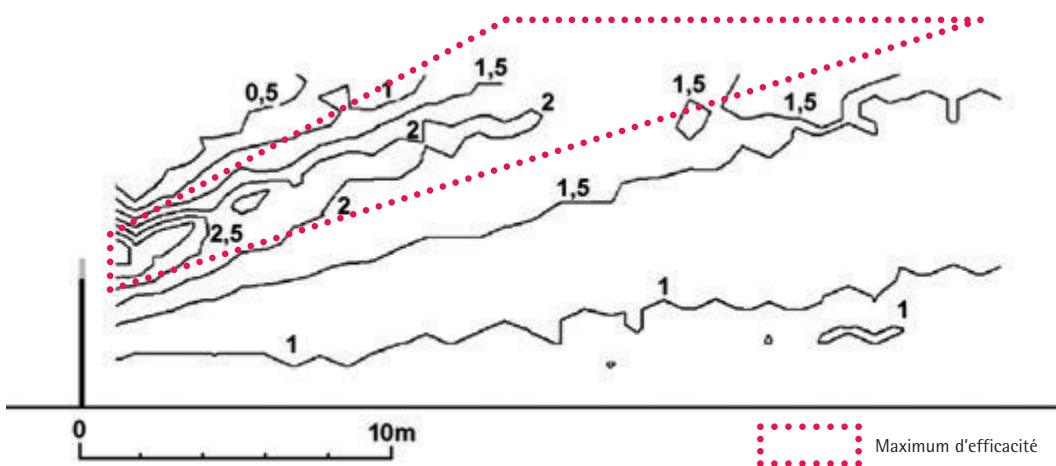


Figure 17 : efficacité d'un écran de 4,5 m par rapport à un écran de 4 m

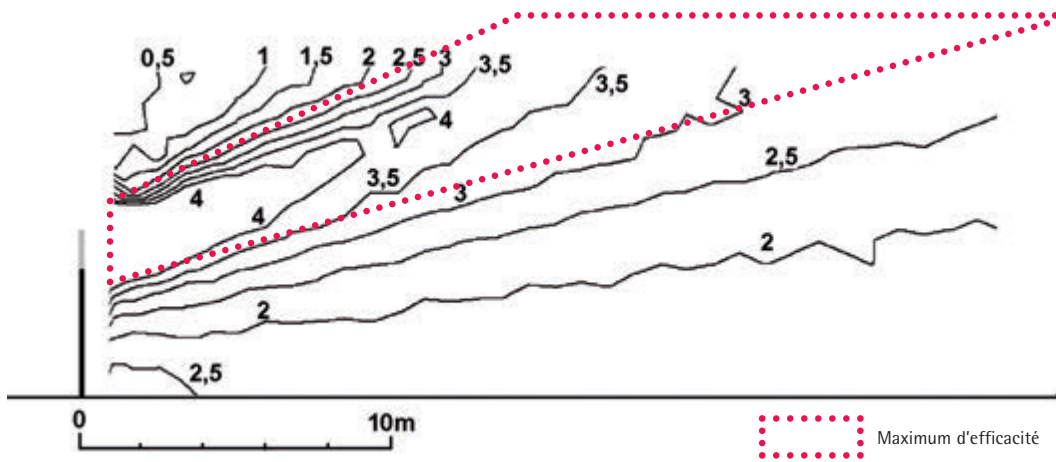
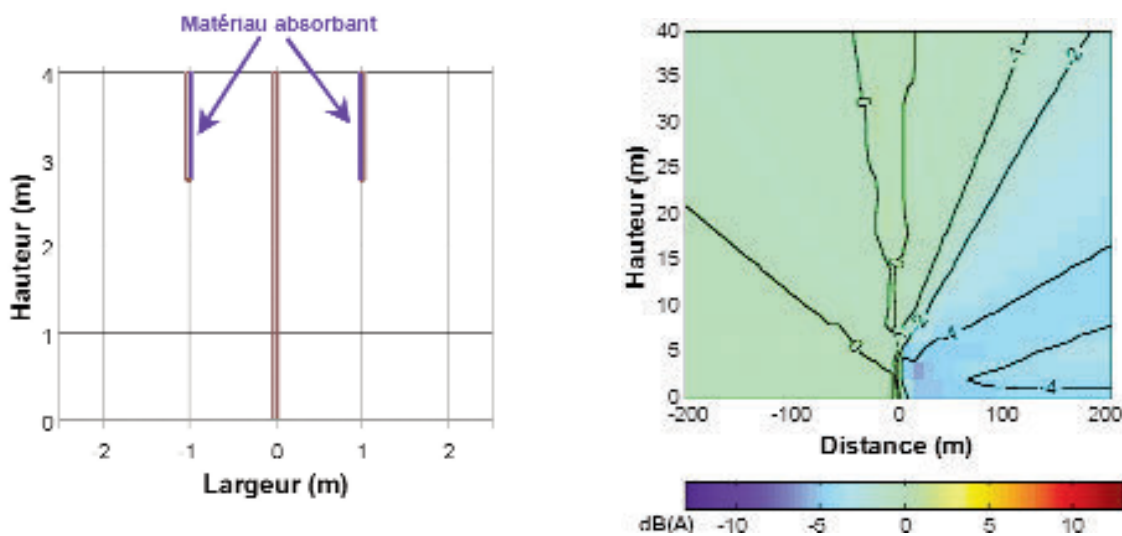


Figure 18 : efficacité d'un écran de 5 m par rapport à un écran de 4 m

A.4.3 Modélisation en 2D d'un couronnement multi-diffracteur

Pour un couronnement multi-diffracteur qui ajoute deux arêtes de diffraction supplémentaires de part et d'autre de l'écran droit et dont l'envergure en coupe est de 2 m en largeur sur 1,25 m en hauteur, **le gain peut atteindre 4 dB(A)**. En figure 20, on donne le résultat d'efficacité par rapport à l'écran droit, sous forme d'une carte de bruit en dB(A), ceci pour un calcul 2D dans un plan vertical perpendiculaire aux voies de circulation.



Figures 19 et 20 : efficacité d'un couronnement multi-diffracteur par rapport à un écran droit de même hauteur

5 Le marché français des écrans : répartition en type de volumes et de matériaux et coûts moyens de réalisation observés

A.5.1 Répartition en volume du marché

L'Aprea (Association professionnelle des réalisateurs d'écrans acoustiques) a réalisé fin 2005 une étude portant sur le marché français des écrans acoustiques. La période observée s'étend des années 1995 à 2004 et porte sur les besoins ressortant des appels d'offres formulés par les maîtres d'ouvrage au plan national.

Ces chiffres sont pondérés par un coefficient multiplicateur de 11 % correspondant au pourcentage d'opérations pour lesquelles les quantités à disposition n'étaient pas fiables.

Surfaces d'écran en m² par maître d'ouvrage :

Maître d'ouvrage \ Année	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Total
État	64 000	72 200	76 250	75 500	79 300	49 500	89 000	87 500	22 000	50 000	665 250
Conseils généraux	19 700	28 000	15 000	10 000	32 500	22 500	16 500	17 500	15 500	14 000	191 200
Collectivités locales	150	8 000	9 500	6 000	4 500	11 500	6 500	0	4 500	15 500	66 150
Sociétés d'autoroute	40 500	57 000	21 000	27 000	26 000	23 000	7 500	13 500	14 500	13 500	243 500
Fer	500	6 000	8 500	0	4 500	900	800	900	8 500	2 000	32 600
Total	124 850	171 200	130 250	118 500	146 800	107 400	120 600	119 400	65 000	95 000	1 198 700

La surface annuelle moyenne entre 1995 et 2002 était de **130 000 m²**. Une baisse d'activité sensible s'est produite en 2003 et 2004, où l'on enregistrait alors une surface annuelle moyenne de **80 000 m²**. Une augmentation des volumes était alors prévue pour l'année 2005, des quantités de 130 000 m² étant de nouveau attendues.

Concernant la part relative des maîtres d'ouvrage, l'État reste le principal acteur avec plus de 50 % des surfaces construites. En 2003, la baisse enregistrée au niveau national lui est d'ailleurs imputable en

grande partie. Les conseils généraux ainsi que les sociétés d'autoroute détiennent respectivement une part de 15 à 20 % du marché. Enfin, les collectivités locales jusque-là peu actives, voient leur part de marché s'afficher à 16 % en 2004 après avoir stagné autour des 5 % en moyenne durant les neuf années précédentes.

Ces chiffres devraient sensiblement changer suite au transfert de compétences des voies routières qui sera totalement effectif en 2008.

A.5.2 Répartition par type de matériau

Répartition des matériaux en %	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Moyenne
Béton*	55	43	32	57	52	46	46	45	34	61	47
Bois	34.5	37	31.5	20	29	30.5	25	22	34	20	28.5
Métal	1.5	4.5	23	7.5	1.5	0.1	2	20	13	1	7.5
Transparent	5	5	6.5	6.5	4.5	3	10	3.5	6	11	6
Divers	4	10.5	7	9	13	20.4	17	9.5	13	7	11

*Béton : béton, béton armé, béton de bois, moellon

Le béton reste le matériau préféré avec près de 50 % des réalisations. Cela est d'autant plus vrai ces dernières années, où la part du béton représente plus de 60 % du marché.

Le second matériau de structure est le bois, il représente un tiers du marché et ce de façon à peu près constante.

L'utilisation du métal présente des écarts très grands

suivant les années, qui se justifient par des réalisations ponctuelles importantes. La hausse du coût de la matière première n'est pas un argument en sa faveur pour les années à venir.

Les matériaux transparents et notamment le PMMA, occupent la 3^e place du marché français ces dernières années.

A.5.3 Coûts moyens observés

Les tableaux suivants donnent un aperçu de quelques coûts que l'on a pu relever en France entre les années 1998 et 2005. Ces chiffres sont à manier avec précaution, il ne s'agit en aucun cas d'en tirer de quelconques ratios tant les conditions de travaux peuvent influencer sur le coût d'opérations qui pourraient sembler similaires.

Aménagement :

À la lecture de ce tableau, on peut remarquer que les prix peuvent varier du simple au double, les conditions de travaux influant fortement sur ces variations. Autre paramètre faisant varier les coûts, la surface totale construite : plus celle-ci est faible, plus le coût au mètre carré augmente.

En orange dans le tableau, un cas extrême d'écran construit sur un giratoire.

Matériaux	Surface totale en m ²	Conditions de travaux		Commentaires	Coût total au m ²
		Sujétions spéciales	Circulation		
Mur végétalisé + butte	540	fortes	sous	hauteur de 3 m ; mur de 130 m + butte de 50 m	380 € (prix 2005)
Béton de bois	1 024	faibles	sous	écran fixé sur GBA	475 € (prix > 2000)
Béton réfléchissant	426	faibles	sous	hauteur 3 m	760 € (prix 2005)
Bois	6 855	fortes	sous	moitié absorbant / moitié réfléchissant ; hauteur 2,5 et 4 m ; certains écrans construits sur OA	470 € (prix 2002)
Bois absorbant	3470	faibles	sous		620 € (prix > 2000)
Béton de bois	420	fortes	sous	hauteur de 3 m ; coût du travail sous circulation égal à 10 % du montant total	2 800 € (prix > 2000)

Création : écrans routiers

Matériaux	Surface totale en m ²	Conditions de travaux		Commentaires	Coût total au m ²
		Sujétions spéciales	Circulation		
Béton de bois métal	5 200 940	faibles	hors	Présence d'un couronnement de 1 570 m sur écran béton	490 € (prix 2004/2005)
Bois	2 120	faibles	hors	Hauteur de 2,5 à 3 m	385 € (prix 2004/2005)
Béton de bois Transparent	3 200	faibles	hors	Hauteur de 2 à 3 m	370 € (prix 2004/2005)
Béton de bois	1 120	faibles	hors	Hauteur de 2 m	520 € (prix 2004)
Métal absorbant	4 450	fortes	sous	Hauteur de 3 à 4 m, sur ouvrage d'art	970 € (prix > 2000)

Le coût d'écran à 970 €/m² représente un extrême puisque réalisé sur un ouvrage d'art avec des sujétions spéciales et sous circulation.

Création : écrans ferroviaires

Matériaux	Surface totale en m ²	Conditions de travaux		Commentaires	Coût total au m ²
		Sujétions spéciales	Circulation		
Béton réfléchissant	32000	faibles	hors	Hauteur moyenne de 2,5 m ; répartition du coût : fondations sur semelle 35%, écran 50%, pose 15%	280 € (prix 1998)
Béton réfléchissant	48000	faibles	hors	Hauteur moyenne de 2,5 m ; répartition du coût : fondations profondes 60%, écran 34%, pose 6%	410 € (prix 1998)

Comme on peut le constater dans ce cas, le coût des fondations a quasiment doublé entre les deux chantiers, augmentant de ce fait sensiblement le coût au m² de l'ouvrage total.

Comparaison coûts des buttes de terre et des écrans :

Les coûts pour l'édification d'une butte acoustique sont éminemment variables et par conséquent, les ratios difficiles à établir. Le coût global (chiffres valeur 2002) doit prendre en compte :

- le coût des acquisitions foncières : si en milieu interurbain (zone agricole non constructible), il peut démarrer entre 0,5 et 1 €/m², en zone NA il peut atteindre rapidement les 5 à 10 €/m² et beaucoup plus en milieu urbain. Pour rappel, une butte de 3 m de hauteur nécessite au minimum 11 m² d'emprise au mètre linéaire et une butte de 5 m de hauteur au moins 18 m²/ml ;
- le coût des terrassements : sur un chantier de voie nouvelle, les matériaux excédentaires sont fréquents. Même de qualité médiocre, ils peuvent être mis en dépôt sous forme de buttes acoustiques et ainsi réduire le coût du poste terrassements. En moyenne, le coût du poste déblais + mise en remblais dans un environnement proche varie de 5 à 7 €/m³, équivalant au coût de l'évacuation de déblais. Lorsque l'achat de matériaux est indispensable, leur fourniture et mise en œuvre peut atteindre les 8 à 10 €/m³ auxquels il faut ajouter la terre végétale (8 à 10 €/m³) ;
- les aménagements paysagers : le coût varie de 0,5 €/m² pour un simple engazonnement à 12 €/m² pour une plantation arbustive soignée. À titre indicatif, le traitement paysager d'un chantier de 25 000 m² (avec engazonnement + plantations arbustives + paillage + entretien durant un an) revient à une moyenne d'environ 8 €/m².

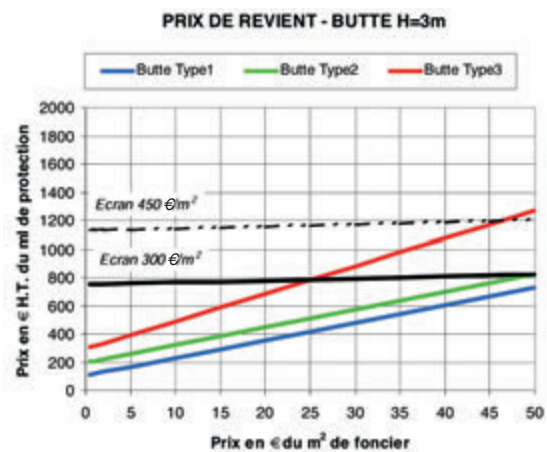
Exemple : coûts comparés d'un écran vertical et d'une butte acoustique équivalente

Les comparaisons visent à mettre en évidence les différences de prix de revient entre un écran et une butte sensiblement équivalents du point de vue acoustique et implantés à 1,5 m du bord de la plateforme routière. Seule la partie investissement est prise en compte, l'entretien n'étant pas intégré. Les comparaisons sont effectuées en fonction du coût de l'emprise et du mètre linéaire de protection.

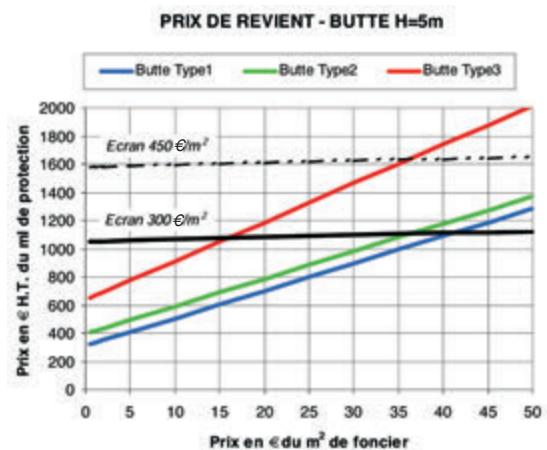
Deux types d'écrans (300 et 450 €/m²) et trois types de buttes sont étudiés :

- butte de type 1 avec un simple engazonnement et une emprise minimale (11 + 1,5 m) ;

- butte de type 2 avec un aménagement paysager soigné et une emprise minimale (11 + 1,5 m) ;
- butte de type 3 avec un aménagement paysager soigné et une large emprise (18 + 1,5 m).



Écran de hauteur 2,5 m / butte de hauteur 3 m



Écran de hauteur 3,5 m / butte de hauteur 5 m

Même pour des coûts d'acquisitions foncières élevés (jusqu'à 35 €/m²), on constate dans les deux cas que quelle que soit la qualité des aménagements paysagers retenus, la solution « butte » avec emprise minimale (recours à des pentes de 3/2) apparaît moins onéreuse que la solution « écran ». A contrario pour des solutions à emprises plus larges (recours à des pentes de 2/1), les solutions « écrans » peuvent redevenir compétitives à partir de prix d'acquisitions foncières compris entre 15 et 25 €/m².

À noter qu'au-delà d'un coût d'acquisition de 10 €/m² pour les buttes de faible hauteur (3 m) et de 15 €/m² pour des buttes de plus grande hauteur (5 m), l'achat de l'emprise représente plus de la moitié du prix de revient de la butte.

Lexique des abréviations

- APD** : aucune performance déterminée
- Aprea** : association professionnelle des réalisateurs d'écrans acoustiques
- ATE** : agrément technique européen
- BAU** : bande d'arrêt d'urgence
- CE** : Communauté européenne
- CEN** : Comité européen de normalisation
- Cerib** : Centre d'études et de recherche de l'industrie du béton
- Certu** : Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques
- Cetur** : Centre d'études sur les transports urbains
- CNEA** : Commission de normalisation des écrans acoustiques
- CSTB** : Centre scientifique et technique du bâtiment
- CTBA** : Centre technique du bois et de l'ameublement
- CTMNC** : Centre technique des matériaux naturels de construction
- CTTB** : Centre technique des tuiles et briques
- DPC** : directive produit de construction
- FCBA** : Forêt cellulose bois de construction ameublement
- FSC** : Forest Stewardship Council ou Conseil de bonne gestion forestière
- GBA** : glissière en béton armé
- IPN** : I à profil normalisé
- LCPC** : Laboratoire central des Ponts et Chaussées
- LGV** : ligne à grande vitesse
- MEDAD** : ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables
- NMPB** : nouvelle méthode de propagation du bruit
- PEFC** : Program for the Endorsement of Forest Certification
- PMR** : personne à mobilité réduite
- PRS** : profilé reconstitué soudé
- RFF** : Réseau ferré de France
- Setra** : service d'Études techniques des routes et autoroutes
- VRU** : voie rapide urbaine

Éléments bibliographiques

Ouvrages généraux

- *Bruit des infrastructures routières : méthode de calcul incluant les effets météorologiques*
Lyon, Certu, janvier 1997, 98 pages.
- *Bruit et études routières – Manuel du chef de projet*
Lyon, Certu, octobre 2001, 236 pages.
- *Bruit et formes urbaines*
Bagneux, Cetur, juillet 1981, 143 pages.
- *Conception et réalisation des écrans acoustiques*
1.Études et marchés, 2.Catalogue de solutions de base, 3.Éléments types de marchés
Bagneux, Cetur, 1985, trois fascicules de 36, 111 et 6 x 25 pages.
- *Concours pour des écrans absorbants acoustiques industrialisés et adaptables au site*
Bagneux, Cetur, 1988, 24 pages.
- *Concours écrans acoustiques, programme de référence*
Lyon, Certu, 1998, 31 pages.
- *Ecrans acoustiques végétalisables (rapport d'étude)*
Rouen, Cete NC, Setra, 1997, 90 pages.
- *Ecrans acoustiques en béton*
Cimbéton, Cerib, FIB, 2005, 100 pages.
- *Environmental noise barriers*
Londres, E&FN Spon (Kotzen (Ben), English (Colin)), 1999, 165 pages.
- *Fichier d'écrans acoustiques*
Bagneux, CETUR, mars 1987, 124 pages.
- *Fichier d'écrans acoustiques existants. Bruit des transports terrestres*
Bagneux, CETUR, 1981, 8 pages + fiches.
- *Guide barrières de sécurité pour la retenue des PL / Barrières de niveau H2 ou H3*
Bagneux, SETRA, septembre 1999, 164 pages.
- *Guide du bruit des transports terrestres - Recommandations techniques pour les ouvrages de protection contre le bruit*
Bagneux, CETUR, mai 1978, 183 pages.
- *Guide du bruit des transports terrestres - Prévion des niveaux sonores*
Bagneux, CETUR, novembre 1980, 317 pages (disponible uniquement au format électronique).
- *Guide du bruit des transports terrestres - Utilisation du verre dans la construction d'écrans acoustiques*
Bagneux, CETUR, 1980, 46 pages.
- *Guide professionnel pour la conception et la réalisation d'écrans acoustiques en bois*
Paris, Arebois, novembre 2003, 30 pages.
- *Intégration des écrans antibruit*
Metz, Cete de l'Est, mai 1981, 111 pages.
- *Protections acoustiques par butte de terre*
Bordeaux, Cete du Sud-Ouest, juin 1987, 4 pages.
- *Réalisation d'écrans acoustiques (présentation des solutions primées au concours écran 1988)*
Bagneux, Cetur, mai 1989, 2 notes + 23 pages.
- *Réduction (la) du bruit aux abords des voies routières*
Paris, OCDE, 1995, 177 pages.

Articles dans revues

- Demizieux Patrick
« Panorama des techniques d'écrans acoustiques »
Strasbourg, revue *Écho bruit* n°103, septembre 2003.
- Bessix Alain
« Les écrans acoustiques, une démarche globale »
revue *Environnement et technique* n°203, janvier-février 2001.
- Pierre Nadeau, Michelle COUTAZ
« Acoustique des routes »
Cahiers du CSTB, décembre 1993.
- Dossier journée « Écrans acoustiques »
Revue *Acoustiques Et Techniques*, octobre 2000.

Textes officiels

- Directive du Conseil des communautés européennes 89/106/CEE du 21 décembre 1988 relative aux produits de construction.
- Décret n°92-647 du 8 juillet 1992 concernant l'aptitude à l'usage des produits de construction, modifié par les décrets n°95-1051 du 20 septembre 1995 et n°2003-947 du 3 octobre 2003.
- Arrêté du 24 avril 2006 portant application du décret n°92-647 aux dispositifs antibruit routiers.

Références normatives

Norme française :

- **NORME NF S 31-089** - octobre 2000 : acoustique
- Code d'essai pour la détermination de caractéristiques intrinsèques des écrans installés in situ.

Normes européennes publiées :

- **NORME NF EN 1793**
- **Partie 1** - novembre 1997 (Indice de classement Afnor : S 31-301) : Dispositifs de réduction du bruit du trafic routier - Méthode d'essai pour la détermination de la performance acoustique - Caractéristiques intrinsèques relatives à l'absorption acoustique.
- **Partie 2** - novembre 1997 (Indice de classement Afnor : S 31-302) : Dispositifs de réduction du

bruit du trafic routier - Méthode d'essai pour la détermination de la performance acoustique - Caractéristiques intrinsèques relatives à l'isolation aux bruits aériens.

- **Partie 3** - novembre 1997 (Indice de classement Afnor : S 31-303) : Dispositifs de réduction du bruit du trafic routier - Méthode d'essai pour la détermination de la performance acoustique - Spectre sonore normalisé de la circulation.
- **NORME NF EN 14388** - décembre 2005 : Dispositifs de réduction du bruit du trafic routier - Spécifications.
- **NORME NF EN 1794**
- **Partie 1** - mars 2004 (Indice de classement Afnor : P 98-481) : Dispositifs de réduction du bruit du trafic routier - Performances non acoustiques - Performances mécaniques et exigences en matière de stabilité.
- **Partie 2** - mars 2004 (Indice de classement AFNOR : P 98-482) : dispositifs de réduction du bruit du trafic routier - Performances non acoustiques - Prescriptions générales pour la sécurité et l'environnement.
- **NORME NF EN 14389**
- **Partie 2** - janvier 2005 : dispositifs de réduction du bruit du trafic routier - Procédures pour évaluer les performances de long terme - Caractéristiques non acoustiques.

Normes européennes en enquête :

- **NORME prEN 14389**
- **Partie 1** : dispositifs de réduction du bruit du trafic routier - Procédures pour évaluer les performances de long terme - Caractéristiques acoustiques.

Normes européennes expérimentales publiées :

- **NORME CEN/TS 1793**
- **Partie 5** - mars 2003 : dispositifs de réduction du bruit du trafic routier - Méthode d'essai pour la détermination de la performance acoustique intrinsèque - mesure in situ de l'absorption et de la transmission.
- **NORME CEN/TS 1793**
- **Partie 4** - décembre 2003 : dispositifs de réduction du bruit du trafic routier - Méthode d'essai pour la détermination de la performance acoustique intrinsèque - mesure in situ de la diffraction.

Avertissement : crédits photographiques

Malgré les efforts déployés, certains auteurs de photos présentes dans le guide n'ont pas pu être retrouvés. De même certains gestionnaires d'ouvrages remarquables pourront-ils se reconnaître sur quelques photos.

Le Certu remercie donc tout particulièrement les auteurs de ces photos d'avoir participé malgré eux à la confection de cet ouvrage de référence.

Table des matières

Introduction	6
Chapitre 1 Les différents types de protections à la source	8
1.1 Les écrans acoustiques	10
1.2 Les buttes de terre	11
1.3 Les écrans végétalisables	12
1.4 Les couvertures partielles	13
1.5 Les couvertures ajourées	13
1.6 Les couvertures totales ou les tunnels	14
1.7 D'autres dispositifs de protections contre le bruit	15
1.7.1 Les parements absorbants	15
1.7.2 Les couronnements d'écrans	15
Chapitre 2 La théorie des écrans et leur dimensionnement	16
2.1 Principes du fonctionnement physique d'un écran	18
2.1.1 La transmission	18
2.1.2 La réflexion / absorption	19
2.1.3 La diffraction	19
2.2 Principes du dimensionnement acoustique d'un écran	20
2.2.1 Analyse des résultats sans protection	20
2.2.2 Choix du type de protection envisageable	20
2.2.3 Examen des hypothèses de trafic	21
2.2.4 Dimensionnement, calculs d'efficacité	21
2.2.5 Méthodes utilisables	22
2.2.6 Qualité d'une étude	23
Chapitre 3 Efficacité acoustique des dispositifs	24
3.1 Implantation et positionnement de l'écran dans le site	26
3.1.1 Implantation par rapport à la voie	26
3.1.2 Optimisation du couple hauteur – longueur, murs en retour	26
3.1.3 Position de l'écran dans le site	28
3.1.4 Interruptions et recouvrements	28
3.2 Écrans et végétation	29
3.3 Matériau absorbant ou réfléchissant ?	30
3.4 Les écrans à reliefs	31
3.4.1 Principes physiques des écrans à reliefs	31
3.4.2 Directivité de quelques écrans à reliefs	32
3.5 Les couronnements d'écrans	33
3.6 Les obstacles de faible hauteur	35

3.7	Les couvertures ajourées	36
3.8	Effets météorologiques et écrans antibruit	37

Chapitre 4 Composants, structure et conception des écrans acoustiques

38

4.1	Généralités	40
4.1.1	Morphologie des écrans	40
4.1.2	Principaux composants des écrans	41
4.2	Écrans implantés hors ouvrages d'art	43
4.2.1	Adaptation au profil de la route	43
4.2.2	Fondations des écrans	44
4.2.3	Poteaux des écrans	46
4.2.4	Panneaux acoustiques	47
4.2.5	Dispositions relatives à l'étanchéité acoustique des écrans	50
4.2.6	Cas particulier : les écrans végétalisables	52
4.3	Écrans implantés sur ouvrages d'art	53
4.3.1	Adaptation au profil de la route	53
4.3.2	Principaux types d'écrans utilisés	54
4.3.3	Fondations/fixations	54
4.3.4	Dispositions particulières	55
4.4	Écrans et traitements particuliers	56
4.4.1	Écrans fixés sur murets en béton	56
4.4.2	Écrans fixés sur barrières de sécurité de type BM4	56
4.4.3	Traitement d'une paroi en béton par un revêtement absorbant	56
4.5	Exemples de réalisations	57
4.5.1	Écrans	57
4.5.2	Dispositifs particuliers	62

Chapitre 5 Les normes spécifiques aux écrans acoustiques

64

5.1	Des pratiques nationales à une normalisation européenne	66
5.1.1	Recommandations de 1978	66
5.1.2	Publication de la norme expérimentale S 31-089 en 1986 et recommandations Cetur en 1987	66
5.1.3	Publication de la norme homologuée NF S 31-089 en 1990 et recommandations Certu en 1997	66
5.1.4	La pratique actuelle	66
5.2	Les normes acoustiques	67
5.2.1	Qualification acoustique des produits	67
5.2.2	Réception acoustique des ouvrages	68
5.2.3	Norme européenne expérimentale de réception in situ	69
5.2.4	Norme européenne expérimentale de mesure de la diffraction	69
5.2.5	Projet de norme européenne d'évaluation de la durabilité acoustique	69
5.3	Les normes non acoustiques	70
5.3.1	Norme NF EN 1794-1	70
5.3.2	Norme NF EN 1794-2	71
5.3.3	Norme NF EN 14389-2	72
5.4	Le marquage des dispositifs	73
5.4.1	Le marquage CE	73
5.4.2	La procédure ATE	74

Chapitre 6	Recommandations pour la rédaction d'un CCTP d'écran acoustique	76
6.1	Efficacité acoustique des produits et des ouvrages	78
6.1.1	Les spécifications relatives aux produits et matériaux	78
6.1.2	Les spécifications relatives à l'ouvrage	79
6.2	Performances mécaniques et exigences en matière de stabilité (NF EN 1794-1)	81
6.2.1	Exigences mécaniques vis-à-vis de la charge aérodynamique	81
6.2.2	Exigences mécaniques vis-à-vis du poids propre	82
6.2.3	Impact de pierres	83
6.2.4	Sécurité en cas de collision de véhicules	83
6.2.5	Charge dynamique due au déblaiement de la neige	83
6.3	Autres recommandations, sécurité générale et considérations environnementales (NF EN 1794-2)	84
6.3.1	Résistance aux feux de broussailles	84
6.3.2	Danger des chutes de débris	84
6.3.3	Protection de l'environnement	84
6.3.4	Issues de secours en cas d'urgence	84
6.3.5	Réflexion de la lumière	85
6.3.6	Transparence	85
Chapitre 7	Pathologies et dégradations des écrans acoustiques	86
7.1	Généralités	88
7.2	Pathologies des parties en béton	89
7.3	Pathologies des parties métalliques autres que les fondations	90
7.4	Pathologies des parties transparentes	91
7.5	Pathologies des parties en bois	92
7.6	Pathologies des parties en béton de bois	93
7.7	Pathologies des parties en mousse d'argile	94
7.8	Pathologies des joints entre éléments	95
7.9	Vandalisme et graffitis	96
Chapitre 8	Esthétique, Architecture et Paysage	98
8.1	Perception des écrans	100
8.1.1	Du point de vue de l'utilisateur de l'infrastructure	100
8.1.2	Du point de vue du riverain	101
8.2	Esthétique, architecture et intégration paysagère de ces protections acoustiques	102
8.2.1	Généralités	102
8.2.2	Mise en œuvre dans le projet	103
8.2.3	Outils de visualisation	103
8.3	D'un point de vue pratique	104
8.3.1	Intégration par le matériau et la couleur	104
8.3.2	Intégration par la transparence	104
8.3.3	Intégration par la végétalisation	104
8.3.4	Intégration par la modestie	105
8.3.5	Cas particulier des buttes de terre	105
8.3.6	La question de l'entretien	106
8.3.7	Modulation de la forme et de la hauteur	106
8.3.8	Le traitement des extrémités et des limites	107

8.4	Quelques exemples et illustrations	108
8.4.1	Le BIP Ouest dans le Val d'Oise	108
8.4.2	L'A7 à proximité de Péage-de-Roussillon et de Bourg-lès-Valence	109
8.4.3	Quelques écrans à l'intégration « réussie »	109
8.5	Conclusion	110

Chapitre 9 Spécificités des écrans acoustiques ferroviaires

9.1	Introduction	114
9.2	Principales contraintes	115
9.2.1	L'exiguïté des emprises ferroviaires	115
9.2.2	La proximité des voies de circulation	116
9.2.3	Les contraintes d'exploitation, de sécurité et de maintenance	116
9.2.4	Le choix des matériaux	117
9.3	Description des ouvrages sur lignes à grande vitesse	119
9.3.1	Généralités	119
9.3.2	Conception des écrans	120
9.3.3	Matériaux, produits de construction	121
9.3.4	Etudes d'exécution et modes d'exécution des travaux	122
9.4	Exemples d'écrans acoustiques ferroviaires	124

Conclusion

126

ANNEXES

128

ANNEXE 1	Protection acoustique par butte de terre	130
A1.1	Efficacité acoustique	130
A1.2	Mise en œuvre	130
A1.3	Intégration paysagère	131
A1.4	Conclusion	132
ANNEXE 2	Enjeu de l'ajout d'absorbant sur les écrans pour quelques configurations de sites	133
A2.1	Simulations pour quelques configurations de sites plans	133
A2.2	Simulations pour quelques configurations de sites plus complexes	135
ANNEXE 3	Diagrammes de directivité de quelques écrans à reliefs comparés à un écran droit réfléchissant ou absorbant, et un écran incliné	138
A3.1	Lecture des diagrammes	138
A3.2	Résultats des simulations	139
A3.3	Conclusion	142
ANNEXE 4	Efficacité des couronnements d'écrans	143
A4.1	Considérations relatives aux principes physiques du fonctionnement des couronnements	143
A4.2	Résultats de simulations de l'efficacité de couronnements cylindriques et en T	144
A4.3	Modélisation en 2D d'un couronnement multi-diffracteur	149
ANNEXE 5	Le marché français des écrans : répartition en type de volumes et de matériaux et coûts moyens de réalisations observés	150
A5.1	Répartition en volume du marché	150
A5.2	Répartition par type de matériau	151
A5.3	Coûts moyens observés	151

Lexique des abréviations	155
Éléments Bibliographiques	157
Avertissement : crédits photographiques	159

Noise barriers

Design and construction

Noise barriers are one of the possible technical solutions that can be used to reduce noise generated by land-based transport infrastructures.

French regulations recommend giving priority to protection at the source of the noise, hence the construction of noise barriers rather than façade soundproofing. In fact, sound barriers also serve to protect outdoor spaces. Of course, satisfactory provision must be made to ensure that these barriers blend into the environment and the cost of building them must remain reasonable.

This guide is intended primarily for public contracting authorities and private project owners, design engineers and the operators responsible for sound barriers. After reviewing some of the basic technical aspects, the guide goes on to describe barrier structure in detail, drawing on the standards applicable and giving recommendations on drawing up the related contractual documents.

In addition, the guide looks at the most commonly related illnesses and stresses the importance of taking precautions to prevent them. Attention is also given to aesthetic and architectural design, essential factors that must be taken into consideration, especially with local residents in mind. The various points covered and examples described are amply illustrated by means of helpful diagrams and photographs.

Related publications:

- *Noise and road infrastructure studies – Project management handbook*
Lyon, Certu, October 2001, 236 pages.
- *Guide to land transport noise impact – Assessing noise levels*
Bagneux, CETUR, November 1980, 317 pages (only available in electronic format).

Las pantallas acústicas

Guía de concepción y realización

Las pantallas acústicas forman parte del panel de acciones técnicas posibles destinadas a reducir el ruido de las infraestructuras de los transportes terrestres.

La reglamentación francesa recomienda privilegiar la protección de la fuente generadora de ruido, es decir, la instalación de pantallas acústicas más que el aislamiento de las fachadas. En efecto, las pantallas también permiten proteger los espacios exteriores. Ahora bien, las condiciones de inserción de tales pantallas en el entorno deben ser satisfactorias y el coste de su instalación debe ser razonable.

La presente guía está destinada particularmente a los propietarios públicos o privados, diseñadores y operadores de pantallas acústicas. Tras una breve recapitulación de un cierto número de bases técnicas, ésta detalla la estructura de las pantallas, evoca el contexto normativo aplicable y brinda recomendaciones para la redacción de los documentos contractuales.

Además, esta obra analiza las patologías más frecuentemente constatadas e insiste en las precauciones que se han de tomar para evitarlas. Los aspectos estéticos y arquitecturales no han sido olvidados, pues éstos son primordiales particularmente para los vecinos. Los numerosos diseños explicativos y las fotos permiten ilustrar los diferentes puntos abordados y los ejemplos presentados.

Obras asociadas:

- *Ruido y estudios viales – Manual del Jefe de Proyecto*
Lyon, Certu, October 2001, 236 pages.
- *Guía del ruido de los transportes terrestres – Previsión de los niveles sonoros*
Bagneux, CETUR, noviembre 1980, 317 páginas (disponible únicamente en formato electrónico).

© CERTU - 2007

Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables
Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du CERTU est illicite (loi du 11 mars 1957). Cette reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Coordination : Service Éditions (Patrick Marchand)

Mise en page : Keïdo - ☎ 04 78 28 36 26

Impression : Jouve - ☎ 01 44 76 54 40

Achévé d'imprimer : Décembre 2007

Dépôt légal : 4^e trimestre 2007

ISNN : 1263-3313

ISBN : 978-2-11-097152-4

Cet ouvrage est en vente au CERTU

Bureau de vente :

9, rue Juliette Récamier

69456 LYON cedex 06 - France

☎ 04 72 74 59 59

Internet : <http://www.certu.fr>