

RECOMMANDATIONS
TECHNIQUES
POUR LES OUVRAGES
DE PROTECTION
CONTRE LE BRUIT

Guide du Bruit des Transports Terrestres



Je vous prie de bien vouloir trouver ci-joint un document intitulé "Recommandations Techniques pour les ouvrages de protection contre le bruit", établi par le CETUR, sous l'autorité du "Groupe inter-ministériel du bruit des Transports Terrestres.

Ce document constitue le 4ème fascicule de l'ensemble appelé *Guide du Bruit des Transports Terrestres*. A ce jour, les fascicules édités sont donc les suivants :

- Présentation générale (septembre 1976)
- Aspects de la gêne due au bruit de la circulation routière (février 1976)
- Catalogue de cas (Septembre 1976)
- Recommandations Techniques pour les ouvrages de protection contre le bruit (mai 1978)

Depuis plusieurs mois, la préparation du prochain fascicule est entreprise. Il s'agit d'un document très attendu par les services ayant à prévoir les niveaux sonores ou à concevoir des protections. Ce 5ème fascicule portera sur les Méthodes de calcul des niveaux sonores. Sa diffusion est prévue, pour le début de l'année prochaine.

Groupe interministériel du bruit des transports terrestres

Voici donc une nouvelle pierre apportée à l'édifice. Elaborer un guide complet dans un domaine encore si nouveau que le bruit des transports terrestres était, en 1974, une entreprise ambitieuse mais nécessaire. La présente publication démontre qu'elle se poursuit sans défaillance, non pas d'ailleurs dans l'ordre logique de tous ses éléments, mais dans un esprit pragmatique : répondre aux besoins les plus pressants.

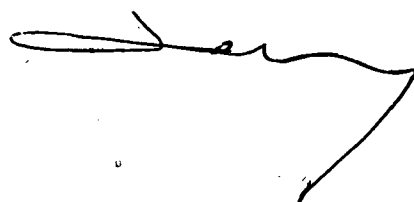
C'est ainsi qu'apparaît aujourd'hui ce fascicule très attendu sur les ouvrages de protection. Les publications précédentes ont sensibilisé les maîtres d'œuvre aux implications des aspects psycho-sociologiques du bruit, et donné un aperçu des solutions adoptées ici et là pour prévenir ou combattre cette nuisance. Pour la première fois, ils retrouveront ici des considérations qui leur sont plus familières sur les techniques de la matière et de la construction adaptées aux problèmes d'acoustique.

Au premier contact, ce document pourra paraître à certains bien épais. Feuilletez-le cependant, et vous constaterez ceci : sa structure est parfaitement claire ; sa lecture est aisée et ne présuppose aucune connaissance scientifique en acoustique ; enfin on peut « y entrer » directement par un chapitre ou même un paragraphe quelconque : il suffit de consulter d'abord le sommaire.

L'introduction insiste à juste titre sur un autre caractère du fascicule : il s'agit de recommandations et non de directives formelles, encore moins de prescriptions réglementaires, sauf bien entendu lorsqu'il est fait explicitement référence à de telles normes portant sur les techniques de construction. Pour être un jour plus ferme, il convient d'attendre que les connaissances s'affinent par l'expérience de tous. Doit-on rappeler à ce propos que les premières instructions officielles sur le béton armé n'ont vu le jour qu'après plus de cinquante années de tâtonnements sur le terrain ?

Dans le sujet plus subtil du bruit, il faut demeurer résolu à progresser parallèlement dans le savoir et sa diffusion ; ainsi le guide complet sera-t-il sorti avant cinquante mois !

E. BIDEAU
Président du groupe Bruit



AVERTISSEMENT

Le présent document s'adresse essentiellement aux Maîtres d'Œuvre, aux fabricants et aux Entreprises chargées de mettre en place des ouvrages spécialement conçus comme protection contre le bruit des transports.

Il porte sur la Technologie et la réalisation des protections. Il ne contient pas les règles nécessaires à leur dimensionnement en fonction de l'efficacité recherchée, puisque celles-ci seront contenues dans le fascicule « Méthodes de Prédiction des niveaux sonores ».

Etabli à partir des connaissances actuelles en la matière et des quelques expériences de protection réalisées à ce jour en France, ce document ne pouvait atteindre la précision et la rigueur nécessaires à la rédaction de spécifications. Il ne contient donc que des recommandations, et préserve toutes les évolutions ultérieures d'un domaine encore en pleine évolution.

Domaine abordé par les présentes recommandations

Les ouvrages de protection contre le bruit sont destinés à réduire les niveaux sonores existants ou prévisibles dans des zones sensibles situées à proximité des voies de circulation importantes. Ils visent l'amélioration du confort des riverains, sans pour autant nuire à la sécurité des usagers des voies de circulation.

Le présent document porte sur les ouvrages spécialement conçus dans le but d'assurer une fonction de protection contre le bruit, et qui sont implantés entre la source (les véhicules en circulation sur l'infrastructure de transport) et le récepteur (espaces ou bâtiments à protéger).

Rassemblés sous le terme général « d'écrans contre le bruit », ils comprennent les murs

verticaux, les buttes de terre, les couvertures partielles ou totales des voies de circulation.

La gamme des protections ainsi décrites ne saurait être considérée comme exhaustive. Elle ne recouvre qu'une partie des actions possibles pour lutter contre le bruit et, à l'intérieur de ce domaine, ne comporte que les dispositifs reconnus à ce jour comme efficaces.

Les mesures de protection relatives aux bâtiments eux-mêmes (isolement de façade, disposition des pièces...) ou bien à la conception de l'urbanisme (plans masse, choix des activités, zonage...) sont présentées par ailleurs, dans d'autres fascicules du Guide du Bruit des Transports Terrestres.

Le présent document a été conçu comme devant permettre au Maître d'Œuvre de définir la protection qu'il souhaite réaliser et de juger les propositions qui lui seront faites par les fabricants.

A ce titre il contient :

- l'indication des contraintes spécifiques (acoustique) ou le rappel des contraintes générales (construction d'ouvrage à proximité de voies circulées) qu'il convient de respecter pour chaque type de protection,
- une description des principaux dispositifs de protection utilisés à ce jour.

Ainsi, il apporte au Maître d'Œuvre les indications nécessaires (1) à la réalisation des ouvrages de protection contre le bruit, que ce soit pour rédiger le dossier d'appel d'offres (et notamment le cahier des clauses techniques particulières - CCTP), pour choisir la solution adéquate au regard du problème posé, et pour contrôler la bonne exécution des ouvrages.

(1) Dans la mesure des connaissances actuelles en la matière.

Cependant, certains problèmes n'ont pu être abordés avec la précision souhaitable pour le Maître d'Œuvre : soit parce que l'expérience est encore trop restreinte (entretien des écrans, résistance des matériaux à la corrosion, etc...) soit parce qu'ils correspondent à des techniques encore expérimentales par nombre de leurs aspects (damier « acoustique », couvertures partielles, écrans le long des voies ferrées, etc...).

Pour ces problèmes, nous attirons l'attention du Maître d'Œuvre sur le danger qu'il y aurait à compléter sans précaution les indications contenues dans les présentes recommandations.

Nous lui recommandons plutôt de s'adresser à des services spécialisés qui suivent l'évolution des techniques les plus récentes et pourront actualiser les indications qui leur sont nécessaires. Ils pourront s'adresser en particulier aux CETE (1) des différentes régions, au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, au SETRA (2) ou au CETUR (3) qui leur fourniront, pour ce qui les concerne, les derniers développements en la matière.

Par ailleurs, avant de mettre en œuvre ou de concevoir une protection, le Maître d'Œuvre se reportera utilement aux autres fascicules du Guide du Bruit des Transports Terrestres, et en particulier au fascicule de Présentation Générale qui présente une méthodologie d'étude, les outils disponibles et apporte des éléments sur le choix d'un objectif quantifié pour une étude de bruit.

Présentation du document

Les présentes recommandations ont été organisées en 3 parties :

- **I^{re} partie** : recommandations techniques relatives aux écrans verticaux et buttes de terre.
- **II^e partie** : recommandations techniques relatives aux couvertures partielles ou totales des chaussées.
- **III^e partie** : recommandations techniques relatives aux ouvrages de protection implantés le long de voies ferrées.

Chacune de ces parties comporte :

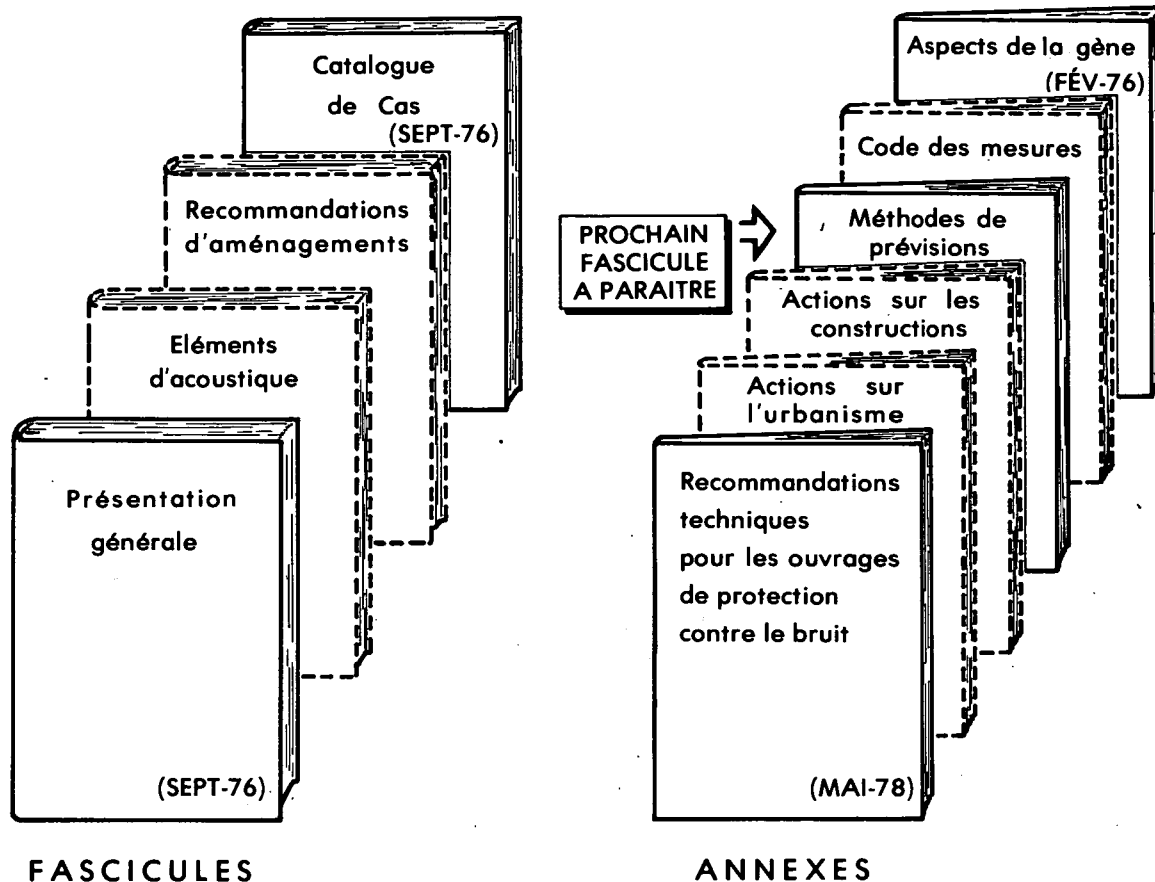
- un classement par type des principales protections actuelles,
- les éléments d'acoustique nécessaires à la compréhension et la justification des recommandations,
- les recommandations relatives aux contraintes acoustiques,
- les recommandations relatives aux contraintes générales, notamment stabilité propre, sécurité, incendie, éventuellement éclairage et ventilation,
- des indications sur l'agrément et la réception des ouvrages.

Le présent document constitue un des fascicules du Guide du Bruit des Transports Terrestres, dont la composition est rappelée dans le schéma ci-joint.

(1) Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement.

(2) Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes.

(3) Centre d'Etudes des Transports Urbains.



**ENSEMBLE DES DOCUMENTS CONSTITUANT LE GUIDE DU BRUIT
DES TRANSPORTS TERRESTRES**

RECOMMANDATIONS TECHNIQUES RELATIVES

1 PARTIE

**RECOMMANDATIONS
TECHNIQUES
POUR
LES OUVRAGES
DE PROTECTION
CONTRE LE BRUIT**

AUX ÉCRANS VERTICAUX ET BUTTES DE TERRE

SOMMAIRE

	Pages
1. CONCEPT D'ÉCRAN ACOUSTIQUE	15
2. CLASSEMENT PAR TYPE DES PRINCIPAUX ÉCRANS	19
2.1 Ecrans de grande hauteur	20
2.2 Ecrans courants	21
2.2.1 Ecrans réfléchissants	21
2.2.2 Ecrans absorbants	22
2.3 Ecrans de faible hauteur	24
3. ÉLÉMENTS D'ACOUSTIQUE	
3.1 Hypothèses particulières pour l'acoustique des transports	27
3.2 Propagation sonore en absence d'écran	28
3.2.1 Absorption par l'air	28
3.2.2 Divergence géométrique	28
3.2.3 Influence du sol	29
3.2.4 Influence du vent et de la température	29
3.2.5 Effets cumulés : atténuation en fonction de la distance	30
3.3 Effets d'un écran sur la propagation sonore	31
3.3.1 Transmission du son à travers une paroi	31
3.3.2 Diffraction	34
3.3.3 Réflexion	35
3.3.4 Absorption	35
3.3.5 Energie directe résiduelle	37
4. RECOMMANDATIONS RELATIVES AUX CARACTÉRISTIQUES ACOUSTIQUES DES ÉCRANS	41
4.1 Choix des matériaux	42
4.1.1 Recommandations concernant la transmission	42
4.1.2 Recommandations concernant l'absorption	43
4.2 Dispositions constructives liées à l'acoustique	44
4.2.1 Hauteur de l'écran	44
4.2.2 Implantation par rapport à la voie	45
4.2.3 Longueur et implantation par rapport au site	46
4.2.4 Interruptions - Recouvrements	48
4.2.5 Traitement des extrémités	48

4.2.6	Réflexions	49
4.2.7	Étanchéité de l'ensemble du dispositif à la transmission	51
4.2.8	Ecrans de faible hauteur	51
4.2.9	Recommandations particulières pour les écrans sur ouvrage	52
 5. AUTRES RECOMMANDATIONS TECHNIQUES		
5.1	Stabilité propre de l'ouvrage	55
5.2	Sécurité à l'égard du choc d'un véhicule	56
5.2.1	Position du problème	56
5.2.2	Deux niveaux de sécurité : berlines et poids lourds	57
5.2.3	Dispositifs de retenue pour l'isolement des sections courantes	58
5.2.4	Dispositifs à double fonction : acoustique et sécurité	60
5.2.5	Recommandations pour l'isolement des extrémités	63
5.3	Autres aspects liés à la sécurité	64
5.3.1	Effet de paroi	64
5.3.2	Communication de part et d'autre de l'écran	64
5.3.3	Recommandations relatives au risque d'éblouissement	65
5.3.4	Risque d'incendie	65
5.4	Recommandations relatives à l'entretien des murs verticaux	66
5.4.1	Concernant le matériau lui-même	66
5.4.2	Concernant l'ensemble du dispositif constituant l'écran	67
5.5	Réflexions sur l'esthétique des écrans	68
5.5.1	Traitement de la hauteur de l'écran	68
5.5.2	Traitement de la surface	69
5.5.3	Utilisation des différents types de matériaux	73
5.5.4	Ecran intégré ou œuvre architecturale	74
5.5.5	L'écran est vécu, côté riverain	74
5.5.6	Conclusion	76
 6. RECOMMANDATIONS PARTICULIÈRES RELATIVES AUX BUTTES DE TERRE		
6.1	Dimensionnement en hauteur	79
6.1.1	Ecran vertical équivalent	81
6.1.2	Efficacité	82

6.2 Matériaux utilisés	
6.2.1 Buttes de terre proprement dites	84
6.2.2 Autres solutions	84
6.3 Section des buttes de terre	85
6.4 Recommandations diverses	87
6.4.1 Interruption - recouvrement	87
6.4.2 Mise en œuvre - compactage	87
6.4.3 Aspect - plantations	87
6.4.4 Limites du domaine public	88
6.5 Dispositifs mixtes : murs verticaux et buttes de terre	89
6.6 Utilisation des végétaux	92
6.6.1 Efficacité acoustique	92
6.6.2 Aspect esthétique	92
7. AGRÉMENT OU RÉCEPTION DES MURS VERTICAUX OU BUTTES DE TERRE	95
7.1 Agrément et réception pour l'acoustique	
7.1.1 Procédure générale	96
7.1.2 Diffraction	97
7.1.3 Transmission	97
7.1.4 Absorption - réflexion	97
7.1.5 Recherches en cours sur la réception ou l'agrément des ouvrages - Perspectives d'avenir	97
7.2 Agrément pour la sécurité	
7.2.1 Dispositif à fonctions séparées	99
7.2.2 Dispositif à double fonctions	99

CONCEPT D'ÉCRAN ACOUSTIQUE

**RECOMMANDATIONS
TECHNIQUES
RELATIVES
AUX
ÉCRANS
VERTICAUX
ET BUTTES DE TERRE**

Le concept d'écran, par définition, s'applique à « tout objet qui dissimule ou protège » (définition du Petit Robert).

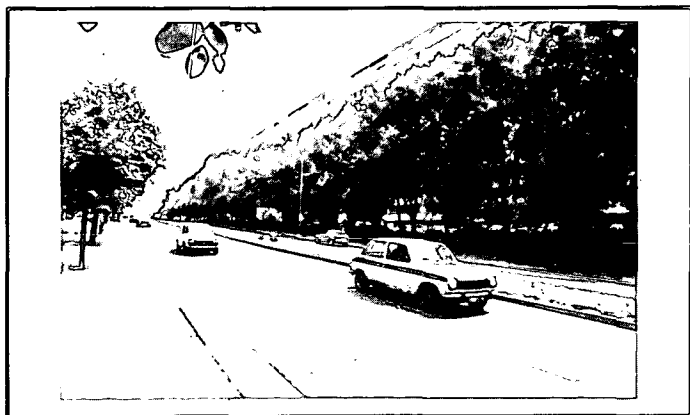
L'écran acoustique, comme l'écran visuel, peut être caractérisé par ses deux fonctions :

- dissimuler une source à la perception d'un récepteur donné,
- protéger ce récepteur des effets de cette source si ces effets sont considérés comme gênants.

En ce qui concerne le bruit des Transports, tout élément implanté en bordure de la voie de circulation et qui possède les deux propriétés ci-dessus peut donc être considéré comme « écran au bruit de la circulation » : bâtiments, ouvrages, entrepôts, remblais d'ouvrages, buttes de terre, murs d'enceinte ou de clôture, etc... Une route par exemple peut constituer un écran par rapport à une autre route (c'est souvent le cas pour certaines bretelles d'échangeurs), ou par rapport à une autre source (voie ferrée...).

Cependant, pour que l'écran « dissimule » et « protège » efficacement contre le bruit, il est nécessaire de lui donner des caractéristiques techniques bien précises.

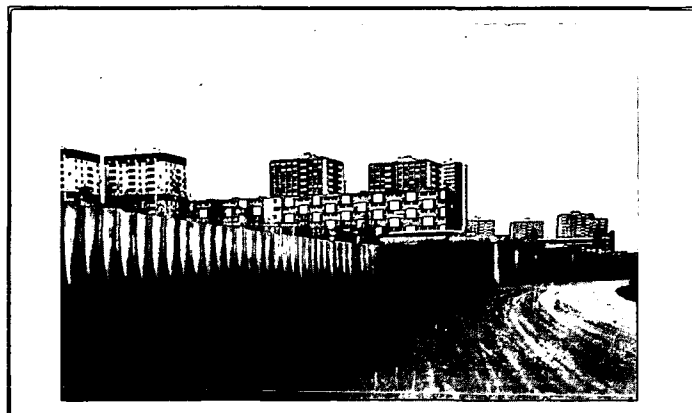
Un rideau d'arbres par exemple « dissimule » la route pour un récepteur placé derrière. Il ne protège cependant pas ce récepteur contre le bruit car sa résistance à la transmission est négligeable.



Un écran visuel dissimule à la vue, mais il ne constitue pas un écran acoustique.

Les présentes recommandations portent sur les caractéristiques que doit posséder un ouvrage, lorsqu'il est spécialement conçu dans le but de constituer un écran acoustique à l'égard du bruit de la circulation routière ou ferrée.

Elles sont rédigées à partir des connaissances théoriques actuelles ainsi que de l'expérience acquise au cours des dernières années. Elles devront être mises à jour au fur et à mesure de l'avancement des connaissances et de l'expérience pratique acquise lors des réalisations à venir.



Un écran acoustique doit posséder des caractéristiques précises pour être efficace.

RECOMMANDATIONS
TECHNIQUES
RELATIVES
AUX

CLASSEMENT

ÉCRANS
VERTICAUX
ET BUTTES
DE TERRE

PAR TYPE
DES PRINCIPAUX

ÉCRANS ACTUELS

Les ouvrages de protection contre le bruit actuellement à la disposition des Maîtres d'Œuvre peuvent être classés de la façon suivante :

- écrans verticaux

Ce sont des murs verticaux ou légèrement inclinés conçus pour faire écran contre le bruit. Ils peuvent être eux-mêmes répertoriés selon une double typologie :

- en fonction de leur hauteur on distingue :
 - les écrans de grande hauteur (hauteur supérieure à 6 m),
 - les écrans courants (hauteur comprise entre 2 m et 6 m),
 - les écrans de faible hauteur (inférieure à 2 m),
- en fonction des caractéristiques acoustiques de la paroi, selon qu'elle est absorbante ou réfléchissante :
- les buttes de terre et solutions mixtes « écran plus buttes »,
- les couvertures partielles ou totales de la chaussée,
- les protections pouvant être implantées en bordure des voies ferrées.

Le présent paragraphe présente les principaux écrans verticaux existants de nos jours, en les classant par type.

Le paragraphe 6 des présentes recommandations, décrira les buttes de terre ainsi que les solutions mixtes : buttes et écrans.

Les couvertures partielles ou totales des chaussées et les écrans pouvant être implantés en bordure de voies ferrées sont décrits dans les parties II et III des présentes recommandations.

Les indications qui suivent ne concernent donc que les écrans verticaux implantés en bordure de voies routières. Il est évident que les exemples contenus dans ce chapitre ne sauraient être exhaustifs, même pour ce qui concerne les écrans existants à ce jour. Leur présentation a pour objet d'amorcer une classification rationnelle des dispositifs utilisés et d'en présenter un certain nombre au lecteur.

Ecrans de grande hauteur

2.1

Il s'agit des écrans dont la hauteur est supérieure à 6 m à compter du niveau de la chaussée.

Ces écrans, considérables par leurs dimensions, doivent être conçus comme de véritables ouvrages d'art.

Après avoir défini la position minimale de l'arête de diffraction (dimensionnement en hauteur de l'écran), sa longueur et son implantation, en fonction de l'efficacité acoustique souhaitée, la préoccupation majeure du concepteur devrait porter sur l'intégration de ces ouvrages dans le site.

Une étude architecturale devrait être entreprise de façon quasi systématique. Si des plantations sont prévues pour l'agréments, il semble nécessaire de les prendre en compte dès la conception de l'ouvrage.

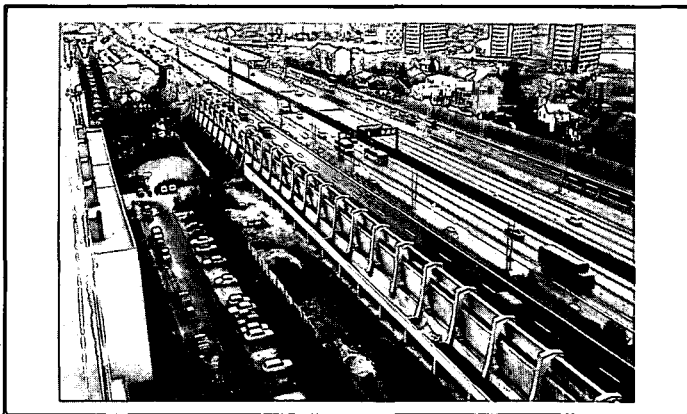
L'exemple le plus connu pour ce type de protection est la barrière paysagère Est de l'Hay-les-Roses, implantée le long des autoroutes A6 et B6. Cet ouvrage a fait l'objet d'une fiche descriptive contenue dans le « catalogue de cas » du Guide du Bruit des Transports Terrestres.



Un écran aux dimensions considérables pour protéger un site exceptionnel.



Ecran acoustique de grande hauteur (8 m par rapport à la route).



Vue d'ensemble : site particulièrement dense et élevé, route très importante (deux autoroutes) et protection acoustique de grandes dimensions.

Ecrans courants (hauteur comprise entre 2 m et 6 m)

2.2

De nombreux types d'écrans existent à ce jour et sont proposés sur le marché par les fabricants. On peut les classer en plusieurs catégories.

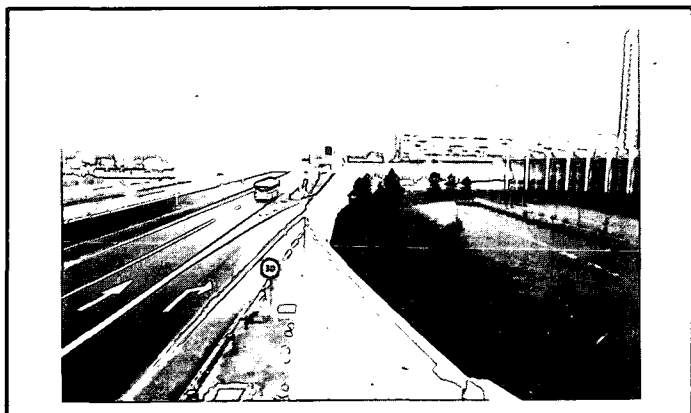
Ecrans réfléchissants

2.2.1

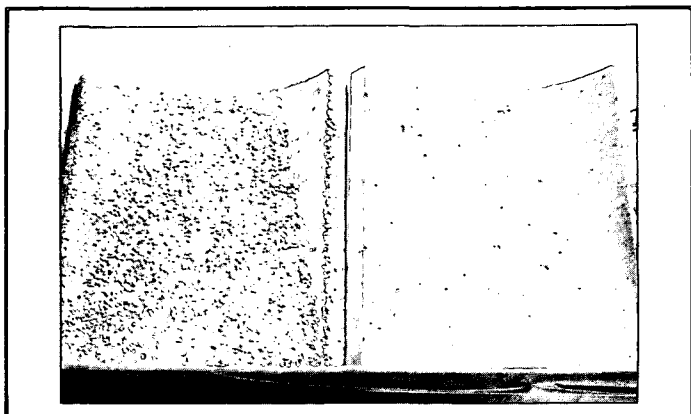
On peut distinguer, pour ces écrans deux sous-ensembles : les écrans compacts et les écrans avec ossature porteuse distincte des plaques formant écran.

■ Ecrans compacts

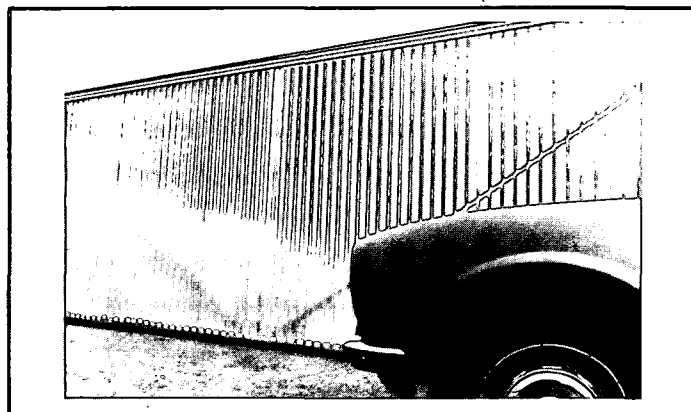
Ils peuvent être en béton armé, en métal, en plastique, en bois, etc... Ces écrans sont formés de murs auto-porteurs, fondés sur semelles filantes ou sur pieux, selon la qualité des terrains.



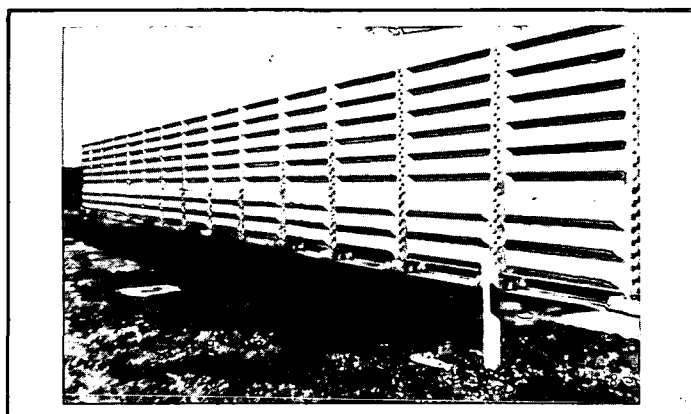
Ecran compact en béton le long de l'autoroute A86.



Les corolles de l'autoroute B3 constituent un écran compact.



Cet écran en plastique translucide peut être considéré comme compact, bien que non constitué d'une paroi simple : Ses éléments porteurs ne créent pas de discontinuité dans la longueur de l'écran.

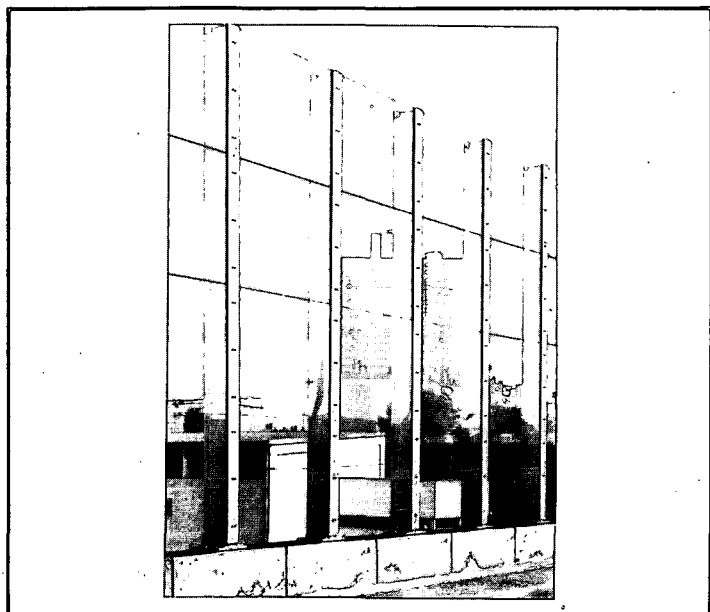


Cet écran métallique, sera considéré comme un écran compact : les poteaux sont intégrés dans les plaques avec variation progressive de la résistance des éléments.

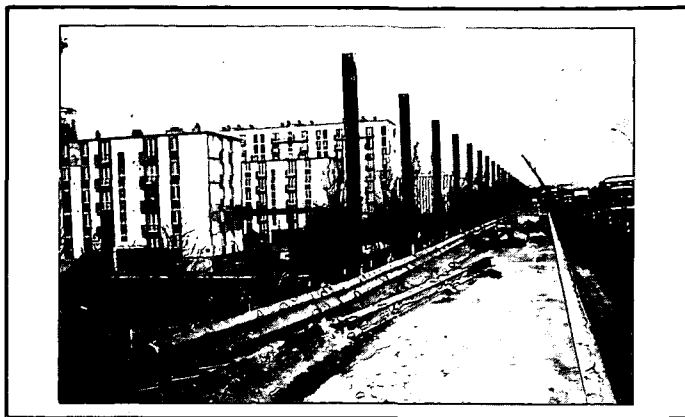
■ Ecran comprenant une ossature porteuse distincte des plaques formant écran

L'ossature porteuse est généralement constituée, pour ce type d'écran, de profilés métalliques (acier ou alliages d'aluminium) fichés en terre, fondés sur semelles ou ancrés sur ouvrages par l'intermédiaire de tiges filetées et boulons.

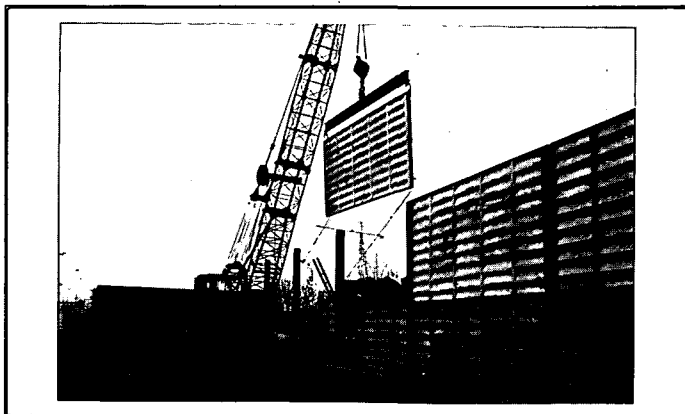
Les éléments formant écran sont des plaques préfabriquées glissées entre éléments porteurs. Ces plaques sont constituées de tous matériaux appropriés : béton, métal, verre, plastique, etc... (1)



Autre exemple : le verre, soutenu par des profilés en aluminium qui résistent aux efforts et permettent l'ancrage.



L'écran expérimental de L'HAY-LES-ROSES, le long des autoroutes A6-B6 constitue l'exemple type d'écran à structure porteuse non intégrée. Ici on distingue les profilés métalliques...



...qui supportent les plaques en béton armé glissées entre les poteaux. Ces plaques assurent la fonction d'écran acoustique.

2.2.2.

Ecrans absorbants

Il en existe de nombreux modèles sur le marché. En fait, ils comprennent :

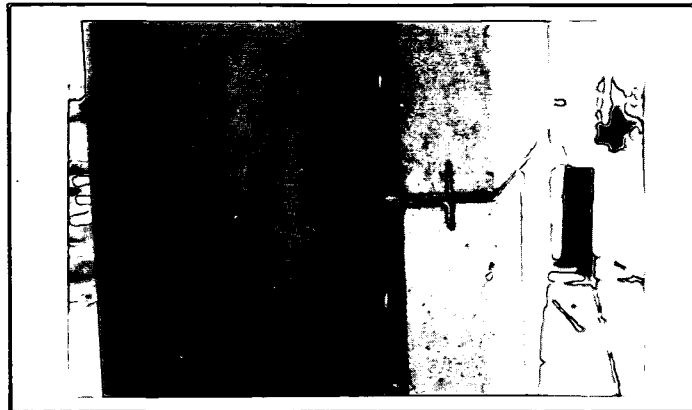
- soit des écrans réfléchissants revêtus de matériaux absorbants,
- soit des écrans dont la conception a pris en compte, dès l'origine, l'utilisation du matériau absorbant. Dans ce cas, on peut constater que leur ossature porteuse est généralement distincte des plaques formant écran, bien que ceci ne constitue en aucune façon une obligation, au regard de l'efficacité acoustique de ces écrans,

Les matériaux pouvant être utilisés, et donc l'aspect du mur, peuvent être très divers : bois enchevêtrés, mousse d'argile, plastique ou métal perforés, laines minérales, etc...

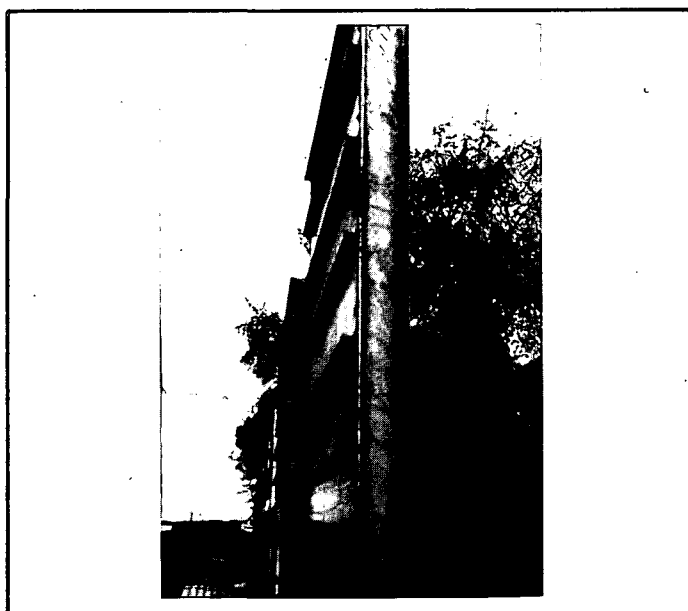
(1) Il est à noter que certains matériaux posent des problèmes particuliers. Le verre par exemple réclame une technologie sophistiquée et une attention particulière. Des recommandations précises seront fournies ultérieurement, au fur et à mesure de l'avancement des connaissances. Néanmoins, il serait injustifié de l'écarter des matériaux utilisables, vu ses avantages. Les problèmes qu'ils posent sont en fait maîtrisables. Pour plus d'informations, s'adresser au CETUR dans l'attente d'une publication particulière sur ce sujet.



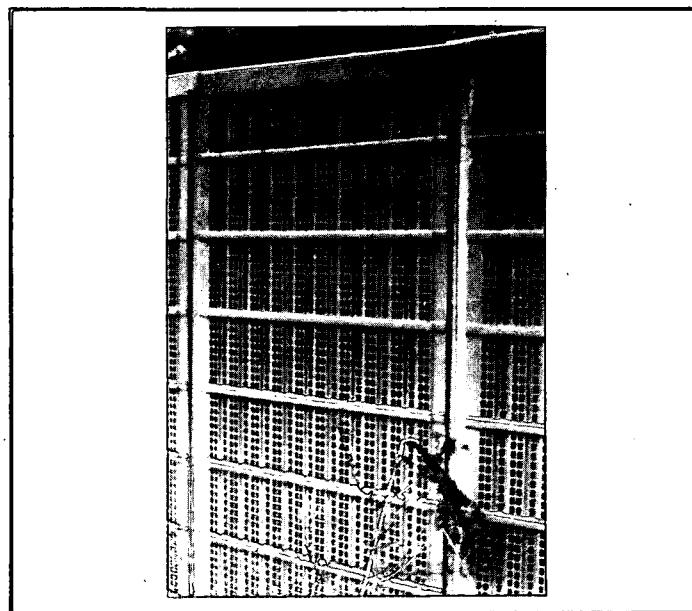
L'écran absorbant implanté à CAEN. Les plaques d'absorbant sont posées sur un bardage acier....



...par l'intermédiaire de lisses métalliques horizontales.



On distingue nettement les profilés métalliques ancrés dans le mur de soutènement qui constituent l'ossature porteuse sur laquelle sont fixés les bardages avant et arrière, puis glissées les plaques absorbantes côté route.



Un autre écran absorbant : les plaques sont encore glissées dans des profilés métalliques. (Allemagne.)



Autre exemple d'écran absorbant : plaques perforées côté route, laine minérale et bardage arrière plein, glissées entre profilés métalliques porteurs. (Japon).



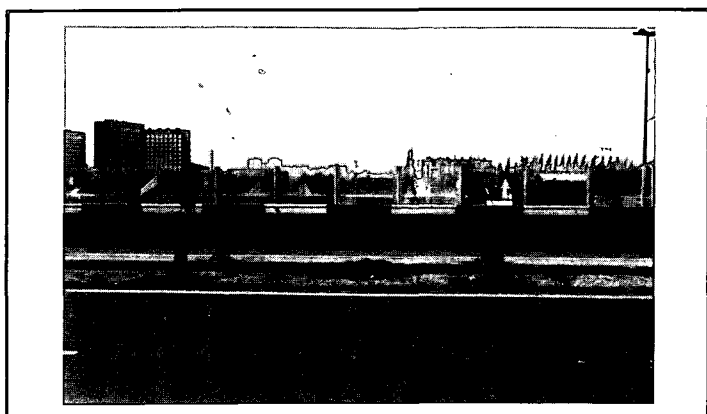
Composition type d'une plaque : bardage arrière plein, lame d'air, couche de matériaux fibreux et bardage avant perforé. (Allemagne).

Ecrans de faible hauteur

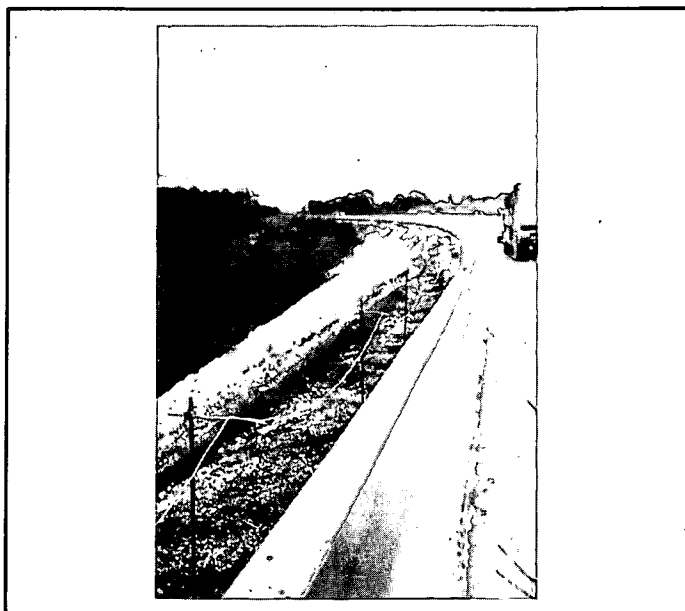
2.3

Leur hauteur est inférieure à 2 m mais ne devrait jamais être inférieure à 1 m. Il s'agit d'écrans apportant une efficacité sensible mais limitée, adaptés seulement à quelques sites particuliers. Tout dispositif approprié peut être utilisé :

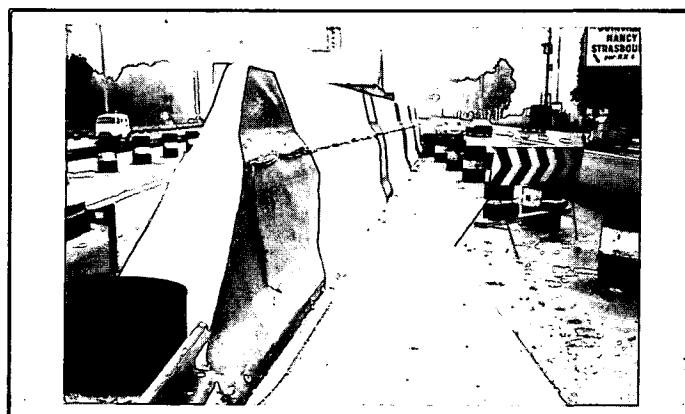
- soit les écrans courants adaptés à l'efficacité recherchée sur ces sites particuliers,
- soit des dispositifs remplissant d'autres fonctions et qui peuvent assurer une efficacité acoustique suffisante, par exemple :
 - séparateur en béton type DBA implanté en bordure de chaussée,
 - écran plastique, etc...



Ecran verre implanté sur viaduc (autoroute B3).



Un muret en béton peut dans certaines conditions d'implantation, jouer le rôle d'écran acoustique sur viaduc ou remblai...



...d'autant plus que sa hauteur peut être portée à 2 m, selon un procédé récemment mis au point sur l'autoroute A4.

ELEMENTS
3
RECOMMANDATIONS
TECHNIQUES
RELATIVES
AUX ÉCRANS
VERTICAUX ET
BUTTES DE TERRE
D'ACOUSTIQUE

Hypothèses particulières pour l'acoustique des transports

3.1

La description des effets d'un écran, objet des paragraphes ci-après, repose sur plusieurs hypothèses simplificatrices qui sont en fait celles de l'acoustique des transports. Pour la recherche en acoustique, elles seraient trop contraignantes et la mise au point de dispositifs sophistiqués nécessite d'aller au-delà de ces hypothèses. Cependant, dans le cas général, elles permettent de rendre compte des principaux phénomènes relatifs aux effets d'un écran avec une précision suffisante pour l'utilisateur des présentes recommandations et pour celui qui les réalise.

Les principales hypothèses simplificatrices sont les suivantes :

- La dimension des obstacles est très grande devant la longueur d'onde du son émis par la source « S ». Cette hypothèse permet d'utiliser des méthodes semblables à celles de l'optique pour décrire la propagation sonore (acoustique géométrique). On peut alors définir les rayons sonores comme des courbes de l'espace qui matérialisent les directions suivant lesquelles l'énergie acoustique se propage.
- L'air est considéré comme un milieu homogène et isotrope. Ainsi, dans l'air, les rayons sonores sont des droites.
- La source est considérée, dans le cas des véhicules routiers, comme une source ponctuelle et omnidirectionnelle, c'est-à-dire qu'elle émet une intensité acoustique constante dans toutes les directions.
- Une route sur laquelle circulent plus de 300 véhicules par heure, sera considérée comme une ligne source infiniment longue.
- La circulation routière engendre un bruit dont la composition en fréquence est très variable, d'un véhicule à l'autre.

Il est cependant couramment admis qu'en moyenne, pour une route normalement circulée, le bruit engendré correspond au bruit routier normalisé tel que défini dans la circulaire 72-110 du 29 juin 1972, relative au « Label confort acoustique ». C'est à partir de ce bruit routier normalisé, dont les caractéristiques sont rappelées ci-dessous, que sont établies les présentes recommandations :

	Contribution de chaque octave exprimé en niveau de pression	
	en dB	pondéré selon la courbe (A)
125 Hz	71	55
250 Hz	70	62
500 Hz	66	63
1 000 Hz	65	65
2 000 Hz	63	64
4 000 Hz	57	58
		Total : 70 dB (A)

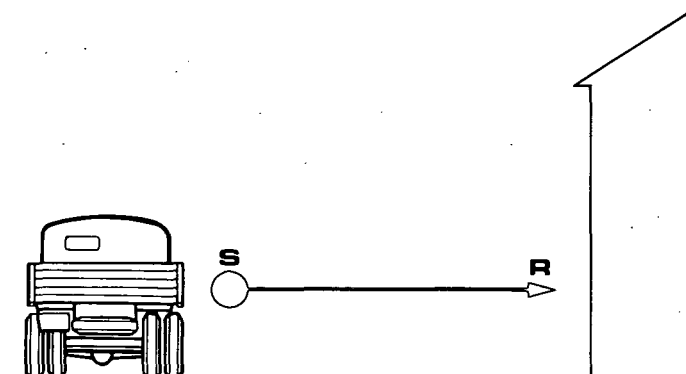
Propagation sonore en absence d'écran

3.2

Le son va de la source au récepteur en suivant le rayon sonore (SR). Plus la distance entre la source et le récepteur est grande, plus le niveau perçu en R est faible.

L'atténuation dépend de plusieurs effets :

- l'absorption par l'air,
- la divergence géométrique,
- les effets de sol,
- les effets du vent et de la température.



3.2.1

Absorption par l'air

Une onde sonore qui parcourt un trajet dans l'air perd une part de son énergie, qui est absorbée par l'air. L'absorption est fonction de la distance parcourue, de la température, de l'humidité de l'air et de la fréquence de l'onde sonore.

Dans l'air, aux fréquences audibles, on peut admettre que cette absorption pour le bruit d'une route (source linéaire) est la suivante (1) :

Distance du récepteur à la route	Atténuations dues à l'absorption par l'air en dB (A) pour un bruit routier
50 m	1 dB (A)
150 m	2 dB (A)
300 m	4 dB (A)
1 000 m	6 dB (A)

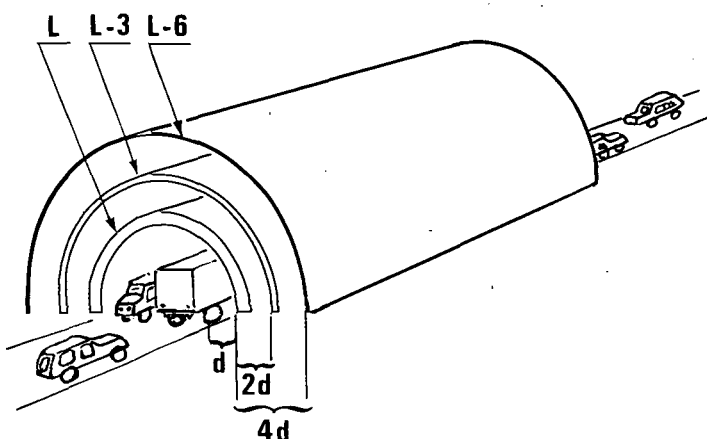
3.2.2.

Divergence géométrique

Les surfaces isophones autour d'une source linéaire peuvent être représentées par des cylindres axés sur la ligne source.

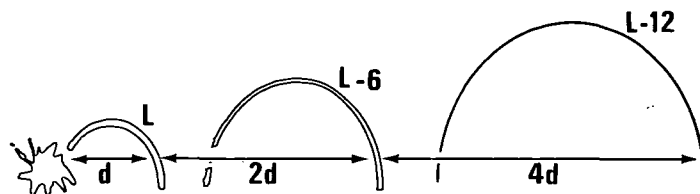
La notion de divergence géométrique exprime le fait que les surfaces isophones se déduisent l'une de l'autre, en première approximation, par homothétie.

Pour tout doublement de la distance à la source, la surface isophone est doublée. Le principe de conservation d'énergie d'une isophone à l'autre permet d'en déduire que pour tout doublement de distance, l'intensité sonore est divisée par deux.



(1) « Etude des modes de protections phoniques aux abords des voies rapides urbaines ». CSTB. Juin 1969.

Il s'ensuit, et c'est là la notion à retenir en acoustique des transports, que tout doublement de la distance à une source linéaire se traduit par une diminution de 3 dB (A) de niveau sonore. Pour une source ponctuelle, cette diminution serait de 6 dB (A) par doublement de distance.



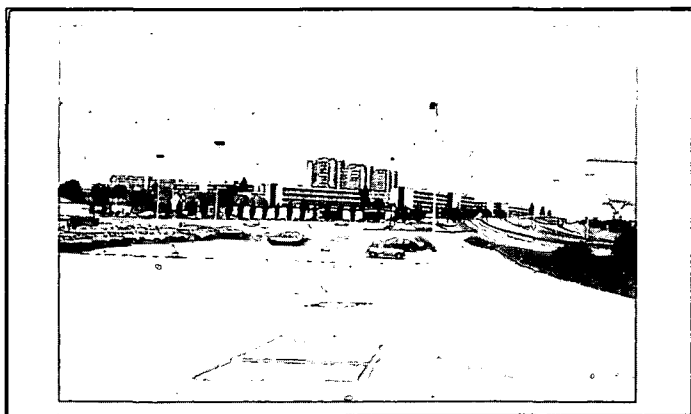
Influence du sol

3.2.3

Une onde sonore qui rencontre un sol dur se réfléchit sur ce sol. Elle peut alors interférer avec d'autres ondes émises par la source. Elle y rencontre des obstacles de tous ordres : végétation, mouvements de terre, etc... Ces effets sont renforcés par l'existence de variations de température au voisinage du sol. (On rencontre au voisinage du sol de forts gradients de température et d'humidité, qui varient selon les heures de la journée et selon les saisons).

La propagation au voisinage d'un sol non réfléchissant conduit à une atténuation par absorption, dont la valeur est encore difficilement prévisible par la théorie.

Pour sa prise en compte, des réseaux d'abaques obtenus expérimentalement sur sol réel ou maquette, ont été indiqués dans le fascicule « méthodes de prévision » du Guide du Bruit auquel on se reportera pour les prévisions.



Ce type de sol est réfléchissant.



Sol absorbant.

Influence du vent et de la température

3.2.4

Les variations du vent, et de la température rendent en fait l'air non isotrope.

Ces variations sont difficilement prévisibles, c'est pourquoi elles sont mal prises en compte dans la prévision des niveaux sonores.

En fait, d'une façon générale, la prévision caractérise une situation moyenne. Elle correspond à une atmosphère standard (température voisine de 20°, 60 % d'humidité, gradient de température adiabatique) avec un air immobile et homogène.

La mesure, elle, prend en compte les perturbations atmosphériques ou les effets du sol. Elle est plus juste que la prévision, rapportée à un cas particulier précis (niveau sonore en un point précis, à un instant précis), mais moins représentative d'une situation moyenne sur une longue période ou sur une grande surface.

On pourra donc, dans certains cas particuliers, constater des différences sensibles entre prévision ou mesure. Cela ne signifie pas que l'une est plus juste que l'autre, (l'intérêt du résultat, comme indiqué ci-dessus, est à considérer au regard du problème posé), mais que la dispersion des résultats peut être importante sur un même site, quand on prend en compte le vent et la température. Sauf effets systématiques (vent dominant par exemple), l'incertitude autour d'un résultat sera donc importante, soit à longue distance, soit en zone à fortes et brusques variations climatiques.

Pour ce qui nous concerne, des prévisions à une distance à la source supérieure à 300 m. ne pourront avoir qu'une valeur indicative, représentative d'une situation moyenne, au sens statistique, au cours du temps.

Effets cumulés : atténuation en fonction de la distance 3.2.5

Tous ces effets étant cumulés, on peut admettre en première approximation que pour une source rectiligne, l'atténuation est d'environ 3 à 4 dB (A) par doublement de distance à la source.

Si, par exemple, nous avons un niveau sonore L dB (A) à 30 m d'une voie, un recul jusqu'à 60 m ramène le niveau sonore à $L - 3$ dB (A), un recul jusqu'à 120 m ramène le niveau sonore à $L - 6$ dB (A), un recul jusqu'à 240 m ramène le niveau sonore à $L - 9$ dB (A) en l'absence bien sûr de tout obstacle. Au delà de 300 m environ, ce raisonnement ne s'applique plus avec la même rigueur, compte tenu des effets du sol, du vent et de la température.

D'une façon générale, on constate que la distance constitue en elle-même une protection peu efficace, lorsqu'on est loin de la route. Par contre, en bordure immédiate de la voie, tout recul est efficace sans provoquer de consommation d'emprise excessive.

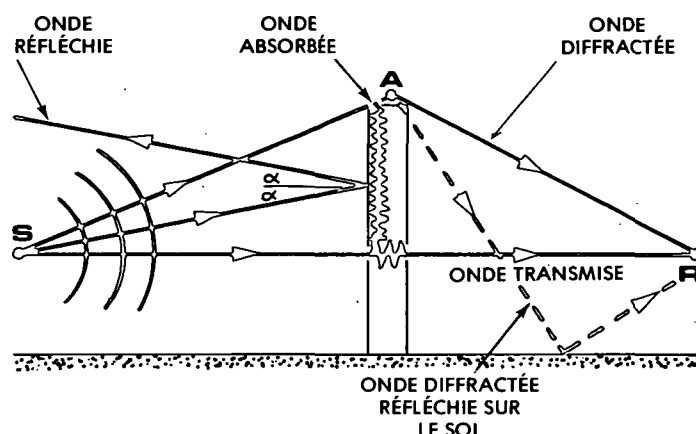
Ce résultat constitue bien sûr un résultat simplifié. Les effets de sol, du vent et de la température, modifient les lois de propagation, le spectre du bruit varie en fonction de la distance. Seules les études et recherches en cours permettront ultérieurement de quantifier ces phénomènes.

Effets d'un écran sur la propagation sonore

3.3

Un son émis par une source (S) se propage dans l'air avant d'atteindre un récepteur (R). En l'absence d'écran, il se propage en suivant le chemin (SR). Si l'on interpose un écran entre la source et le récepteur, la propagation du son est modifiée, et l'on peut définir plusieurs trajets élémentaires simples :

- une partie de l'onde est transmise à travers l'écran,
- une partie de l'onde est diffractée sur les arêtes de l'écran,
- une partie de l'onde est réfléchi du même côté que la source,
- éventuellement, une partie de l'onde peut être absorbée par l'écran,
- enfin, une partie de l'énergie, dans le cas d'une source linéaire infiniment longue, continue d'être perçue de façon directe aux extrémités de l'écran : c'est l'énergie directe résiduelle.

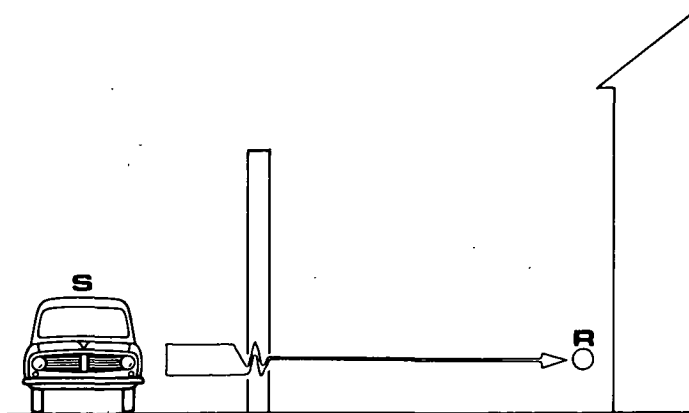


Transmission du son à travers une paroi

3.3.1

En présence d'un écran, l'onde sonore émise par la source (S) se répartit en plusieurs trajets élémentaires simples.

L'un d'entre eux consiste en une transmission : Le récepteur (R) qui n'est pas situé du même côté de la paroi que la source (S), perçoit une énergie sonore qui a été transmise à travers la paroi.



De nombreux travaux portent, en acoustique, sur la transmission des bruits aériens par les parois. Les travaux ont été généralement menés dans le souci de définir la transmission des bruits à l'intérieur des bâtiments, que ce soit à travers une cloison séparant deux pièces ou une façade séparant l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment.

Un écran acoustique constitue bien une paroi : on peut raisonner pour cette paroi comme pour les façades d'immeubles. Cependant, l'écran acoustique ne crée pas un espace clos : c'est une paroi qui sépare deux espaces extérieurs.

Pour analyser la transmission à travers un écran, il y a lieu de bien prendre en compte cet aspect particulier.

Pour que la protection du récepteur (R) soit bien réalisée, il convient que l'énergie transmise soit la plus faible possible.

Cette énergie dépend des caractéristiques du ou des matériaux qui constituent le dispositif protecteur.

■ Indice d'affaiblissement en transmission

La transmission d'une paroi est caractérisée par son indice d'affaiblissement noté « R ». Cet indice s'exprime en tiers d'octave, en octave, ou, globalement, en dB (A) pour un bruit déterminé (ici pour un bruit routier normalisé).

Il est défini comme $R = 10 \log \frac{I_1}{I_2}$ où I_1 est l'intensité acoustique incidente sur la paroi et I_2 l'intensité transmise par la paroi. Cette valeur, souvent utilisée pour caractériser une paroi séparant un local d'un autre local ou bien séparant un local de l'extérieur peut, par extension, servir à caractériser un écran acoustique.

On distingue généralement (1) deux catégories de parois :

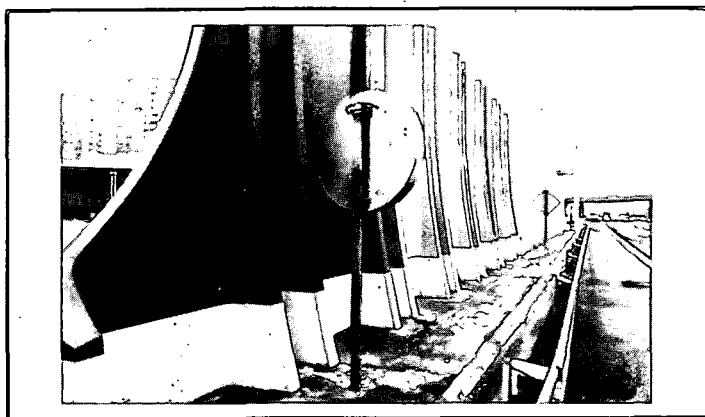
- les parois simples dont le comportement à l'égard de la transmission est essentiellement lié à la masse surfacique.
- Les parois multiples pour lesquelles, outre la masse, l'indice d'affaiblissement en transmission dépend également de la fréquence de résonance.

■ Parois simples

On distingue généralement (1) deux catégories de parois :

- les parois simples dont le comportement à l'égard de la transmission est essentiellement lié à la masse surfacique.
- Les parois multiples pour lesquelles, outre la masse, l'indice d'affaiblissement en transmission dépend également de la fréquence de résonance.

Les parois simples sont formées d'une seule paroi. Elles peuvent être constituées d'un seul et même matériau (ex. : béton armé, verre, etc...) ou de plusieurs matériaux disposés en couches solidaires l'une de l'autre (ex. : mur en parpaings enduit de plâtre, etc...).



Une paroi simple est formée d'un seul matériau ou de plusieurs couches de matériaux solidaires. Ici le béton.

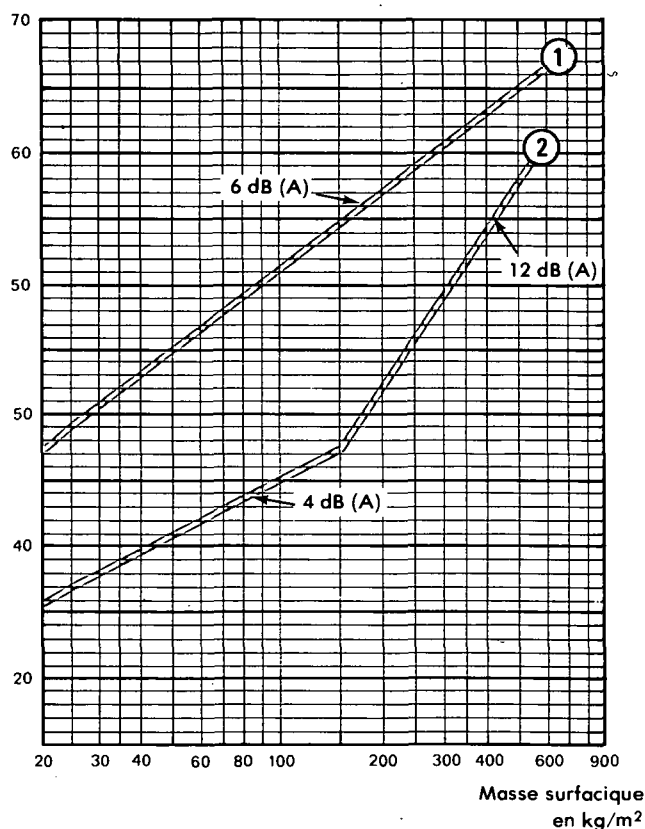
Pour ces parois, leur masse surfacique et leur rigidité sont les facteurs essentiels dont dépend la valeur de l'indice d'affaiblissement en transmission. En général, plus la masse surfacique est élevée, plus une paroi s'oppose à la transmission des ondes sonores. La nature même des matériaux intervient peu.

La théorie nous enseigne que, pour une paroi, tout doublement de masse augmente la valeur de l'indice d'affaiblissement en transmission de 6 dB (A).

Mais la réalité est différente : en fait, la croissance expérimentale de R en fonction du doublement de la masse est inférieure à 6 dB (A).

À titre indicatif, la variation de la valeur de l'indice d'affaiblissement acoustique R en dB (A) pour un bruit routier normalisé est la suivante (2).

R en dB (A)



Loi de masse pour R en dB (A)

1. Loi de masse théorique, croissance théorique de 6 dB (A) par doublement de masse.
2. Loi de masse expérimentale, pour un bruit de route. La croissance obtenue expérimentalement est de 4 dB (A) par doublement de masse pour les matériaux de moins de 150 kg/m² de masse surfacique. Pour des masses surfaciques supérieures, la croissance est de 12 dB (A).
Une paroi est d'autant plus isolante que R est grand.

Nota : Pour définir la masse surfacique d'un écran, il ne faut pas compter les poteaux ou les éléments assurant l'ossature porteuse, à moins qu'ils soient intégrés et solidaires des éléments constituant la paroi. Seuls, les éléments de paroi sont pris en compte.

(1) Cahier n° 173 du CSTB « Etude des caractéristiques acoustiques de matériaux et équipements », Octobre 1976.

(2) Mesure effectuée par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB).

A titre d'exemples le tableau ci-dessous indique les indices d'affaiblissement au bruit routier, de parois constituées de quelques matériaux employés dans la construction d'écrans à ce jour. Ces valeurs, fournies par le Centre Scientifique et Technique du Bâti-

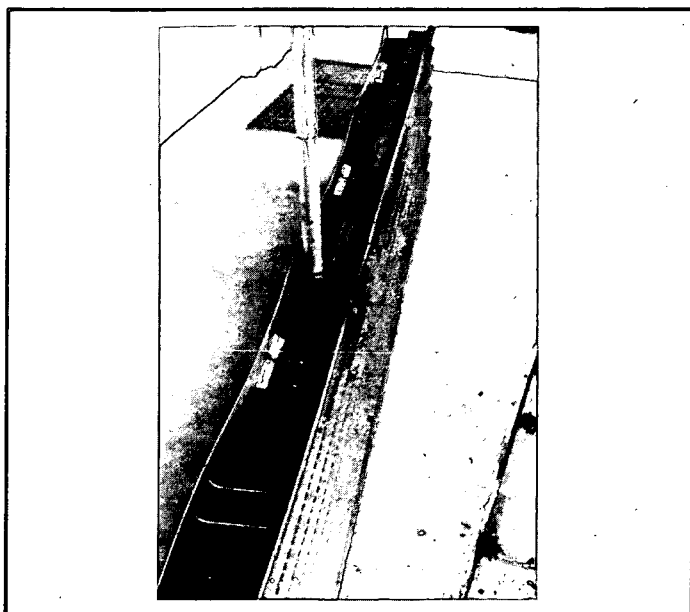
ment sont obtenues pour une paroi simple (1).

Matériaux	Épaisseur en cm	Masse surfacique kg/m ²	Indice d'affaiblissement en dB (A) (1)
Bois (sapin)	1,2	8	18
	2,5	16	24
	3,8	24	27
	5,0	33	28
Contre-plaqué	1,9	12	20
	2,5	16	24
	3,2	21	26
Pavé de béton	10,5	114	35
	15,2	171	39
Brique	10,0	211	42
Béton plein	10,0	244	45
Plastique sur treillis métallique	1,2	22	27
Verre	0,3	8	27
Plexiglas	0,06	7	27
	1,5	18,0	32
Tôle (2)	0,06	4,5	20
	0,08	6	23
	0,1	7	25
	0,13	10	27
Aluminium	0,32	9	24
Plomb	0,16	18	32

(1) Indice d'affaiblissement pour le spectre de bruit routier normalisé.

(2) Des tôles autres que des tôles plates (ondulées par exemple) donnent des atténuations similaires.

Nota : Les valeurs indiquées dans le présent tableau pourront, en première approximation, être également considérées comme bonnes pour un bruit dû au transport sur voies ferrées (S.N.C.F., métro...).



■ Parois doubles

Pour une paroi double, la valeur de l'indice d'affaiblissement R dépend de la masse des parements et de la valeur de la fréquence de résonance de l'ensemble de la paroi. Cette fréquence de résonance dépend de la masse de chaque élément constituant la paroi mais également de la distance entre ces éléments constitutifs.

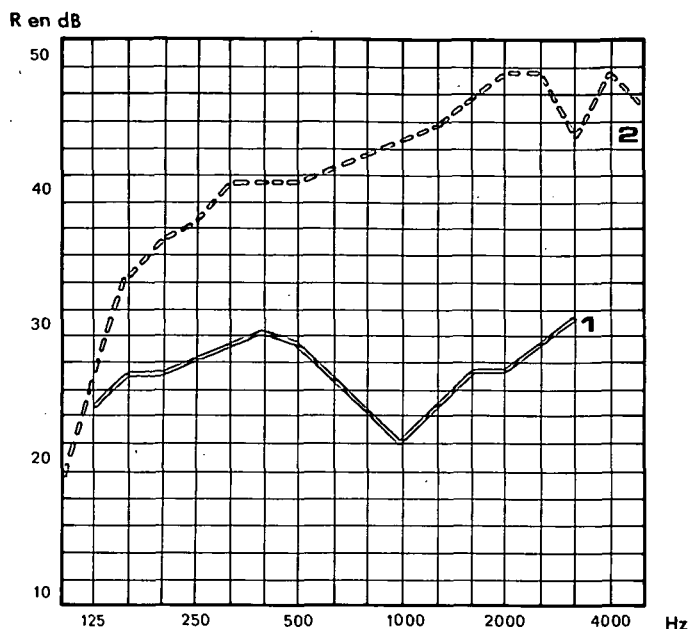
◀ Une paroi multiple est composée de plusieurs couches de matériaux séparés. Ici, une tôle d'acier au fond, une lame d'air, une couche de laine de verre, et une tôle perforée côté route.

(1) Pour plus de précisions, se reporter au cahier n° 174 d'octobre 1976 du CSTB.

A titre d'exemple, la valeur de l'indice R pour une paroi simple et pour une paroi double, en fonction de la fréquence est donnée ci-après. Cet exemple est donné pour un cas de double cloison où la seule liaison entre les parements est une lame d'air. Si des liaisons rigides entre les éléments de paroi existent, les valeurs de R sont intermédiaires entre 1 et 2.

Simple et double cloisons (utilisées en bâtiment).

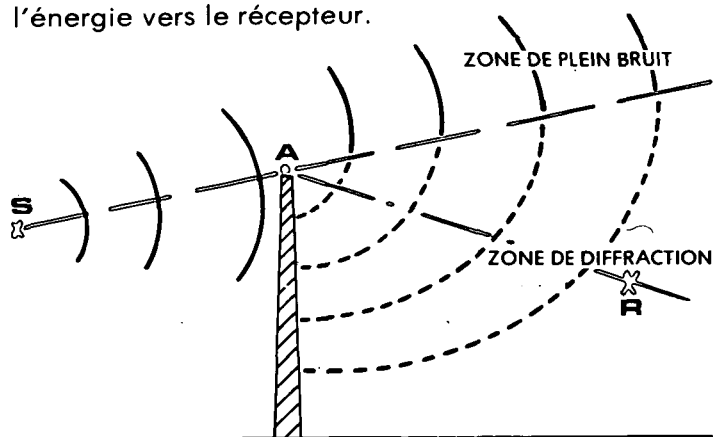
1. Cloison homogène en particules de lin
 $m_s = 25 \text{ kg/m}^2$ $R = 27 \text{ dB (A)}$
2. Double cloison : ossature métallique, plaques de plâtre de 13 mm et fibre minérale (épaisseur 90 mm)
 $m_s = 25 \text{ kg/m}^2$ $R = 43 \text{ dB (A)}$



3.3.2

Diffraction

La diffraction peut être sommairement décrite de la façon suivante : lors de la propagation d'une onde qui rencontre un obstacle de dimension finie, une partie de l'onde n'est pas affectée : c'est celle qui se propageait au-dessus de l'obstacle. Une autre partie, par contre, est réfléchiée ou absorbée. La continuité du milieu de propagation (l'air), entraîne une nouvelle répartition de l'énergie derrière l'obstacle. Tout se passe comme si une source secondaire « A » était créée au voisinage de l'arête de diffraction. Cette source réémet une partie de l'énergie vers le récepteur.

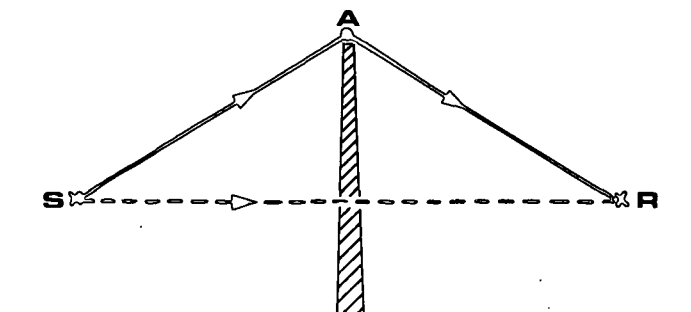


Effet de diffraction.

Au-dessus de la ligne S A, l'onde n'est pas perturbée par l'écran. Le trajet S R s'effectue dans la zone de diffraction.

L'affaiblissement de l'énergie perçue par (R), en présence de l'obstacle, par rapport à l'énergie qui aurait été perçue sans obstacle, dépend de l'allongement du trajet parcouru et de la longueur d'onde.

La différence de trajet parcouru se mesure comme $\delta = SA + AR - SR$



Des abaques indiquant les valeurs approchées d'affaiblissement en diffraction pure, calculées pour un spectre de bruit routier normalisé, sont fournies dans le Guide du Bruit (1). Il est donc possible de connaître la valeur de cet affaiblissement avec une précision suffisante, en connaissant la position respective de la source, de l'écran et du récepteur ainsi que les dimensions de l'écran.

On a vu que l'efficacité en diffraction dépend essentiellement de l'allongement de parcours imposé à l'onde sonore. Pour une efficacité maximum, il convient que ce paramètre soit aussi grand que possible. On peut y parvenir :

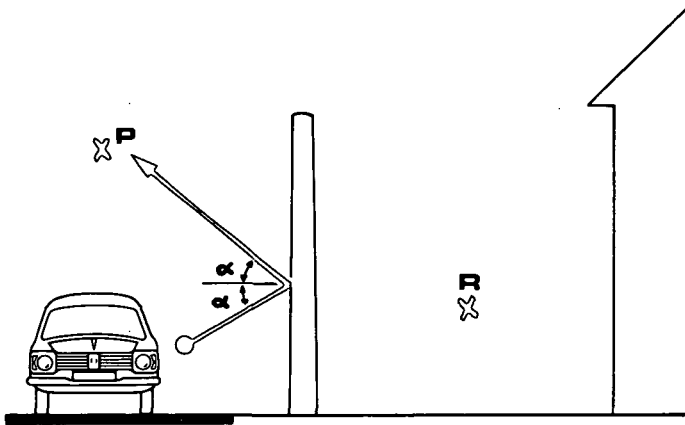
- en augmentant la hauteur de l'écran,
- en veillant à son implantation judicieuse.

(1) Guide du Bruit des Routes Urbaines et de ses Implications Techniques (Edition 1972) et fascicule « Méthodes de prévision » du Guide du Bruit des Transports Terrestres (à paraître en 1978).

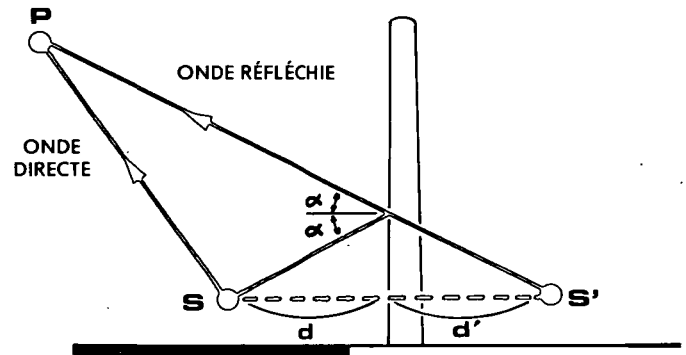
Réflexion

3.3.3

En présence d'un écran, une partie de l'onde peut être « réfléchie » par la paroi. Elle est renvoyée vers la source suivant un angle égal à l'angle d'incidence, comme en optique. Cette partie de l'onde qui peut être préjudiciable à un récepteur (P) situé du même côté que la source (S), ne parvient pas en (R), sauf si elle est à nouveau réfléchie par un autre obstacle vers (R).



Tout se passe comme si l'écran jouait le rôle d'un miroir en optique. Un récepteur P situé du même côté de l'écran que la source percevra donc l'énergie émise par cette source et la portion de l'énergie que réfléchira l'écran.



On peut admettre que P reçoit l'énergie émise par deux sources : la source S et la source fictive S' symétrique de S par rapport à la paroi réfléchissante.

Absorption

3.3.4

En présence d'un écran, une partie de l'énergie peut être « absorbée » par transformation en énergie calorifique. La quantité d'énergie absorbée dépend de la nature du matériau constituant la paroi, et de ses dimensions (épaisseur notamment).

En fait, plus le matériau est « absorbant », c'est-à-dire plus il absorbe une part d'énergie importante, plus l'onde réfléchie devient faible. A la limite, un matériau qui présente d'excellentes caractéristiques d'absorption, absorbe presque toute l'énergie acoustique et l'énergie réfléchie devient négligeable.

Tous les matériaux absorbent plus ou moins d'énergie sonore. Cependant, on peut différencier les matériaux réfléchissants des matériaux absorbants. Par exemple une paroi lisse, dure et lourde est très réfléchissante.

Par contre, si dans une pièce on ouvre une fenêtre, l'énergie sonore (sous réserve de fréquences appropriées) est absorbée par l'ouverture, le son n'est pas « renvoyé », même partiellement, l'ouverture est totalement absorbante.

■ Description sommaire du phénomène

D'une façon très simplifiée, le phénomène de l'absorption peut être décrit de la façon suivante : Produire un son ou un bruit, c'est mettre en vibration des particules d'air. Ces particules transmettent leur vibration aux particules voisines et ainsi, de proche

en proche, l'onde acoustique se propage. Une onde acoustique consiste donc en un mouvement de particules qui entraîne une variation de la pression, en un point donné, au cours du temps.

Lorsqu'une onde acoustique rencontre un obstacle, les particules d'air situées très près de la surface de cet obstacle sont gênées dans leur vibration, et par frottement des particules sur les parties solides, une partie de l'énergie acoustique se transforme en chaleur. Il y a absorption.

■ Principaux types d'absorbants

Généralement on distingue trois grandes catégories de matériaux absorbants :

- les matériaux fibreux à porosité ouverte,
- les matériaux fléchissants (membranes),
- les résonateurs.

■ Matériaux fibreux ou poreux (à porosité ouverte)

Ces matériaux présentent une multitude de pores communiquant entre eux. Quand une onde sonore rencontre une paroi constituée de matériaux fibreux, elle pénètre presque intégralement dans le matériau. L'air contenu dans les pores est mis en mouvement sous l'effet des variations de pressions acoustiques. Par frottement de l'air sur les parties solides, une partie de l'énergie est transformée en chaleur.

Le facteur d'absorption d'un matériau poreux croît avec la fréquence de l'onde incidente. Il croît également avec son épaisseur.

Un matériau poreux ou fibreux doit être à cellule ouverte pour absorber. Il doit être à la fois très perméable à l'air et très résistant au flux. En effet, plus sa perméabilité (rapport de vide, sur plein) est grande plus il est facilement pénétré. Mais en même temps, quand l'air a pénétré, plus il est résistant au flux d'air et plus l'énergie se dissipe par frottement, donc plus il absorbe.



Un matériau absorbant : la mousse d'argile. La laine de verre, des laines minérales, des composés métalliques, etc... constituent également des matériaux absorbants.

■ Panneaux fléchissants

Une plaque disposée à quelques mètres d'un mur rigide constitue un bon exemple de panneau fléchissant.

Sous l'effet d'une onde sonore incidente, dont la fréquence serait proche de la fréquence de vibration propre de la plaque, le système plaque et masse d'air situé entre la plaque et le mur peut entrer en résonance. Il y a alors frottement et absorption par transformation de l'énergie acoustique en énergie calorique.

Un tel dispositif absorbe généralement les basses fréquences mais ne permet pas d'obtenir des facteurs d'absorption très élevés. De plus, il est souvent très sélectif, c'est-à-dire qu'il n'absorbe qu'une bande de fréquences très étroite. Le maximum d'absorption est obtenu pour la fréquence propre de l'ensemble résonant.

■ Les résonateurs

D'une façon simplifiée, un résonateur est constitué d'une cavité et d'un col. Une bouteille constitue un bon exemple de résonateur.

Tout se passe comme si le volume d'air contenu dans la cavité était un ressort, et celui contenu dans le col était une masse. Quand une onde sonore arrive sur le résonateur, la masse est mise en mou-

vement. Sous l'effet de l'onde (pression et dépression) et sous l'effet de l'air contenu dans la cavité (action de ressort), la masse d'air du col vibre.

Quand la fréquence de l'onde incidente est proche de la fréquence propre du résonateur, il y a résonance. L'énergie sonore est alors transformée en chaleur par frottement de l'air sur les parois du col et par frottement interne dans la cavité (pour augmenter cet effet, on remplit généralement le résonateur d'un matériau fibreux).

Ce système est généralement sélectif.

■ Indicateur de qualité : le facteur d'absorption

Le pouvoir d'absorption d'un matériau sera caractérisé par son facteur d'absorption. Si ce pouvoir d'absorption est voisin de 1, le matériau est dit absorbant. S'il est proche de 0, le matériau est dit réfléchissant.

De façon théorique, le facteur d'absorption représente le rapport de l'énergie acoustique absorbée à l'énergie acoustique incidente.

Pour un matériau donné, le facteur d'absorption dépend de la fréquence. On le mesurera donc dans les bandes de fréquences d'un spectre de bruit routier normalisé : 125, 250, 500, 1 000, 2 000, 4 000 Hz.

Le facteur d'absorption d'un matériau est déterminé en mesurant le « facteur d'absorption Sabine » symbolisé par α_s .

Cette mesure est codifiée. Elle est décrite dans la norme NFS 31003.

Elle est effectuée en laboratoire, dans une salle réverbérante.

■ Matériaux absorbants utilisés pour les écrans acoustiques

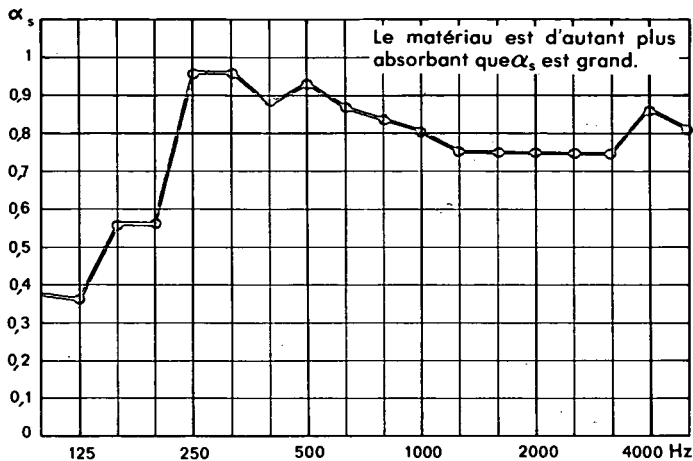
Les absorbants actuellement employés sont essentiellement des matériaux ou dispositifs poreux ou fibreux. Ils sont constitués par des laines minérales, des fibres (minérales ou végétales), des mousses (minérales ou plastiques), ou des panneaux perforés aux dimensions bien appropriées.

Ces absorbants ont un bon pouvoir d'absorption pour les fréquences aiguës mais faible pour les basses fréquences.

Ils ne sont généralement pas utilisés seuls, mais :

- soit comme revêtement d'une paroi rigide et résistante (elle peut être alors séparée de la paroi par une lame d'air, en étant fixée sur un treillis),
- soit comme panneaux absorbants insérés entre deux parois rigides, l'une étant perforée et l'autre non.

Exemple : Mesure expérimentale d'un α Sabine pour un matériau.



Remarque :

Une autre méthode existe pour mesurer la valeur du facteur d'absorption : elle s'effectue à l'aide d'un tube à onde stationnaire et permet de connaître la valeur de α_0 pour une incidence proche de la normale. Cette méthode n'est pas encore normalisée. Il faut cependant noter qu'elle s'effectue pour une bande étroite de fréquences, ce qui conduit à des résultats pouvant être très éloignés des résultats in-situ, en bruit routier. De plus, et c'est là son principal inconvénient, elle ne peut être effectuée que sur des échantillons de faible surface (mauvaise reproductibilité) et sous incidence normale seulement.

Energie directe résiduelle

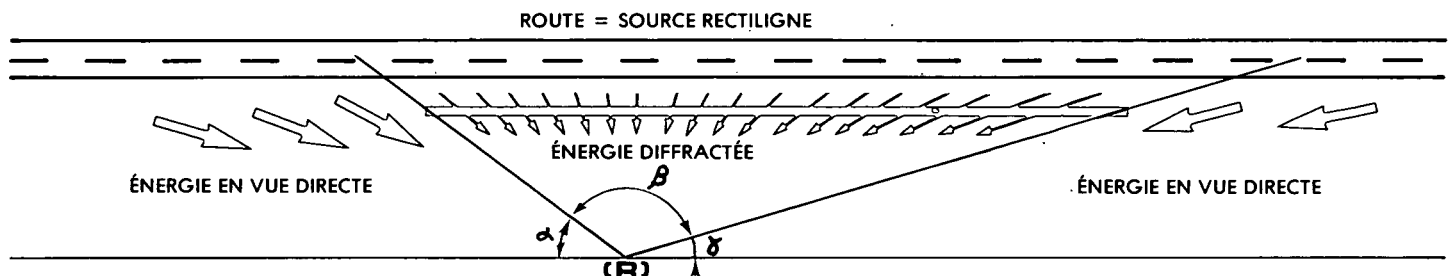
3.3.5

Un écran possède forcément une longueur finie, alors que la source, elle, quand c'est une voie de circulation, peut être considérée comme une ligne infiniment longue. Sur les côtés de l'écran, une part d'énergie parviendra directement, sans diffraction.

Ainsi, si l'on supposait qu'un écran ait une efficacité totale en diffraction pure (il est infiniment haut) et totale en transmission (il est lourd), il suffirait que l'on continue à voir la source sous 18° aux extrémités de l'écran pour que son efficacité globale

soit limitée à 10 dB (A) ! L'énergie parvient alors en effet à (R), par voie directe depuis les tronçons non masqués de la source.

On constate aisément toute l'importance d'un bon dimensionnement en longueur d'un écran, mais également l'effet d'une implantation judicieuse, que ce soit par rapport au site ou par rapport à la source de bruit, pour obtenir une bonne efficacité d'ensemble du dispositif.



Sous l'angle β , l'énergie qui parvient en (R) est diffractée par l'écran. Sous les angles α et δ , elle parvient de façon directe.

RECOMMANDATIONS RELATIVES AUX CARACTERISTIQUES ACOUSTIQUES DES ECRANS

**RECOMMANDATIONS
TECHNIQUES
RELATIVES
AUX
ÉCRANS
VERTICAUX
ET BUTTES DE TERRE**

Les présentes recommandations portent sur un domaine nouveau, et même encore par maints aspects, expérimental.

Elles sont donc parfois imprécises, et n'apportent pas toujours tous les éléments de réponse aux problèmes posés aux Maîtres d'Œuvres.

Chaque fois que c'est possible, des références à des normes existantes ont été indiquées. Quand les problèmes abordés correspondent à des préoccupations trop nouvelles pour qu'il n'existe pas de normes en la matière, les règles issues de la pratique récente sont indiquées, si elles existent.

Quand par contre ces problèmes n'ont pas encore trouvé de solutions satisfaisantes, ils sont simplement cités.

La nouveauté des préoccupations abordées dans cet ouvrage et parfois l'absence de règles sûres et vérifiées, empêchent encore actuellement d'édicter des spécifications pour la réalisation des ouvrages.

C'est pourquoi, de simples recommandations sont ici présentées.

Dans l'avenir, lorsque la technique et la technologie seront plus élaborées, il sera possible de transformer ces recommandations en spécifications.

L'attention des Maîtres d'Œuvres est attirée sur le danger qu'il y aurait à vouloir combler, sans précaution, les absences de réponses aux problèmes qu'ils rencontrent. Pour ces problèmes, il convient encore de s'adresser aux services spécialisés afin de compléter, par les résultats des dernières recherches, les présentes recommandations, et en particulier aux :

- Centre d'Etudes des Transports Urbains
- Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
- Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement des différentes régions. (Division d'Etudes et Laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées.)

Choix des matériaux

4.1

En ce qui concerne les murs verticaux, deux propriétés acoustiques détermineront le choix des matériaux.

- leurs propriétés à l'égard de la transmission acoustique,
- leurs qualités absorbantes dans le cas où il a été décidé d'employer ce type de matériaux.

4.1.1 Recommandations concernant la transmission

Nous avons vu au § 3.3.1 précédent que l'un des chemins par lequel une onde émise par une source S peut atteindre un récepteur situé derrière un écran, consiste en une transmission par la paroi.

Nous avons vu également que la capacité d'une paroi à résister à la transmission est caractérisée par son indice d'affaiblissement acoustique noté « R ».

■ Objectif de qualité

Pour que la protection du récepteur soit bien réalisée, il convient que l'énergie transmise soit faible, et donc que l'indice d'affaiblissement en transmission « R » soit grand.

En pratique, il n'est cependant pas nécessaire de rechercher des atténuations par transmission trop importantes.

En effet, on peut admettre qu'un écran s'oppose suffisamment à la transmission quand l'énergie transmise devient négligeable devant l'énergie passant par d'autres chemins. Or, l'énergie transmise pourra être considérée comme négligeable si son niveau est inférieur de 10 dB (A) au niveau sonore résultant des autres chemins acoustiques.

Dans la mesure où l'atténuation courante escomptée lors de la réalisation d'un écran est de l'ordre de 8 à 12 dB (A) environ, (il s'agit ici de l'effet propre de l'écran, dans la zone où il est réellement efficace, c'est-à-dire la zone d'ombre), l'indice d'affaiblissement global pour un bruit routier normalisé devra être au moins de 22 dB (A).

Lors de la réalisation d'un écran, le maître d'œuvre devra donc veiller à ce que la paroi formant écran, présente un indice d'affaiblissement moyen en transmission au moins égal à $R = 22 \text{ dB (A)}$ pour le spectre de bruit routier.

■ Mesure de l'indicateur de qualité

Pour une paroi simple, cet affaiblissement est pratiquement obtenu pour toutes les parois pesant plus de 15 à 20 kg par mètre carré de surface verticale.

Pour une paroi de masse surfacique nettement supérieure à ce chiffre, la mesure de l'indice d'affaiblissement en transmission ne sera pas nécessaire.

Par contre, pour des parois simples dont la masse surfacique est inférieure ou proche de 15 à 20 kg par mètre carré, ou bien pour la mise en œuvre d'écrans à parois multiples, le Maître d'Œuvre pourra réclamer au fabricant la preuve que le dispositif et les matériaux proposés présentent bien un indice d'affaiblissement global R au moins égal à 22 dB (A).

Dans ce cas, le Maître d'Œuvre pourra demander la présentation d'un procès-verbal de mesure de l'indice d'affaiblissement en transmission du produit. L'essai, à la charge du fabricant, devra avoir été fait dans les conditions prévues dans la norme NFS 31002, en salle réverbérante.

Les résultats seront indiqués pour toutes les fréquences de mesure du spectre de bruit routier normalisé. La valeur moyenne de l'indice sera également fournie. Elle sera calculée conformément aux indications du § 2.1.6 de la norme NFS 31002, appliquée à un spectre de bruit routier normalisé.

Sur présentation du procès-verbal de mesures, le Maître d'Œuvre pourra agréer le dispositif à mettre en œuvre.

Le choix du laboratoire pour la mesure de l'indice d'affaiblissement pourra lui-même faire l'objet d'un agrément par le Maître d'Œuvre.

Recommandations concernant l'absorption

4.1.2

Dans le cas où l'utilisation d'un matériau ou d'un dispositif absorbant a été prévu par le Maître d'Œuvre, il convient de s'assurer que le matériau ou dispositif formant écran proposé par un fabricant possède des qualités acoustiques suffisantes.

■ Objectif de qualité

Dans l'état actuel des connaissances, on peut admettre que le pouvoir absorbant d'un matériau utilisé dans un dispositif de protection du bruit routier ou ferré, peut être caractérisé par la mesure de son « facteur d'absorption acoustique α Sabine ».

En pratique, compte tenu :

- des matériaux actuellement utilisés,
- des réserves quant à la signification de la mesure du coefficient « α Sabine » pour le comportement réel in situ d'un matériau ou dispositif testé,
- des conditions particulières d'utilisation d'un matériau ou dispositif en tant que protection contre le bruit des routes ou des voies ferrées

il est recommandé d'admettre comme un bon absorbant, un matériau ou dispositif formant écran qui présente un coefficient α Sabine », mesuré en laboratoire, d'une valeur au moins égale aux valeurs suivantes :

Fréquences bruit route	α_s par bande de fréquence
125 Hz	0,3
250 Hz	0,5
500 Hz	0,6
1 000 Hz	0,6
2 000 Hz	0,8
4 000 Hz	0,8

Si, malgré tout, un matériau ou dispositif présentait des caractéristiques d'absorption légèrement inférieures aux valeurs ci-dessus, et si son emploi présentait des avantages réels aux regards d'autres sujétions que celle de l'efficacité acoustique (ex. : coût, facilités de pose, tenue aux intempéries, etc.), son utilisation pourrait être envisagée. Dans ce cas, il conviendrait pour le Maître d'Œuvre d'agréer le matériau ou le dispositif, après avoir recueilli l'avis technique des services spécialisés.

■ Mesure de l'indicateur de qualité

Le facteur d'absorption sera mesuré en salle réverbérante. Les conditions de mesure seront conformes aux indications de la Norme NFS 31003, à une modification près : la mesure effectuée pour un spectre de bruit routier normalisé tel que défini au § 3.1. ci-dessus. Les mesures seront donc réalisées au voisinage des fréquences moyennes suivantes :

125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz et 4 000 Hz.

Dans le cas de matériaux à absorption sélective, des mesures au voisinage des fréquences intermédiaires situées à un tiers d'octave des fréquences précédentes, pourront être demandées.

Le procès-verbal d'essai devra comprendre :

- le mode opératoire utilisé,
- la dimension de la salle réverbérante,
- la surface du matériau soumis aux essais, ses conditions de fixation et sa répartition dans la salle,
- la composition et le nom du matériau essayé, indiqué par le demandeur,
- la température et l'état hygrométrique de la salle d'essais,
- les durées de réverbérations mesurées dans la salle nue et dans la salle munie du matériau essayé,
- les circonstances particulières et incidents éventuels susceptibles d'avoir agi sur les résultats.

Le coefficient α Sabine doit être donné avec la première décimale, sous la forme d'un tableau, pour les fréquences du bruit routier mentionnées ci-dessus.

Le choix du laboratoire pour la mesure du coefficient d'absorption acoustique pourra faire l'objet d'un agrément par le Maître d'Œuvre.

Dans le cas où ce n'est pas un matériau seulement qui assure l'absorption mais tout un dispositif (ex. écrans à parois multiples avec garnissage intérieur en matériau absorbant), c'est l'ensemble du dispositif qui doit être testé dans les conditions ci-dessus indiquées.

Dispositions constructives liées à l'acoustique

4.2

Le choix des matériaux pour la conception des dispositifs constituant un écran ne conditionne pas à lui seul l'efficacité acoustique d'une protection. Certaines dispositions constructives participent sensiblement à l'obtention d'une bonne efficacité.

En fait, lutter contre le bruit par interposition d'écran c'est limiter le bruit perçu dans la zone à protéger, en évitant le plus possible que l'énergie parvienne de façon directe au récepteur.

Pour mettre en œuvre un bon écran il est nécessaire :

- de donner une hauteur suffisante à l'écran,
- d'adapter l'écran au site, en longueur et en position,
- d'éviter les réflexions gênantes,
- d'intégrer la protection dans le paysage urbain et de veiller à son bon aspect esthétique.

Il est également nécessaire de ne mettre en œuvre que des écrans suffisamment « étanches » pour que l'énergie qui le traverse (transmission) soit négligeable.

4.2.1

Hauteur de l'écran

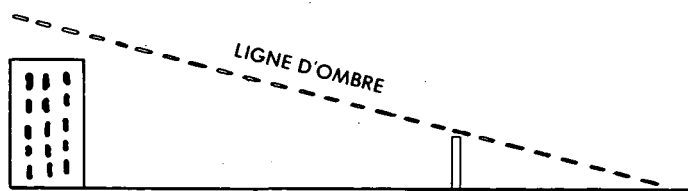
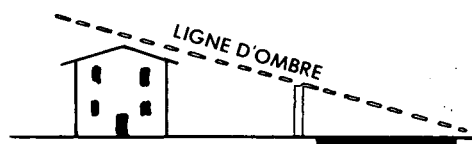
Le calcul exact de l'efficacité d'un écran sera donné dans le fascicule - « méthodes de prévision des niveaux sonores » du Guide du Bruit des Transports Terrestres (à paraître prochainement). Avant sa parution, il est recommandé de conduire ces calculs et donc de définir le dimensionnement des écrans à l'aide du « Guide du Bruit des Routes Urbaines et de ses Implications Techniques - Edition 1972 ».

Cependant, en première analyse, on peut retenir les règles simples suivantes :

D'une façon générale, pour qu'un écran ait une efficacité réelle, il est nécessaire qu'en tout point de la zone à protéger, on ne « voit » plus la source. Cette condition exprime le fait que si la source est cachée au récepteur, l'énergie perçue parvient après au moins une diffraction ou une réflexion. Elle est donc atténuée par rapport au trajet direct.

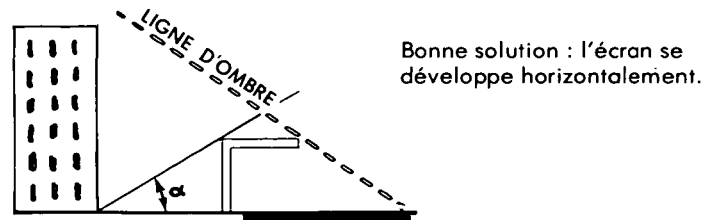
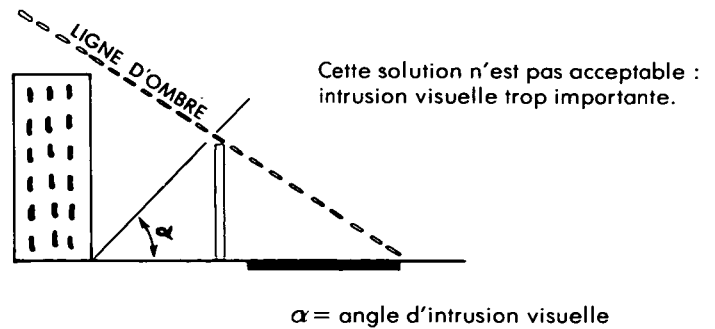
Le dimensionnement de la protection sera déterminé de façon à ce qu'elle mette les récepteurs à protéger dans la « zone d'ombre ».

Dans le cas de pavillons proches de la source, ou bien dans celui de petits immeubles collectifs suffisamment éloignés de la source, des écrans verticaux ou des buttes de terre peuvent constituer une protection suffisante.



Dans le cas d'immeubles collectifs élevés proches de la route, il faudrait donner à un écran des dimensions bien trop importantes pour les protéger. On a donc recours à des couvertures partielles ou totales de la chaussée. Généralement, on construira rarement des écrans de plus de 6 m de hauteur, afin notamment de limiter les inconvénients d'une trop grande intrusion visuelle.

Dans certains cas particuliers (voies ferrées, viaducs, remblais, etc...) on pourra utiliser des écrans plus petits, mais toujours supérieurs à 1 m de hauteur (cf. § 4.2.8 ci-après).



Implantation par rapport à la voie

4.2.2

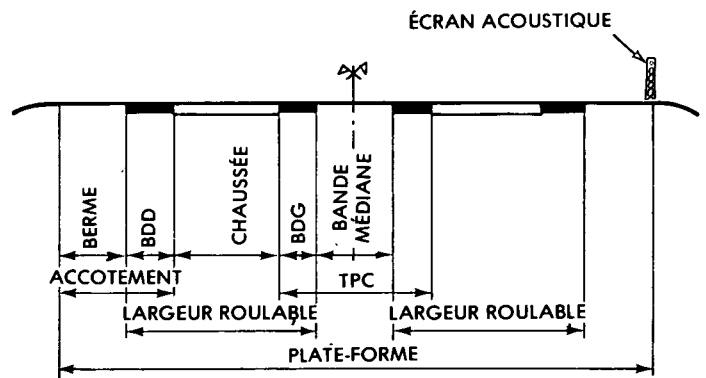
Pour obtenir un maximum d'efficacité acoustique les écrans doivent être implantés le plus près possible de la source, donc des voies utiles à la circulation.

Cependant pour des raisons de sécurité, une distance minimale nécessaire à la mise en place de dispositifs de retenue et à leur bon fonctionnement doit être respectée.

D'une façon générale, chaque fois que cela sera possible, les écrans ou dispositifs de protection seront implantés :

- pour des remblais ou voies au niveau du terrain naturel : en limite de plate-forme, à l'extérieur de la berme.

La définition du bord de plate-forme est codifiée par l'I.C.T.A.A.L. (1). Elle est rappelée dans le schéma suivant :



(1) Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de liaison.

- Pour les voies en déblais: en crête de talus. Les considérations de fondations, de tenue des sols détermineront l'emplacement exact de la protection.



- Pour les tranchées, à parois verticales: dans le prolongement des murs de soutènement.



4.2.3 Longueur et implantation par rapport au site

En première analyse, il convient de retenir que moins on voit la source et plus l'efficacité de l'écran augmente. Celle-ci tend alors à se rapprocher de l'atténuation en diffraction pure.

Comme pour la hauteur, les règles précises de calcul d'efficacité d'écran, et donc de dimensionnement en longueur, seront indiquées dans le fascicule « Méthodes de prévision des niveaux sonores », du Guide du Bruit.

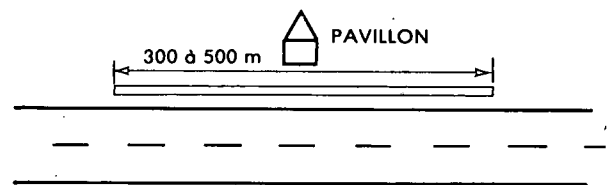
Plusieurs éléments de réflexion peuvent guider la recherche d'une efficacité optimale, lors d'un dimensionnement en hauteur, et du choix d'implantation de l'écran.

● écran parallèle à la voie

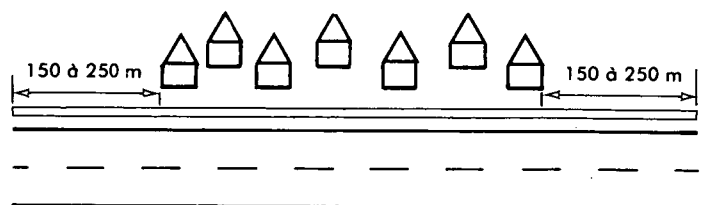
On peut obtenir une bonne efficacité en réalisant un écran parallèle à la source de bruit, implanté aux abords immédiats de la voie de circulation.

Ce type d'écran conduit à la réalisation d'écrans de grande longueur : pour protéger efficacement un point qui ne serait pas trop éloigné de la route, il faut une longueur de 300 à 500 m d'écran pour que l'énergie directe résiduelle soit négligeable.

L'écran parallèle sera donc utilisé pour protéger des zones bâties bordant des voies sur de grandes longueurs. Dans ce cas en effet les tronçons d'écrans situés de part et d'autre de la zone protégée, et nécessaires pour limiter l'énergie directe résiduelle, deviennent négligeables devant le tronçon d'écran situé au droit du site à protéger, qui apporte, lui, l'atténuation en diffraction.



Pour protéger 1 point, il faut 300 à 500 m d'écran parallèle à la route.

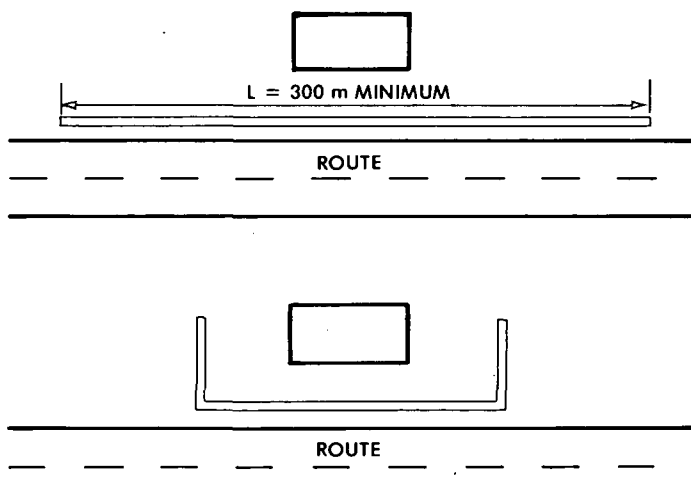


On utilisera 1 écran parallèle pour protéger des zones bordant les voies sur des grandes longueurs.

● murs en retour

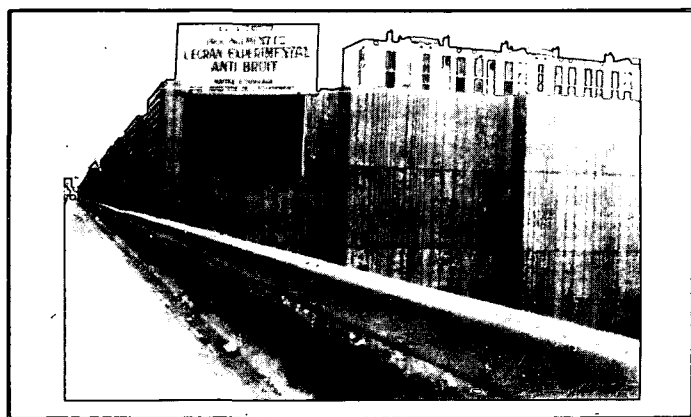
Une conception différente de l'écran consiste non plus à enfermer la source, mais plutôt à entourer le récepteur.

L'écran en retour peut, dans certains cas, réduire de façon très sensible la longueur de la protection.



Le mur en retour permet de réduire la longueur de l'écran en conservant la même efficacité acoustique.

La hauteur du mur en retour doit être au moins égale à celle du mur parallèle à la route qui aurait été nécessaire. En toute rigueur, cette hauteur devrait croître légèrement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source de bruit.

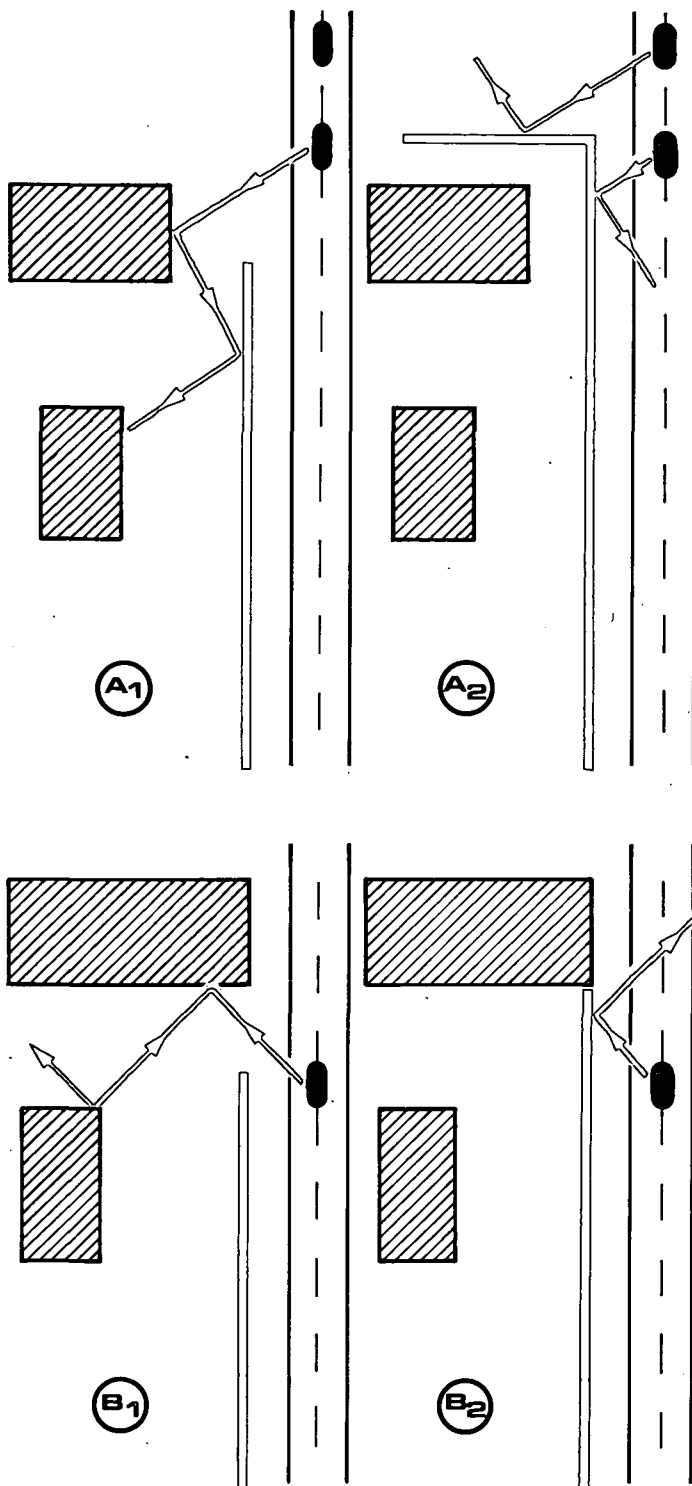


Mur en retour prolongeant l'écran expérimental de l'autoroute A6-B6 à L'HAY-LES-ROSES.

Cependant, ce type d'écran peut ne pas pouvoir être mis en place sur la seule emprise publique. Il comporte alors une sujétion importante, entraînant soit l'acquisition des emprises nécessaires, soit l'accord amiable avec le propriétaire de la parcelle.

● Position de l'écran dans le site

Pour un faible accroissement de longueur ou même à longueur égale, une implantation judicieuse de l'écran dans le site peut en augmenter sensiblement l'efficacité.

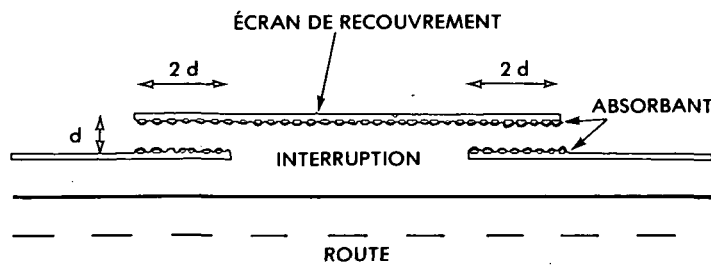


Les schémas ci-dessus illustrent l'intérêt d'une bonne implantation de l'écran : à longueur égale, ou pour un surcroît de longueur souvent négligeable, les configurations A2 et B2 se révéleront beaucoup plus efficaces que les configurations A1 et B1.

4.2.4

Interruptions - Recouvrements

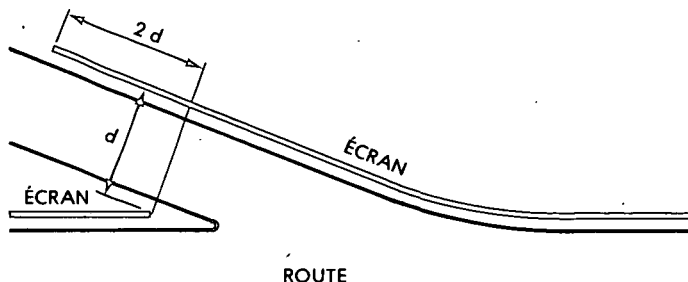
Au cas où un écran doit être interrompu, il est recommandé d'assurer la protection au droit de l'interruption par mise en place d'un écran de recouvrements de même hauteur dans les conditions en plans suivantes :



La longueur de recouvrement « l » doit être égale ou supérieure à 2 fois la distance « d » entre les écrans.

Si possible, la zone de recouvrement sera revêtue d'un matériau absorbant.

Dans le cas d'une insertion de voie ou d'une sortie, on pourra chercher à se rapprocher de la même règle.



On peut remarquer qu'un tel schéma soulève le problème de l'isolement de l'extrémité de l'écran dans un divergent. Ce problème est abordé en § 5.2, ci-après.

4.2.5

Traitement des extrémités

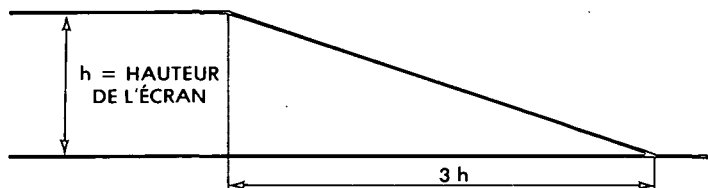
Les indications relatives au traitement des extrémités portent en fait sur plusieurs types d'effets :

- un mur constitue un écran à l'égard du bruit, mais aussi à l'égard du vent. Il peut, dans certaines conditions du site, interrompre le libre écoulement de l'air, ce qui a pour conséquence une brusque variation de pression dynamique sur une courte distance. Cette variation de la pression peut déséquilibrer certains véhicules quand ils passent au droit de son extrémité.
- Quand un véhicule quitte la zone protégée, le niveau sonore perçu par le riverain augmente brusquement. Cette variation brusque du niveau sonore peut être ressentie comme gênante.

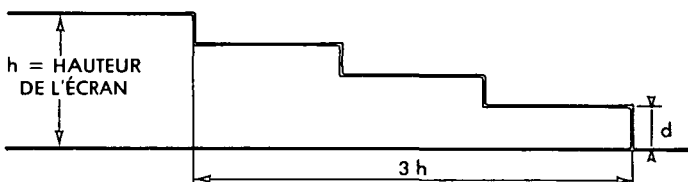
Pour remédier à ces effets, il y a lieu de traiter les extrémités d'écran en cherchant à créer des zones intermédiaires entre le champ libre et la zone réellement protégée par l'écran, de façon à rendre les effets ci-dessus aussi progressifs que possible.

A titre indicatif, les traitements d'extrémités pourront s'inspirer des indications suivantes pour les écrans implantés le long des voies circulées :

- Soit créer une pente régulière (pente minimum : 3/1).



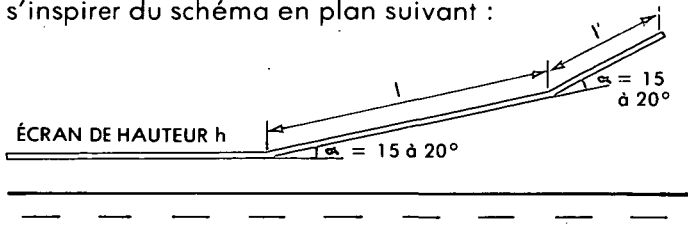
- Soit créer des décrochements successifs, dont la pente, dans le meilleur des cas, devrait approcher les 3/1.



La hauteur du dernier élément vertical, noté « d » sur le schéma ci-dessus pourra être de l'ordre de 0,50 m voire 1,00 m. Cette extrémité doit être par ailleurs isolée du choc d'un véhicule.

- Enfin, pour des raisons d'esthétique autant que de sécurité, on pourra chercher à éloigner l'extrémité d'écran de la proximité immédiate de la voie circulée.

Ainsi, si l'emprise disponible le permet, on pourra s'inspirer du schéma en plan suivant :



pour une hauteur d'écran égale à h mètres, les valeurs de « l » et « l' » seront d'environ :

- $l = 2h$
- $l' = \frac{h}{2}$ ou h selon la place.

Réflexions

4.2.6

Le problème des réflexions acoustiques est important pour tout récepteur qui se trouverait du même côté que la source. Il peut l'être également dans certains cas pour un récepteur situé derrière l'écran. Or, la mise en place d'un écran ne doit pas, autant que possible, entraîner un accroissement de la gêne des riverains situés en face de l'écran. Elle ne doit pas non plus diminuer l'efficacité d'un autre dispositif de protection situé sur le site.

Chaque fois que des ondes seront réfléchies en direction de zones sensibles au bruit, il y aura donc lieu de s'en préoccuper.

Si des réflexions augmentent sensiblement le niveau sonore d'une telle zone, on pourra :

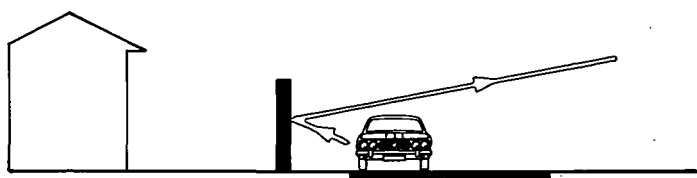
- soit chercher à les éviter en inclinant l'écran ou en utilisant des matériaux absorbant,
- soit protéger la zone recevant ces ondes réfléchies en réalisant un nouvel écran.

■ Où se préoccuper des réflexions :

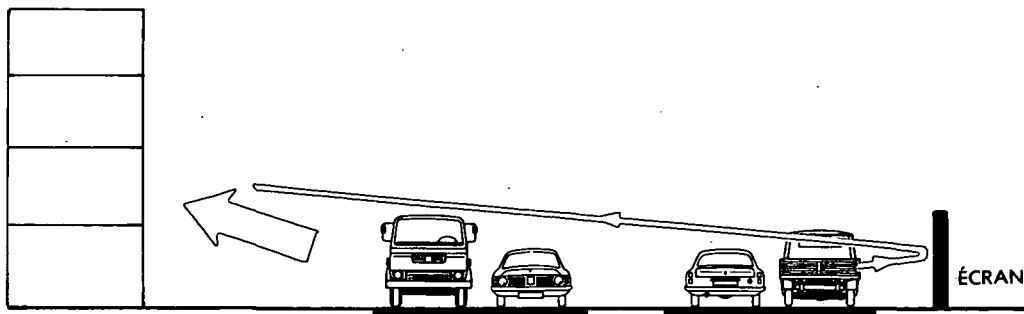
L'estimation précise de l'importance des réflexions pour une zone donnée conduit à des calculs complexes et souvent très répétitifs. Ce sont des calculs longs et souvent imprécis.

En première analyse, on peut cependant considérer que, dans certains cas, les réflexions n'auront pas d'importance. Dans d'autres cas, il y aura lieu de s'en préoccuper.

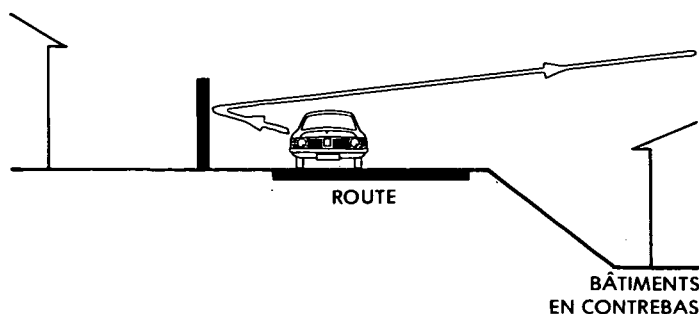
- **Les réflexions n'auront pas d'importance dans les cas suivants :**
- elles ne rencontrent pas d'activités sensibles au bruit (habitation, zones de loisirs...).



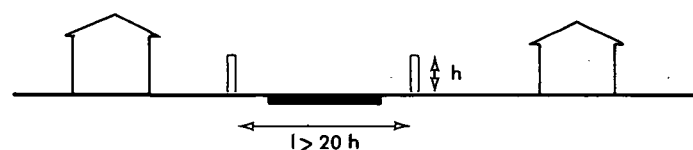
- le bruit direct est largement prépondérant devant les ondes réfléchies (sources larges, routes à très fort débit).



- les ondes réfléchies passent au-dessus des bâtiments.



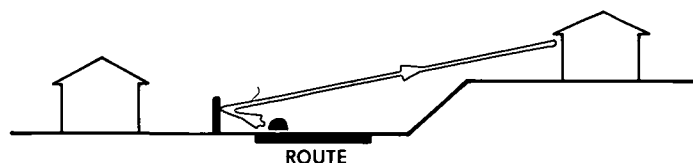
- la distance entre écrans face à face est très importante devant la hauteur des protections (l au moins égale à 20 fois la hauteur h).



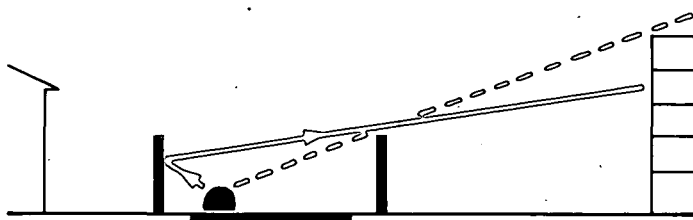
- **Par contre, dans de nombreux cas elles peuvent être gênantes**

si elles augmentent sensiblement le niveau sonore en façade de certains bâtiments ; par exemple :

- les ondes réfléchies sur l'écran sont orientées vers des bâtiments situés en face.



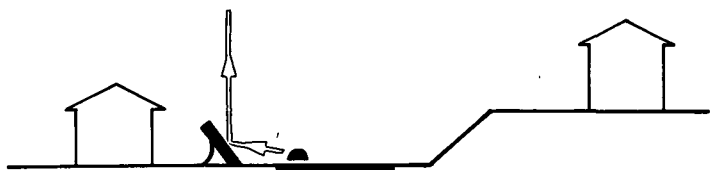
- deux écrans de grande hauteur sont implantés face à face et peu distants l'un de l'autre.



■ Comment les éviter -

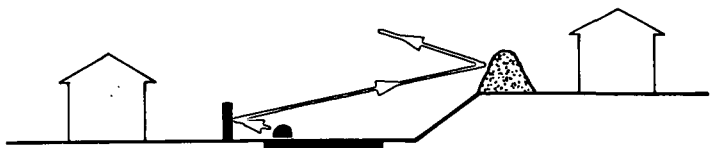
Pour éviter les réflexions, on pourra :

- soit utiliser des matériaux absorbants. Ces matériaux ont été décrits en § 3.3.4 ci-dessus. On se reportera à ce paragraphe pour plus de précisions.
- soit concevoir des protections dont la géométrie est telle que les ondes réfléchies sont orientées vers des zones non sensibles au bruit (zone dans lesquelles elles s'amortissent par propagation dans l'air).
- **pour des écrans installés d'un seul côté de la voie,**
on pourra incliner l'écran de façon à réfléchir les ondes vers des zones non sensibles.



Dans ce cas, l'inclinaison doit être d'environ 15 à 20° par rapport à la verticale. L'inclinaison sera définie de façon à ce que les ondes réfléchies passent au-dessus de la zone à protéger.

on pourra également protéger la zone soumise aux réflexions, soit à l'aide d'écran, soit à l'aide de buttes de terre.



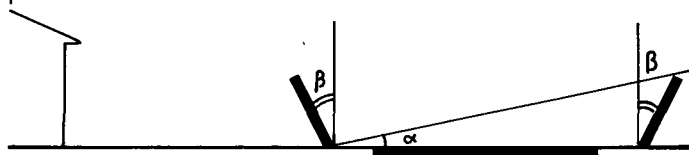
- **Dans le cas d'écrans implantés face à face,**
le CSTB recommande la règle simple suivante :

$h \geq \frac{1}{5}$	Le revêtement des parois de matériaux absorbants est nécessaire.
$\frac{1}{5} > h \geq \frac{1}{10}$	L'emploi de revêtement absorbant n'est pas forcément nécessaire. Il dépend du site et de l'inclinaison que l'on peut donner aux écrans. Par contre, l'inclinaison de l'écran devient très intéressante.
$\frac{1}{10} > h \geq \frac{1}{20}$	Il est nécessaire d'incliner les écrans (voir ci-après la valeur de l'angle d'inclinaison). Cette inclinaison est préférable à l'emploi d'absorbant, car plus efficace.
$h < \frac{1}{20}$	L'utilisation d'absorbants ou l'inclinaison des écrans devient inutile.

Il convient de noter qu'en toute rigueur, un écran incliné doit être de hauteur légèrement supérieure à celle de l'écran vertical équivalent puisque l'arête de diffraction est éloignée de la source par inclinaison de l'écran.

• Valeur de l'angle d'inclinaison

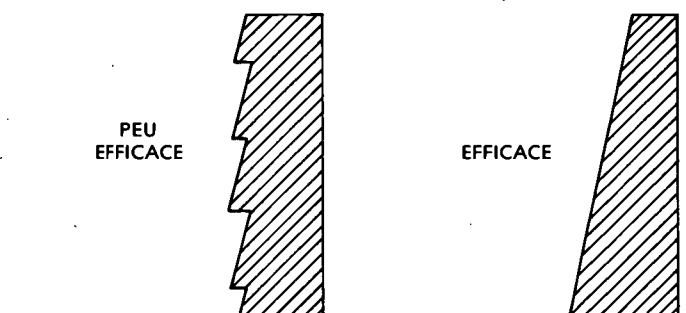
La valeur de l'angle d'inclinaison dépend des positions respectives de la source, du récepteur et des parois réfléchissantes.



L'angle d'inclinaison, noté β doit être tel que $\beta \geq \frac{\alpha}{2}$

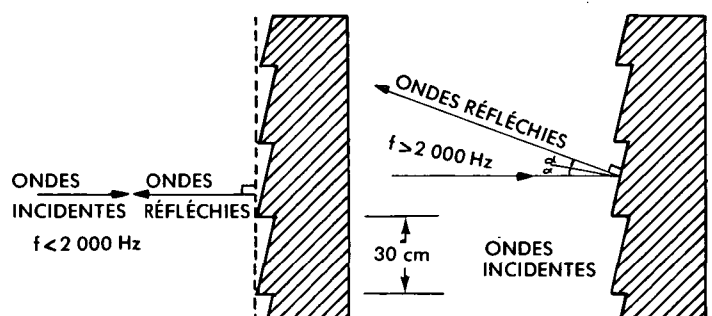
Remarque :

Cette inclinaison ne doit pas être décomposée en éléments de faible hauteur :

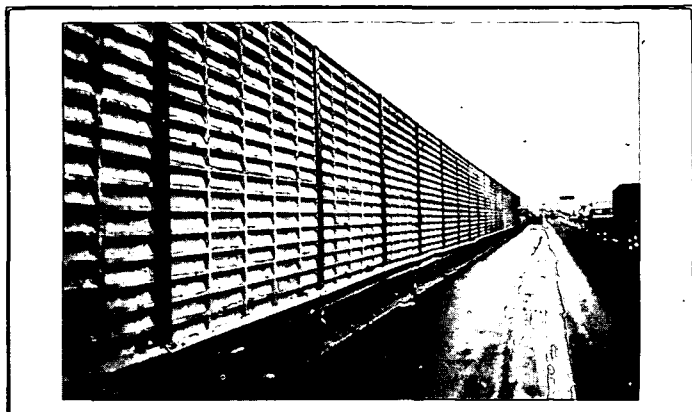


Les inclinaisons des figures ci-dessus ne sont pas équivalentes.

En acoustique, en effet, seules les longueurs d'onde inférieures à 2 fois la dimension de l'obstacle sont réfléchies de la même manière qu'en optique géométrique. Pour réfléchir une onde de fréquence 1 000 Hz, il faut un obstacle d'une dimension de 0,60 m minimum. En bruit routier, la paroi réfléchira avec un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence (par rapport à la normale à la paroi), si l'obstacle a une dimension au moins égale à 2,50 m voire 3 m compte tenu des fréquences rencontrées. Pour des « facettes » d'une dimension inférieure (schémas ci-dessous), seules les fréquences aiguës seront influencées ; quant aux fréquences basses, elles seront réfléchies avec le même angle que l'angle d'incidence, par rapport à la normale à l'enveloppe des facettes.



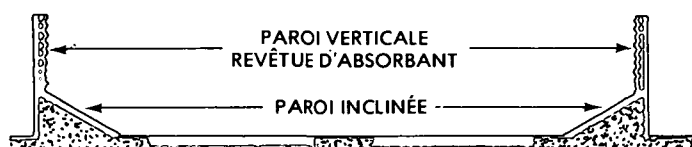
On retiendra que le fractionnement de l'écran en plusieurs plans inclinés doit faire apparaître des plans inclinés d'une dimension égale ou supérieure à 2,50 m.



Sur l'écran expérimental de L'HAY-LES-ROSES, l'inclinaison était décomposée en éléments de 0,30 m de hauteur. Cette inclinaison n'a aucun effet acoustique sensible pour un bruit routier.

● Solution mixte

Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (1) a souligné l'avantage de formes complexes alliant les avantages de la solution d'inclinaison des écrans et celle de l'utilisation d'absorbant. Un profil semblable à celui du schéma ci-dessous pourra, par exemple, apporter des avantages importants à l'égard de la réflexion dans une tranchée, ou bien pour des écrans implantés en face l'un de l'autre.



Étanchéité de l'ensemble du dispositif à la transmission 4.2.7

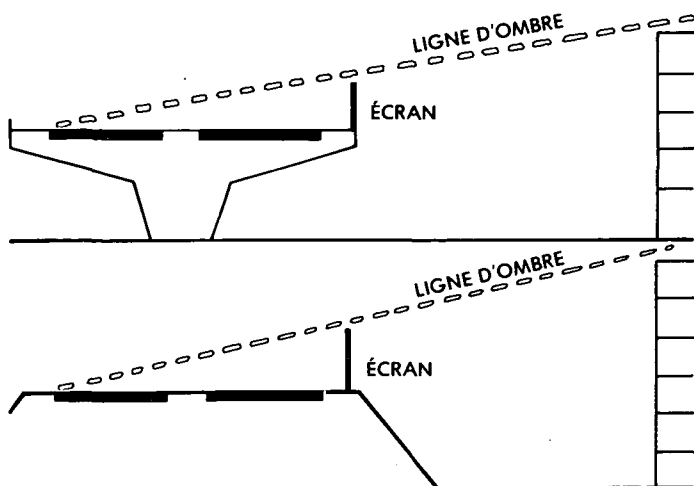
L'isolement constaté « in-situ », est pratiquement toujours inférieur à l'indice d'affaiblissement en transmission R , à cause de l'étanchéité, toujours imparfaite, de la paroi. Tout « trou » (porte d'accès, éléments brisés, etc...), toutes fentes entre éléments formant la paroi diminuent la valeur de l'indice d'affaiblissement « in-situ » lors de la réalisation d'un ouvrage. Le Maître d'Œuvre devra veiller utilement à ce que :

- Le montage des éléments de paroi, et leur fixation sur les éléments porteurs soient tels qu'ils assurent la meilleure étanchéité possible de l'ensemble de la paroi constituant l'écran.

- La jonction avec le sol soit bien réalisée. Si le sol est inégal, il y a lieu d'assurer la continuité de la protection par mise en place de graviers, terre, etc... On peut aussi construire un mur de faible hauteur pour constituer une assise horizontale sur laquelle repose l'écran.
- Les plaques constituant la paroi doivent toutes présenter un indice d'affaiblissement en transmission (cf. § 3.3.1 ci-dessus) au moins égal à celui retenu pour l'ensemble de l'écran.

Ecrans de faible hauteur 4.2.8

Il est possible d'utiliser des écrans de faible hauteur sur ouvrages, sur remblais, et, de façon générale, sur tous les sites particuliers dont les caractéristiques géométriques sont telles que, pour rejeter les bâtiments à protéger dans la zone d'ombre, ces écrans sont suffisants.



L'utilisation de tels écrans est assortie de recommandations particulières :

■ Dimensionnement minimum en hauteur

La hauteur d'un écran ne devrait jamais être inférieure à 0,80 m ou 1,00 m.

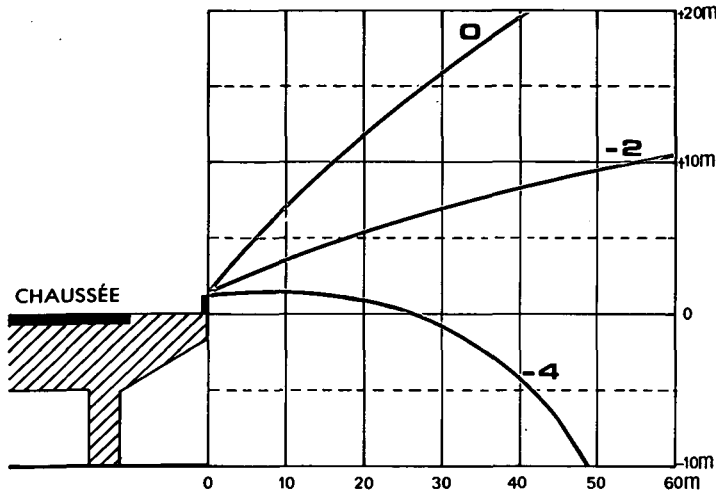
Il est en effet nécessaire que l'écran possède des dimensions « grandes » devant la longueur d'onde du son incident pour perturber réellement sa propagation. A la fréquence de 1 000 Hz correspond une longueur d'onde d'environ 30 cm dans l'atmosphère. A 250 Hz correspond une onde d'environ 1,20 m. On constate qu'une hauteur minimale de 1 m pour les écrans est bien justifiée, au regard du spectre du bruit des transports.

■ Efficacité

Ce type d'écran, vu sa dimension en hauteur, apporte des efficacités relativement faibles comprises entre 0 et 5 dB (A) selon la position du récepteur.

(1) Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur CNAM, disponible au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

A titre indicatif, un exemple de courbes d'égale atténuation du niveau de pression acoustique, obtenues à partir de résultats de mesures in-situ, est reproduit ci-dessous. Il concerne un viaduc équipé d'un muret californien (hauteur : 0,80 m).



Exemple de courbes d'égale atténuation du niveau pression acoustique mesurée in situ après mise en place d'un écran vertical de 0,80 m.

Les courbes représentent l'atténuation apportée par la réalisation de l'écran, le viaduc sans bordure ayant été pris comme référence.

Il est à noter que cette efficacité est due à l'effet propre de l'écran. Il faut lui ajouter l'effet de distance et l'effet du viaduc proprement dit pour connaître l'atténuation globale en un point et en déduire le niveau sonore.

L'effet du viaduc lui-même est très variable d'un site à l'autre et d'un type de viaduc à l'autre. Le Laboratoire Régional de l'Équipement de Bordeaux en a testé un certain nombre, dans le cadre d'une étude pilotée par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (1). Les résultats les plus importants de cette étude seront fournis dans le fascicule « Méthodes de prévision des niveaux sonores » du Guide du Bruit.

4.2.9 Recommandations particulières pour les écrans sur ouvrage

Les écrans sur ouvrage posent des problèmes particuliers pour lesquels il n'existe que peu de réponses à ce jour.

On peut en citer quelques-uns au vu des rares expériences dont nous disposons actuellement :

- L'ancrage doit être tel que l'écran résiste aux efforts dynamiques dûs au vent. Cependant, il convient de s'assurer que cet effort ne remet pas en cause la stabilité d'ensemble de l'ouvrage. Ceci peut être important dans le cas de réalisation d'écrans sur ouvrages existants. Pour dimensionner les écrans et leur structure porteuse, nous recommandons d'appliquer sur l'écran une surcharge dynamique conforme aux indications du « Neige et Vent » NV 65 modifiée 1967. Il ne semble pas justifié, dans l'état actuel, d'appliquer les surcharges utilisables pour le dimensionnement des structures d'ouvrages d'art. En effet, un écran acoustique n'est pas un élément porteur d'ouvrage d'art. Sa ruine ne mettrait pas en jeu la tenue de l'ouvrage lui-même.
- Les problèmes de dilatation ou de déformation des tabliers doivent être pris en compte dans la conception des écrans.

- Il convient également de s'assurer que, selon la nature des zones franchies par un ouvrage, des chutes d'éléments d'écrans ne puissent avoir de conséquences graves. Si tel était le cas, il convient de mettre en place des dispositifs qui rendent une telle chute impossible.
- Enfin, un problème de sécurité particulière se pose sur ouvrage : l'emprise disponible est réduite au juste nécessaire sur les ouvrages. Généralement, on ne dispose pas d'une place suffisante entre l'écran et les voies circulées pour interposer un dispositif de retenue classique et pour garantir le bon fonctionnement d'un tel dispositif. Ce point est abordé en § 5.2 ci-après.

En l'absence de recommandations, pour traiter les problèmes évoqués ci-dessus et, tout autre problème qui serait soulevé par un site particulier sur ouvrage, il convient de se rapprocher de spécialistes des ouvrages d'art et notamment, la Division des Ouvrages d'Art du Service d'Études Techniques des Ponts et Autoroutes.

Il est à noter qu'un groupe de travail prépare d'ores et déjà des recommandations particulières relatives à la fixation d'un écran sur ouvrage avec toutes les conséquences que cette fixation implique.

(1) Distribution du bruit autour d'un viaduc. Rapport disponible au LCPC.

AUTRES
RECOMMANDATIONS
TECHNIQUES
RELATIVES
5
AUX
ÉCRANS
VERTICAUX
ET BUTTES DE TERRE
RECOMMANDATIONS
TECHNIQUES

Stabilité

propre

de l'ouvrage

5.1

Un écran contre le bruit constitue, du point de vue de sa stabilité, un ouvrage comme les autres.

Pour dimensionner ses éléments porteurs, les règles classiques de calcul (béton armé, béton précontraint, construction métallique) de tout édifice public sont applicables.

Les écrans seront donc dimensionnés en fonction des caractéristiques du site et de la qualité des terrains, pour les actions suivantes :

● Poids propre

Le poids propre d'un écran anti-bruit se compose du poids des éléments de paroi et de celui des éléments porteurs.

Pour la vérification de la stabilité, il y a lieu d'utiliser, selon le type d'écran, soit le poids à l'état sec (écrans réfléchissants), soit (si celui-ci est moins favorable du point de vue de la stabilité), le poids à l'état humide des éléments. Pour les écrans absorbants en particulier, une surcharge résultant d'un remplissage d'eau à 20 % pourra être prise en compte pour tenir compte de l'exposition à la pluie ou à l'eau de projection des matériaux absorbants.

● Charge due au vent

D'une façon générale, l'écran devra satisfaire au règlement NV 65 modifié 1967.

La charge due au vent est à calculer en tant que charge uniformément répartie sur toute la surface de l'écran, et agissant horizontalement. Cette charge peut agir alternativement de chaque côté de l'écran.

Pour des recommandations précises, on se reportera au Cahier des Prescriptions Communes des Ouvrages Routiers, titre II.

● Fondations

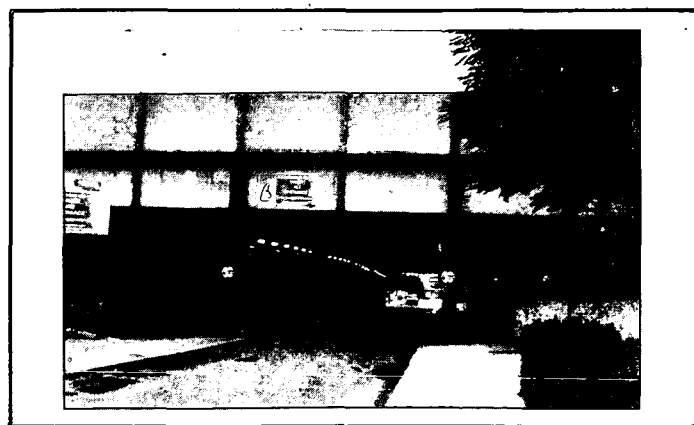
Les fondations seront dimensionnées suivant les règles classiques de tout ouvrage, auxquelles on se reportera.

L'attention est cependant attirée sur un des caractères particuliers des écrans acoustiques : ils sont généralement implantés en bordure de plateforme de la voie de circulation.

Dans le cas de voie en remblai, cette implantation pourra nécessiter, vu la mauvaise tenue de ce type de terrain, des fondations spéciales sur puits ou pieux. Cette sujétion pourra conduire à des suppléments de coûts importants.

Sur ouvrage, l'accrochage de l'écran devra être soumis à l'avis de spécialistes d'ouvrages d'art. Si cet accrochage n'était pas possible, il y aurait lieu de prévoir une reprise des efforts sur un portique indépendant.

Des recommandations particulières concernant ce problème sont actuellement en cours d'élaboration par le CETUR et la Division Ouvrage d'Art du SETRA qui seront diffusées séparément, dès leur mise au point définitive.



Reprise des efforts sur portique indépendant.

Sécurité à l'égard du choc d'un véhicule

5.2

Un écran, mis en place en bordure immédiate d'une chaussée engendre un certain nombre de risques pour l'automobiliste ou le riverain :

- par son effet de paroi, il peut modifier la trajectoire des véhicules en circulation et particulièrement des poids lourds,
- il constitue un écran à l'égard du vent et peut, dans certaines conditions de site, entraîner des variations brusques de pression sur les véhicules,
- il présente un risque d'aggravation des conséquences d'une sortie accidentellement de chaussée s'il est heurté en section courante ou bien à ses extrémités.

5.2.1

Position du problème

Pour des raisons d'efficacité, les écrans seront généralement implantés au plus près de la source de bruit, c'est-à-dire en limite de plateforme pour les voies de circulation routière.

Ainsi implantés, ils constituent un obstacle de grande longueur qui peut être heurté par un véhicule.

Deux conséquences sont alors possibles :

- **l'écran est très résistant.** Sa présence introduit un risque d'aggravation des conséquences d'une sortie de chaussée pour l'automobiliste ou son véhicule. Il est « agressif ».
- **l'écran ne résiste pas.** Il peut alors être détruit par le véhicule qui le percute. Dans ce cas, il peut y avoir projection d'éléments provenant de l'écran sur la zone proche, d'où un risque d'accident secondaire pour les riverains de l'autoroute.

Or les écrans protègent acoustiquement les riverains les plus exposés, qui sont précisément situés aux distances les plus faibles des voies.

Il y a donc un risque réel, lors de la réalisation d'écrans acoustiques, pour la sécurité des automobilistes ou celle des riverains les plus proches des voies de circulation.

D'autres phénomènes peuvent se produire : suppression de visibilité transversale, augmentation brusque du niveau sonore, changement de luminosité, risques de réflexion lumineuse (solaire en période diurne, phares en période nocturne...).

Enfin, il peut présenter des risques d'accident secondaire en cas de destruction par incendie.

Le présent paragraphe aborde essentiellement le problème important de la sécurité à l'égard des chocs latéraux des véhicules quittant accidentellement la chaussée (1). Les autres aspects liés à la sécurité seront abordés au § 5.3 ci-après.

Pour réduire ce risque, il existe actuellement deux types de solutions :

- soit isoler l'écran, considéré comme un obstacle, par un dispositif de retenue classique,
- soit aménager l'écran pour que, en plus de sa fonction propre, il assure une fonction sécurité suffisante. C'est alors la « sécurité intégrée » qui permet, éventuellement, d'éviter l'utilisation d'un dispositif de retenue.

Cependant les véhicules en circulation sont de tous types : poids lourds, autobus, berlines, etc...

A ces différentes catégories de véhicules correspondent différents niveaux de sécurité et différentes catégories de dispositifs de retenue. Pour bien poser le problème de la sécurité relative à la mise en place des écrans acoustiques, il convient d'abord de choisir le niveau de sécurité adéquat (2).

(1) L'ensemble des problèmes abordés dans les pages qui suivent sont traités en détail dans des textes existants (circulaires ou dossiers pilotes) auxquels nous renvoyons le lecteur. Les textes les plus importants sont la circulaire 75.131 du 4 septembre 1975 pour les dispositifs de retenue hors ouvrages (et fiches techniques jointes) et le dossier pilote GC 77 pour tout ce qui concerne les dispositifs de retenue sur ouvrage d'art (ponts, viaducs, murs de soutènement).

(2) Il est à noter que ces recommandations n'abordent pas le problème de la sécurité des 2 Roues, pour lesquels des recommandations spécifiques peuvent être obtenues auprès des services spécialisés.

Deux niveaux de sécurité : berlines et poids lourds

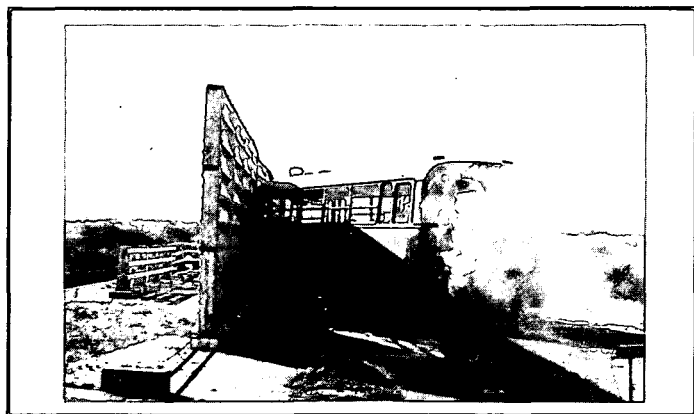
5.2.2

■ Essais normalisés :

Depuis de nombreuses années, les obstacles qui présentent un danger vis-à-vis des véhicules quittant accidentellement la chaussée ont été isolés par des dispositifs de retenue. Ceux-ci constituent par eux-mêmes des obstacles longs, implantés au plus près de la chaussée. Ils sont donc fréquemment heurtés. Des études expérimentales longues et poussées ont permis de les rendre suffisamment performants pour que les dégâts provoqués sur les véhicules soient aussi faibles que possible, compte tenu de la nécessité d'empêcher ces véhicules de heurter l'obstacle isolé.

En fait, deux conditions de choc types ont été dégagées de l'expérience. Elles constituent des tests très contraignants pour les dispositifs de retenue (la majeure partie des chocs réels étant généralement moins sévères que ces tests) :

Elles sont décrites ci-après, en même temps que les dispositifs de retenue qui leur correspondent.



Choc d'un autocar.

Le comportement du dispositif au cours d'un choc réel est analysé en tenant compte notamment :

- du comportement du véhicule sous choc (éviter tout blocage) et après le choc (renvoi du véhicule en réduisant les risques d'accidents secondaires),
- du comportement mécanique du dispositif sous choc (résistance d'ensemble, flèches dynamiques), et après le choc (déformations),
- des dégâts apportés à l'habitacle du véhicule testé,
- des décélérations auxquelles serait soumis un automobiliste (mesure et analyse du comportement de mannequins installés dans l'habitacle).

Si ces chocs réalisés mettent en évidence un comportement satisfaisant du dispositif de retenue

testé par l'ONSER (1), et attesté par la Commission Spécialisée d'Homologation des Glissières du Ministère des Transports, alors le dispositif peut être installé en bordure de chaussée, à titre expérimental puis, ultérieurement de façon courante.

■ Deux catégories de dispositifs : glissières et barrières de sécurité

● les glissières

Un dispositif destiné à retenir les véhicules légers est soumis à deux essais :

- une berline de 1.250 kg lancée à 80 km/h sous un angle d'impact de 30°,
- une berline de 1.250 kg lancée à 100 km/h sous un angle d'impact de 20°.

Cette catégorie de dispositif est répertoriée sous l'appellation générale de « glissière de sécurité ». Elle comprend les glissières simples et les glissières doubles, ces glissières sont des dispositifs peu adaptés, à l'évidence, à la retenue d'autres catégories de véhicules comme les poids lourds, par exemple.

● Les barrières

Un dispositif destiné à retenir les poids lourds est également soumis à deux essais :

- le choc d'un véhicule lourd, dont la masse correspond au maximum de la catégorie prévue. Cet essai est réalisé avec une vitesse d'au moins 70 km/h et un angle de 20°,

le choc d'une berline afin de vérifier que son agressivité à l'égard de ce type de véhicule demeure acceptable.

Ces dispositifs sont appelés « barrières de sécurité ».

On distingue trois catégories de barrières :

- « les barrières légères » aptes à retenir des véhicules de poids total en charge d'environ 3,5 tonnes.
- « les barrières normales » aptes à retenir des véhicules de poids total en charge compris entre 3,5 tonnes et 12 tonnes, notamment les autocars,
- « les barrières lourdes » conçues pour retenir sur la plate-forme tout véhicule, quelle que soit sa masse.

Certains de ces dispositifs, qui présentent une agressivité trop importante à l'égard des autres catégories de véhicules (berline notamment), sont utilisés avec interposition d'une glissière entre la chaussée et eux.

(1) Organisme National de Sécurité Routière.

■ Choix d'un niveau de sécurité et d'un dispositif adéquat

On dispose donc de deux catégories de dispositifs correspondant à deux niveaux de sécurité différents :

- ceux qui assurent une bonne sécurité à l'égard des berlines,
- ceux qui assurent une bonne sécurité à l'égard des poids lourds (environ 12 tonnes en charge).

Le choix de l'une ou l'autre catégorie de dispositifs ne peut donner lieu à des règles générales.

C'est cas par cas, et en fonction des conditions particulières de chaque site qu'il convient de définir le dispositif à mettre en place.

On peut, cependant, éclairer le choix d'un dispositif par les éléments suivants :

● Glissières

D'une façon générale, les accidents survenus en milieu urbain par sortie de chaussée concernent surtout des véhicules légers.

Ainsi, lorsqu'un écran acoustique sera implanté en bordure de chaussée, il y a lieu d'examiner les problèmes de sécurité qui en résultent à l'égard de cette catégorie de véhicules.

Sauf cas très particuliers de risques graves ou de conditions de sites exceptionnelles, ce sont donc des glissières aptes à retenir les berlines qui devraient être implantées devant les écrans acoustiques.

● Barrières

Dans le cas où des sorties accidentelles de chaussées par des véhicules poids lourds présenteraient une probabilité élevée, ou bien conduirait à des risques de gravités particulièrement importants, il y aurait lieu de passer à un niveau de sécurité accru.

De tels cas pourront se présenter s'ils répondent notamment à une des situations suivantes :

- existence d'un très fort trafic poids lourds. Il est rappelé que la moyenne nationale se situe autour de 12,5 % par rapport au trafic total. Si les pourcentages de trafics poids lourds, en période diurne ou en période nocturne, ou si le nombre intrinsèque de poids lourds qui circulent sur les voies était sensiblement supérieur à cette moyenne, il conviendrait d'utiliser des barrières,
- l'existence de caractéristiques géométriques mal adaptées à la circulation de forts trafics poids lourds. Ce peut être le cas de routes anciennes, ou de bretelles d'échangeurs à caractéristiques réduites, notamment en milieux fortement urbanisés.
- l'existence, aux abords de certaines chaussées, de bâtiments particulièrement proches des voies de circulation et abritant des activités qui rendraient les conséquences d'une sortie de chaussée particulièrement graves (écoles, zones de loisirs, zones piétonnes, habitations, etc...), si bien sûr, la configuration topographique du site rendait de tels accidents secondaires possibles.

Dans les cas précédents, la retenue des berlines ne suffit plus et il convient d'utiliser des dispositifs aptes à retenir les véhicules lourds.

5.2. 3 Dispositifs de retenue pour l'isolement des sections courantes

Pour l'isolement des écrans acoustiques, on pourra utiliser un des dispositifs de sécurité suivants, conformément aux règles en usage définies par la Direction des Routes et relatives aux aménagements de sécurité implantés en bordure de chaussée⁽¹⁾.

■ véhicules légers

L'implantation de glissières de sécurité pour la retenue des berlines est recommandée en section courante. On utilisera de préférence les glissières du type GS4 ou bien GS2. Il est rappelé qu'une distance minimale entre le nu avant de la glissière et l'obstacle dont on cherche à s'isoler doit être res-

pectée. Cette distance est de 1,60 m pour la glissière GS4, elle est de 1,20 m pour la glissière du type GS2.



Glissière de sécurité.

(1) Les présentes indications ne constituant qu'un rappel, pour des informations rigoureuses et complètes, on s'adressera au SETRA, Division Exploitation et Sécurité (glissières simples et barrières installées hors ouvrage) ou Division d'Ouvrage d'Art (barrières installées sur Ouvrages d'art).

■ véhicules Poids Lourds

Pour la retenue des Poids Lourds de poids total en charge d'environ 12 tonnes, il est recommandé d'utiliser un des dispositifs suivants :

- la barrière normale de type BHO. Cette barrière permet de retenir un véhicule de poids total en charge de 12 tonnes, dans les conditions de choc précitées, ou des véhicules de poids supérieur dans des conditions de choc moins sévères.

La distance « d » entre le nu avant de la barrière et l'obstacle sera au minimum égale à 1,20 m afin d'obtenir un bon fonctionnement du dispositif et d'éviter tout heurt de l'obstacle.

L'implantation de cette barrière ne nécessite aucune infrastructure particulière puisqu'elle est fixée sur des supports plantés dans le sol (qui doit cependant lui-même présenter une consistance suffisante).



Barrière B H O.

- le séparateur en béton adhérent du type DBA. La sécurité assurée par ce dispositif est analogue à celle d'une barrière normale, c'est-à-dire qu'elle est conçue pour la retenue d'un véhicule de 12 tonnes.

Par contre l'agressivité à l'égard des berlines est plus importante que celle d'une BHO, ce qui conduit à limiter généralement l'utilisation de ce dispositif aux voies où la vitesse est limitée à 80 km/h (1). La distance souhaitable pour ce type de dispositif entre le nu avant de la barrière et l'obstacle est de 1,20 m.

Le séparateur doit être coulé en place sur une couche d'enrobé elle-même placée sur une fondation ou bien une longrine en béton. Des joints de dilatation seront prévus, si nécessaire. Une utilisation sur ouvrage d'art doit faire l'objet d'une étude spécifique démontrant que la pose est compatible avec la structure de l'ouvrage.

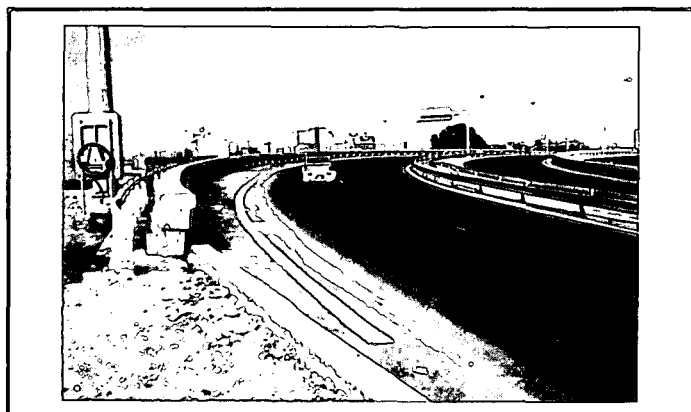
(1) Dans certains cas, une utilisation différente de ce dispositif est possible, mais elle doit faire l'objet d'un accord de la Direction des Routes et de la Circulation Routière.

- la barrière normale modèle BN3 ou BN4. Ce dispositif, constitué d'une poutre en béton préfabriqué, et précontraint, scellée sur des socles simplement posés sur semelle, présente des qualités suffisantes pour la retenue de véhicules lourds (12 tonnes), dans des conditions de chocs très sévères. Elle a donné de bons résultats sous des angles d'impact expérimentaux de 30°.

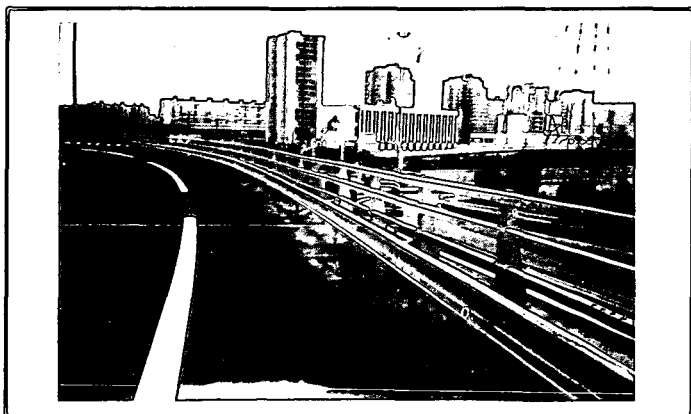
Son agressivité à l'égard des berlines est inférieure à celle des BHO ou séparateurs en béton grâce à la file de glissière fixée sur amortisseur qu'elle comporte.

La distance entre nu avant de la barrière et l'obstacle sera d'au moins 1,20 m, qui correspond à l'encombrement du dispositif et à sa possibilité de déformation.

Cette barrière doit obligatoirement être posée sur une semelle béton qui assure la résistance au poids propre et permet également le glissement transversal des socles.



Barrière normale modèle BN3 sur un ouvrage de l'échangeur de Bagnolet à Paris.



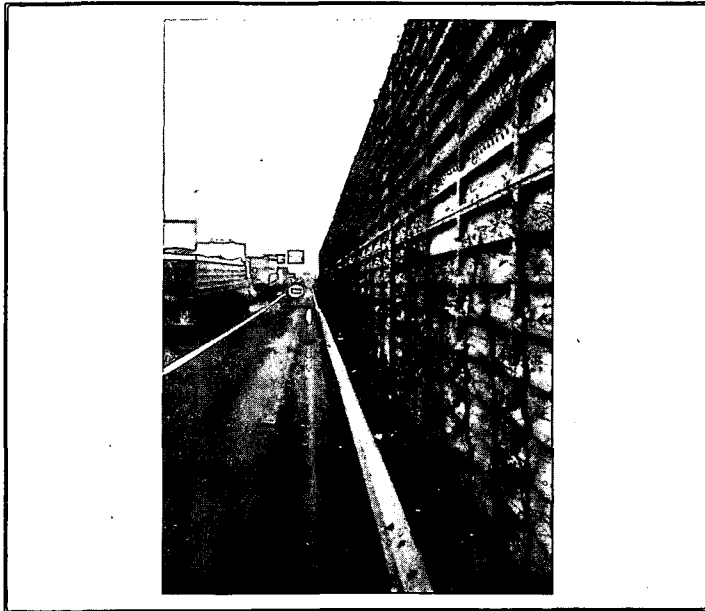
Barrière normale modèle BN4 sur l'échangeur des autoroutes A15 et A86 à Gennevilliers. Elle est ici fixée en crête d'un mur de soutènement et comporte en avant une glissière de sécurité pour la retenue des véhicules légers (disposition rarement employée).

5.2.4 Dispositifs à double fonction : acoustique et sécurité

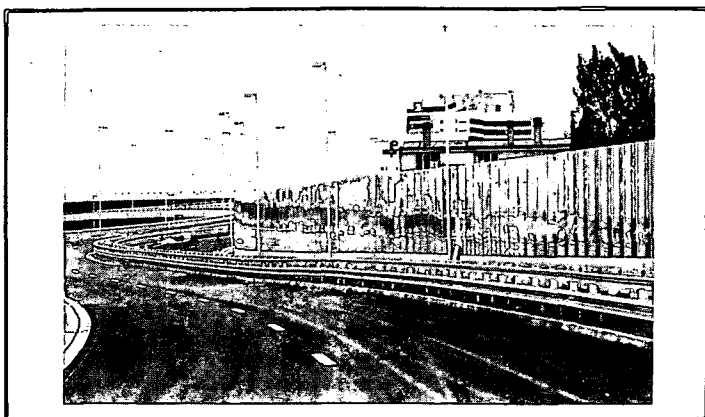
Les dispositifs à fonctions séparées comportent plusieurs inconvénients importants :

- ils imposent la réalisation de deux dispositifs, ce qui entraîne un coût total de 1 500 F à 3 000 F par mètre linéaire pour le seul écran acoustique auquel il convient d'ajouter celui de la glissière, ou de la barrière,
- ils neutralisent une bande de 1,20 m à 1,60 m de largeur de terrain, ce qui est particulièrement gênant et onéreux pour les profils où la place est limitée (ouvrages, remblais, etc...).

C'est pourquoi des études récentes ont été entreprises qui ont permis de mettre au point des procédés alliant à la fois la fonction acoustique et la fonction sécurité.



Glissière devant écran à L'HAY-LES-ROSES.



Une barrière type BHO a été installée devant l'écran de verre de la DÉFENSE.

■ Dispositif à fonctions superposées : l'écran sur barrière BN 4

Sur ouvrage d'art ou sur remblai, la pose d'un double dispositif n'est pas toujours possible à cause de son encombrement. Or les ouvrages sont souvent équipés de barrières normales, le type de barrière le plus répandu étant la BN 4.

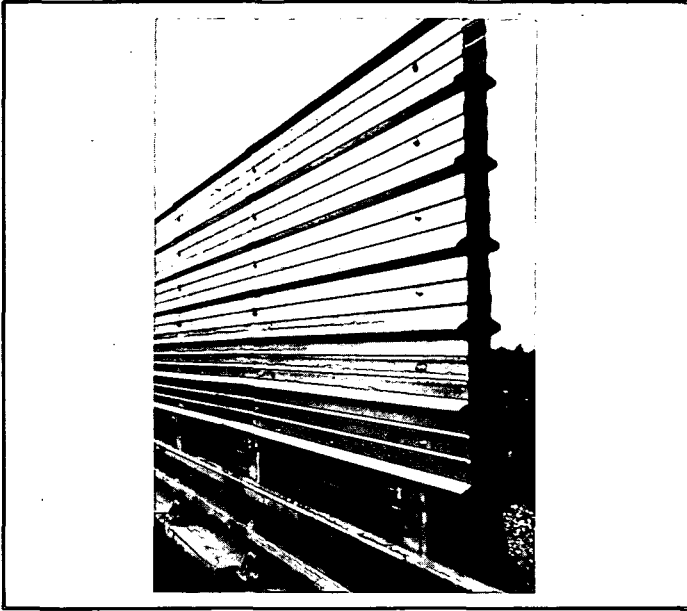
Pour répondre à ces difficultés, une solution d'écran acoustique soutenu par la barrière de sécurité a été étudiée.

Cette étude qui a été conduite par le Centre d'Évaluation et de Recherche des Nuisances de l'Institut de Recherches des Transports vient d'être achevée en étroite collaboration avec l'Organisme National de Sécurité Routière (O.N.S.E.R.) (1).

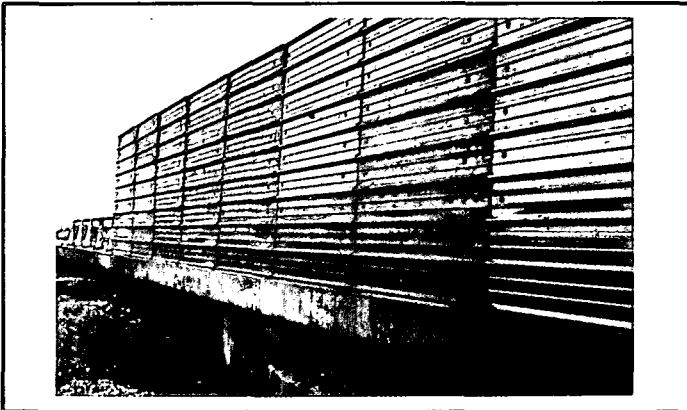
Le dispositif mis au point par ces organismes, possède les caractéristiques suivantes :

- barrière de sécurité normale métallique à lisses horizontales standard type BN 4 (cf. dossier GC 77, pièce 4.4.4).
- Écran acoustique par éléments de 2,75 m juxtaposés (recouvrement de 0,25 m). Panneaux en acier galvanisé d'épaisseur 0,75 m qui recouvrent entièrement la barrière de sécurité et se développent en hauteur jusqu'à 6 m environ, la hauteur totale étant fonction de l'objectif acoustique à atteindre.

(1) On pourra obtenir tous renseignements techniques concernant cette barrière à double fonction auprès de l'ONSER, du SETRA (D.O.A. et D.E.S.) ou du CETUR. Voir également l'article « Ecrans Acoustiques et Sécurité » paru dans la Revue Générale des Routes et Aérodrôme N° 542 de mai 1978.

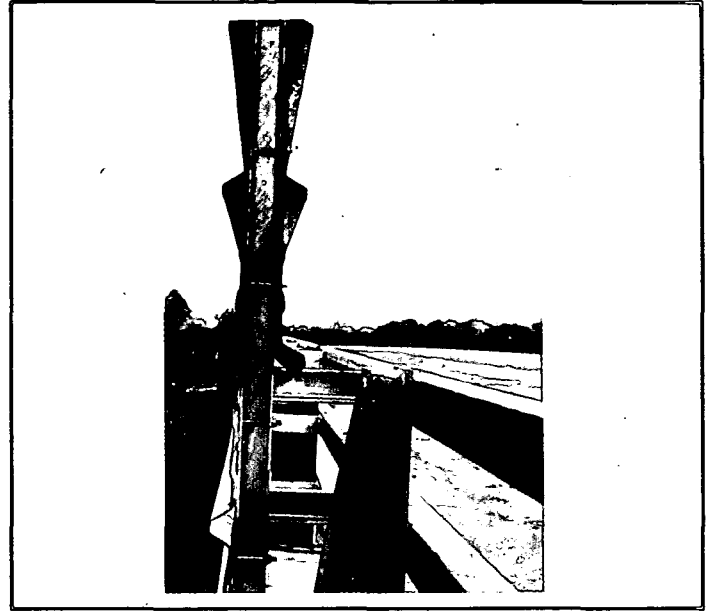


La barrière à fonctions superposées.
En bas : la barrière BN 4, lisses horizontales et supports.
En haut : l'écran acoustique en tôle qui se développe depuis le sol (derrière la barrière) jusqu'à une hauteur de 3 m.



Vue arrière de l'écran à fonctions superposées.

- Dimensions de l'ensemble : hauteur comprise entre 3 et 6 m, encombrement total 0,60 m. Il est à noter que l'encombrement total est conditionné par la nécessité de réaliser un recul entre l'écran acoustique et la barrière, afin d'éviter, au cours d'un choc, que le haut de la carrosserie du véhicule n'entre en contact avec l'écran. Ainsi, c'est bien la barrière qui joue le rôle de dispositif de sécurité, l'écran acoustique ne modifiant pas de façon sensible les conditions de choc et de retenue d'un véhicule.



Au premier plan à droite la barrière à lisses horizontales BN 4.
Au centre, l'écran acoustique vu en coupe.
Entre la barrière et l'écran acoustique, on peut distinguer les entretoises qui assurent la liaison et procurent le recul de 0,40 m nécessaire pour éviter que le véhicule ne heurte l'écran dans sa partie haute, en cas de sortie de chaussée.

Quatre essais (choc d'un véhicule de 12 tonnes à vitesse de 70 km/h sous un angle de 20°) ont été nécessaires pour la mise au point du système. Les modifications apportées au cours des essais sur le dispositif initial concernaient essentiellement la liaison entre la barrière de sécurité et les panneaux acoustiques, afin que ceux-ci ne portent pas préjudice au bon comportement de la barrière et afin d'éviter que les panneaux soient éjectés pendant le choc.

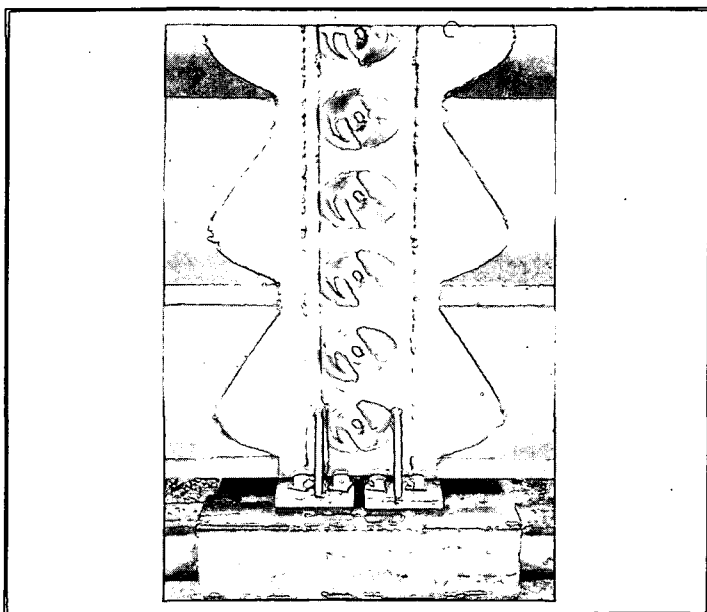


La barrière acoustique et sécurité après un des essais au choc. La barrière BN 4 a résisté et aucun élément d'écran acoustique ne s'est détaché et n'a été projeté.

Les avantages de cette barrière sont nombreux :

- gain de place et amélioration de la sécurité par rapport à un écran classique placé derrière une glissière,

- accroissement de l'efficacité de l'écran acoustique par rapport au double dispositif précédemment décrit pour une même hauteur d'écran (la réduction des niveaux de bruit obtenue est plus grande puisque l'écran est plus proche de la source),
- un seul et même ancrage est nécessaire pour l'ensemble du dispositif, d'où une facilité de pose accrue et un avantage de coût par rapport au double dispositif,
- dispositif adaptable sur les ouvrages d'art en place, sous réserve d'une étude de la stabilité de l'ensemble et de sa tenue au vent,



Détail de l'assemblage entre caissons et de la fixation sur ouvrage ou semelle de fondation.

- possibilité de retenue partielle de chargements si leur masse est faible. Nous rappelons qu'il n'existe actuellement aucun dispositif de sécurité assurant une telle retenue, même partielle,
- dispositif ayant été testé sous chocs réels de véhicules 12 tonnes à 70 km/h,
- possibilité de revêtement en matériaux absorbants de l'écran, soit sur l'ensemble de sa surface, soit au voisinage de la frange diffractante.

Quelques inconvénients doivent cependant être cités :

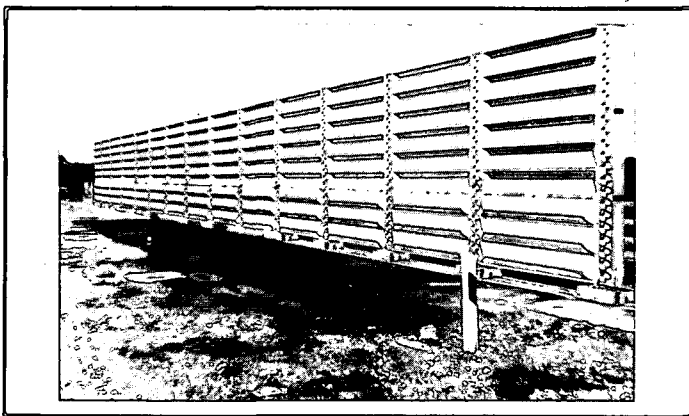
- en cas de choc de véhicule, il faut réparer l'ensemble,
- esthétique discutable (mais l'écran peut être peint).
- nécessité de vérifier la stabilité de la structure porteuse.

■ Fonctions acoustiques et sécurité intégrées

Il est possible de réduire encore l'encombrement d'un dispositif en lui faisant assurer, à la fois, les fonctions acoustiques et sécurité. Un tel dispositif a été étudié récemment par une Société de Construction métallique : l'écran SECURIBEL. Il a été soumis à des essais statiques puis à des essais dynamiques par l'ONSER : essais poids lourds de 12 tonnes et essais berline.

Description du dispositif

La barrière est composée de caissons modulaires, de dimensions extérieures 3 m x 1,1 m x 0,2 m assemblés par juxtaposition verticale et horizontale par l'intermédiaire de boulons. Chaque caisson est formé de deux panneaux emboutis et de deux montants verticaux intégrés au caisson et formant poteau.



Barrière à fonctions acoustique et sécurité intégrées. On distingue les caissons modulaires et les poteaux intégrés.

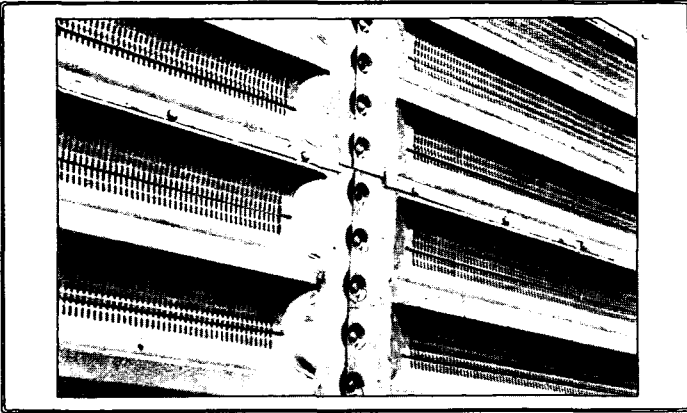
La solution acier embouti permet d'intégrer une structure résistante (les poteaux) à l'ensemble du dispositif sans discontinuité.

C'est l'ensemble « poteaux intégrés et éléments de barrière emboutis » qui assure une résistance homogène et répartie sur toute la longueur du dispositif.

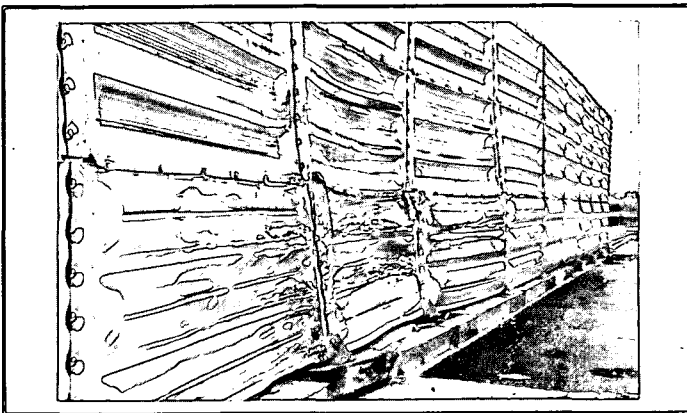
Sur le plan acoustique cette barrière peut être, soit réfléchissante, soit absorbante. Dans ce cas, les caissons se composent d'un panneau embouti plein (côté zone protégée) et d'un panneau embouti perforé (côté route). L'intérieur est alors rempli de matériau poreux ou fibreux.

Sur le plan sécurité, elle possède un fonctionnement sous choc comparable à celui d'une barrière de type BN 4. Elle est fixée sur une infrastructure rigide par l'intermédiaire de vis fusibles qui permettent de limiter les efforts transmis aux fondations, et qui lui procurent une certaine souplesse sous choc.

Testée dans des conditions d'implantation sur ouvrage d'art, elle peut être utilisée hors ouvrage à condition de prévoir des ancrages de poteaux qui, espacés de 3 m, doivent pouvoir supporter chacun un couple de 2.10^5 m.N. (1).



La partie écran de la barrière à fonctions intégrées peut être rendue absorbante en perforant les panneaux supérieurs côté route et en remplissant l'intérieur de matériaux poreux ou fibreux.



La barrière, après un des essais de choc avec autocar. Elle a résisté et aucun élément n'a été projeté.

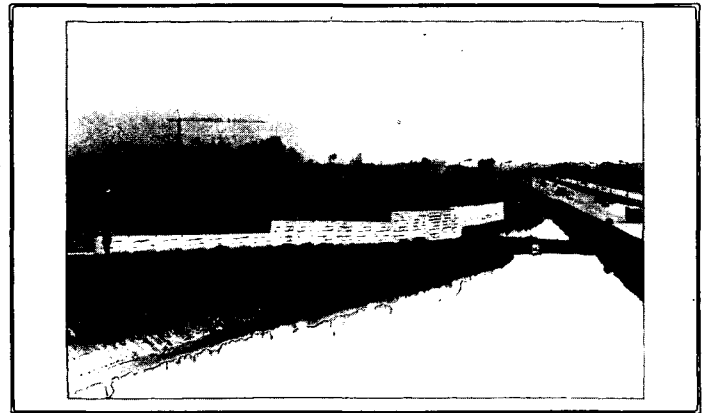
De tels ancrages sont encore en cours de mise au point. Ils seront réalisés soit :

- par pieux métalliques fichés dans le sol,
- par pieux ou massifs en béton,
- par longrine ou semelle béton.

Outre les avantages précédemment décrits, elle possède les mêmes qualités, mais aussi des inconvénients comparables à ceux du dispositif à fonctions superposées.

Il est à noter que la conception de cette barrière permet :

- d'absorber des ruptures de pente jusqu'à 5 %,
- de suivre toutes courbes de rayon supérieur à 30 m.



Barrière à fonction acoustique et sécurité implantée expérimentalement à proximité de l'autoroute A4.

Recommandations pour l'isolement des extrémités 5.2.5

Un écran acoustique possède toujours une longueur finie. Il présente donc deux extrémités qui nécessitent une attention toute particulière en raison de leur forte agressivité : ce sont des obstacles rigides aussi dangereux qu'une pile de pont ou un pied de portique.

(1) Pour une telle utilisation encore expérimentale, il est recommandé de soumettre le projet avant réalisation à un avis des services spécialisés, notamment du S.E.T.R.A. (Division Ouvrages d'Art ou Division Exploitation et sécurité), conformément aux indications du § 7 ci-après.

Deux actions sont possibles :

- Si un dispositif de retenue isole la section courante de l'écran, il doit se poursuivre de part et d'autre afin d'éviter tout choc contre l'extrémité d'écran. Si un tel dispositif n'existe pas en section courante (utilisation du dispositif à double fonction par exemple), un dispositif de retenue spécifique sera implanté au droit de l'extrémité de l'écran. Le choix du dispositif et son implantation seront conformes aux règles techniques en la matière, disponibles auprès du S.E.T.R.A.
- L'extrémité de l'écran peut être elle-même traitée convenablement, pour ne pas constituer un obstacle dangereux. Par exemple, un écran installé dans le prolongement d'une butte de terre peut avoir son extrémité enterrée dans la butte.

Autres aspects liés à la sécurité

5.3

Dans ce paragraphe sont abordés les aspects liés à la sécurité, qui ne sont pas en relation directe avec le problème des conséquences d'une sortie acci-

dentelle de la chaussée et du heurt d'un écran par un véhicule, aspect traité dans le paragraphe précédent.

5.3.1

Effet de paroi

Dans le cas général, l'écran est implanté en bordure de plateforme. Cette localisation libère un espace suffisant pour réduire l'effet de paroi.

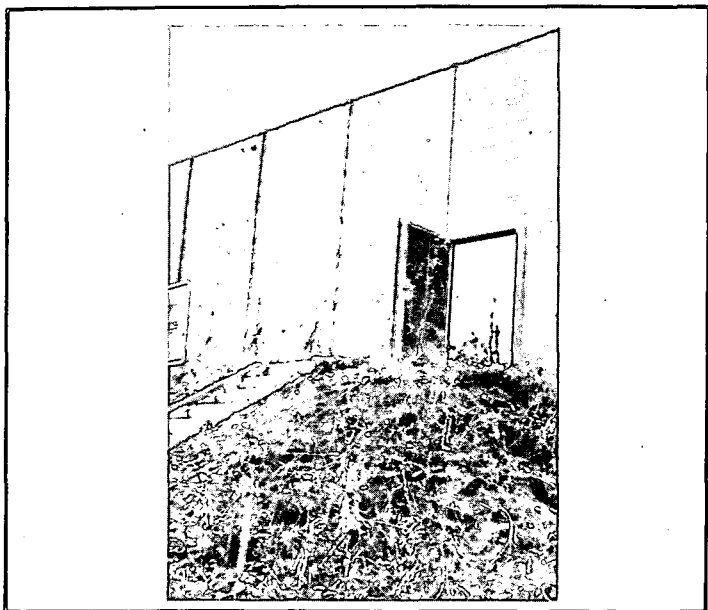
Dans le cas où cette disposition n'est pas réalisable (absence de bande dérasée de droite, profils à

caractéristiques réduites, etc...), il y a lieu de tenir compte, de cet effet autant que faire se peut, en adoptant un recul suffisant mais en veillant à ce que ce recul n'altère pas l'efficacité acoustique du dispositif.

5.3.2

Communication de part et d'autre

Afin de pouvoir évacuer rapidement la route, en cas d'accident, (évacuations des blessés...) il est recommandé de prévoir des portes de secours pouvant s'ouvrir à tout moment des deux côtés, mais qui ne basculent qu'en partant de la zone de circulation et qui se referment automatiquement.



Porte de secours et accès côté riverains dans un écran (ALLEMAGNE).

On pourra également prévoir une interruption de l'écran. Mais dans ce cas, si cette interruption n'était pas assortie de la mise en place d'une porte il est nécessaire de prévoir un recouvrement comme indiqué en § 4.2.4 ci-dessus.

La porte ou le recouvrement sont nécessaires pour ne pas interrompre la continuité de la protection acoustique et pour ne pas en affaiblir sensiblement l'efficacité.

Cette disposition devrait être appliquée aux sections d'écrans d'une longueur supérieure à 500 m d'un seul tenant.

L'interdistance entre les portes ou interruptions, ne devrait pas être supérieure à 500 m ; la première porte étant placée à une distance inférieure ou égale à 250 m de l'extrémité de l'écran, de façon à ce qu'un piéton n'ait pas plus de 250 m à parcourir avant de pouvoir accéder à la zone située derrière l'écran.

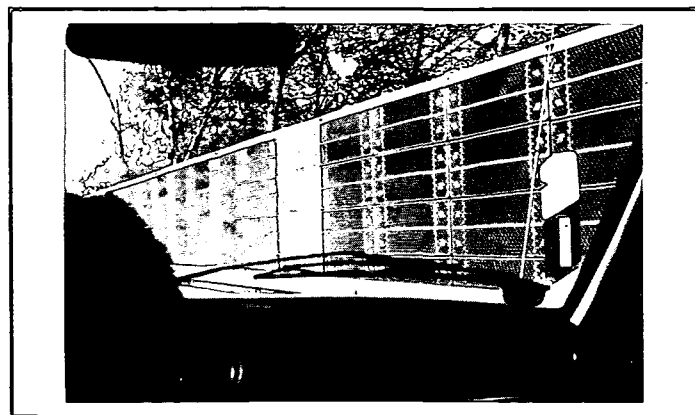
Les portes ou interruptions devraient être dimensionnées de façon à permettre le passage, d'une personne, et l'acheminement d'un blessé.

Il devra être possible d'y accéder sans difficulté et à tout moment. Dans le cas de portes, leur fonctionnement sera maintenu en bon état en permanence.

Elles devront être signalées à l'attention des piétons, ou automobilistes à l'arrêt.

- soit en les peignant d'une couleur très contrastée par rapport à la couleur de l'écran,
- soit en les indiquant par des panneaux appropriés.

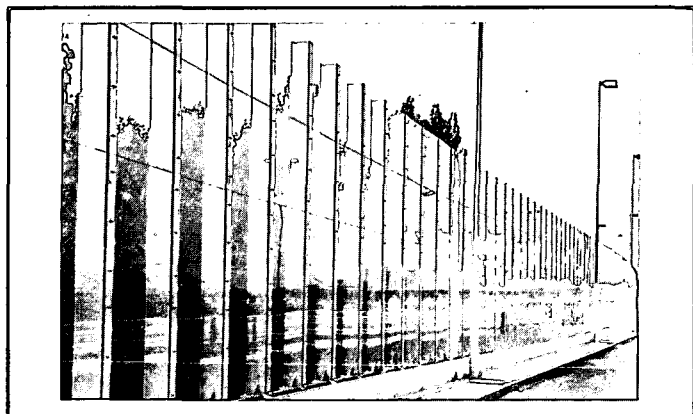
Ici, la porte de communication peinte en couleur vive est parfaitement visible (ALLEMAGNE).



Recommandations relatives au risque d'éblouissement 5.3.3

D'une façon générale, il faut s'assurer qu'un écran n'est pas éblouissant que ce soit à la lumière naturelle ou bien sous l'effet des projecteurs des véhicules ou des dispositifs d'éclairage à proximité des voies de circulation.

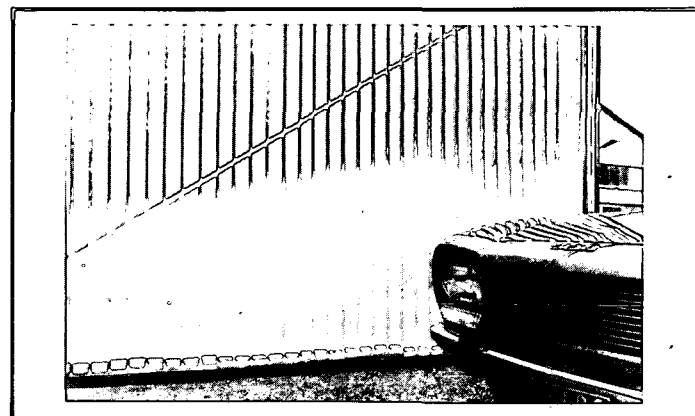
On peut éviter tout risque d'éblouissement en n'utilisant que des matériaux de surface non diffusants et qui ne provoquent pas de réflexion spéculaire de la lumière.



Si des précautions ne sont pas prises, le verre peut réfléchir la lumière (soleil rasant, phares). Quelques précautions très simples lors de la conception de l'écran rendent ce risque négligeable.

On peut également utiliser des matériaux réfléchissant la lumière (ex : le verre), mais il faut alors prendre toutes dispositions d'aménagement, lors de la conception de l'écran, pour que ces réflexions ne puissent être gênantes pour les automobilistes.

Des solutions existent : inclinaison des écrans, fixation des plaques à l'arrière des profilés supports, etc., qui permettent d'ores et déjà d'utiliser le verre sans danger. Le Maître d'Œuvre pourra agréer le dispositif avant sa mise en place, au vu des dispositions prises par le fabricant.



Utilisation d'un matériau translucide, non transparent.

Risque d'incendie

5.3.4

Dans le cas général, pour les écrans verticaux implantés en bordure de voie, il ne sera pas nécessaire de prévoir de précaution particulière en matière de comportement au feu.

Cependant, si la réalisation d'un écran est prévue à proximité immédiate de zones habitées ou circulées par des piétons et si cette implantation est telle qu'un risque réel de destruction de l'écran par le feu puisse entraîner des conséquences graves pour les riverains, les recommandations prévues pour les couvertures pourront alors être étendues aux écrans verticaux, et l'on utilisera des matériaux classés

M0 ou M1 (matériaux incombustibles et matériaux non inflammables), conformément au classement de l'arrêté du 4 juin 1973. (Classification des matériaux et éléments de construction par catégories, selon leur comportement au feu et définition des méthodes d'essai — arrêté public au Journal Officiel du 26 juillet 1973).

De plus, l'écran sera examiné à l'égard d'un risque, toujours probable, de destruction par vandalisme. Si ce risque était considéré comme réel par le Maître d'Œuvre, il pourra imposer l'emploi de matériau M0 ou M1.

Recommandations relatives à l'entretien des murs verticaux

5.4

Les présentes recommandations relatives à l'entretien sont forcément succinctes. Le peu d'expérience acquise en la matière, (le nombre d'écrans encore implantés à ce jour est encore faible) et la durée relativement courte d'exposition en site réel après leur construction, expliquent l'absence de recommandations précises.

Les services opérationnels pourront les compléter par leur expérience propre et la connaissance des sites où la construction d'écrans serait envisagée. Nous attirons simplement dans ce paragraphe, l'attention des Maîtres d'Œuvres sur certains aspects particuliers des écrans acoustiques.

5.4.1 Concernant le matériau lui-même

■ Durabilité

Le matériau doit être durable tant à l'égard de ses qualités mécaniques qu'acoustiques.

Dans le cas d'utilisation de matériaux absorbants, la durabilité exprimera essentiellement le fait que, soumis aux conditions réelles d'utilisation, ils ne « s'encrassent pas » sous l'effet des projections de poussières au passage des véhicules.

En effet, un matériau absorbant dont les pores sont bouchés, par des particules de terre par exemple, perd une grande partie de son efficacité.

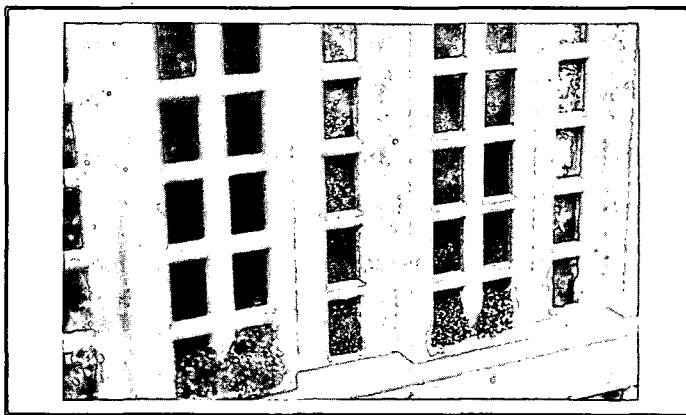
Le matériau utilisé devra pouvoir être nettoyé, ou remplacé facilement en cas de salissure importante.

S'il ne peut être nettoyé, ou remplacé, on veillera à ne l'utiliser qu'en le plaçant en des points situés hors de toute possibilité de détérioration.

De plus, la preuve de la bonne tenue mécanique du matériau devra être faite par le fabricant. Il ne doit présenter ni fissures, ni éclatements superficiels lors de son utilisation réelle. Une observation de longue durée en site exposé aux intempéries pourra se révéler nécessaire pour certains matériaux.

S'il s'agit d'un matériau fibreux, il ne doit pas se désagréger sous l'effet des vibrations. Le fabricant d'un dispositif constituant un écran, qui utiliserait un tel matériau pourra, sur demande du Maître d'Œuvre, avoir à présenter les dispositions qu'il aura prises à cet égard, soit en choisissant des matériaux qui ne se désagrègent pas, soit en soutenant le matériau dans des conditions qui rendent improbable toute désagréation.

Le Maître d'Œuvre pourra faire tester le matériau par des laboratoires spécialisés et agréer ce matériau avant utilisation.



Ici après quelques années d'utilisation des mousses se sont développées sur le matériau fibreux à l'intérieur de l'écran. Ce matériau s'est lui-même décomposé, probablement par l'effet des ultra-violets.

■ Humidité - intempéries

S'ils sont exposés aux intempéries certains matériaux absorbants doivent être rendus imperméables à l'eau (siliconage...).

On pourra les employer sans traitement particulier si le dispositif dans lequel ils s'insèrent, évite toute exposition aux intempéries.

■ Résistance au choc

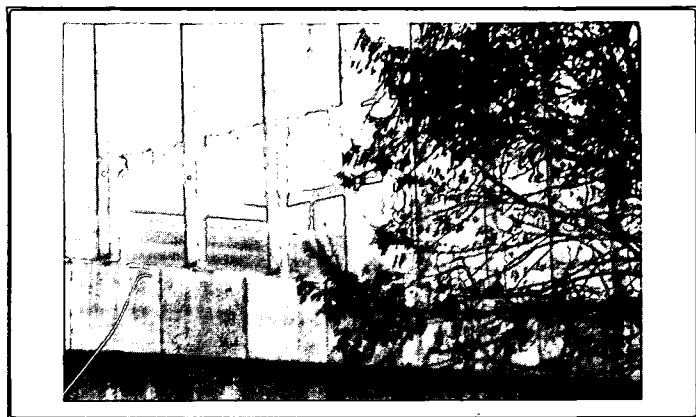
Une paroi absorbante est souvent constituée d'éléments poreux peu résistants au choc. Les dispositifs utilisés comme écrans devront permettre de remplacer aisément, et à faible coût, les éléments détruits.

Concernant l'ensemble du dispositif constituant l'écran

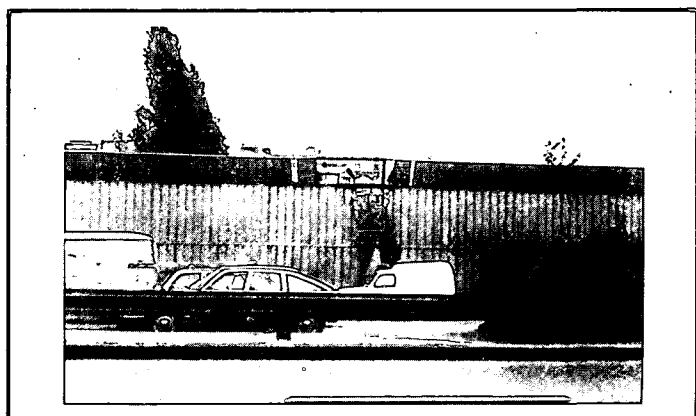
5.4.2

L'écran anti-bruit ne devrait pas faire l'objet d'un entretien. Les éléments des parois doivent avoir un degré d'auto-nettoyage élevé.

Les réparations éventuellement nécessaires — par exemple à la suite d'accidents — doivent pouvoir s'effectuer aisément.



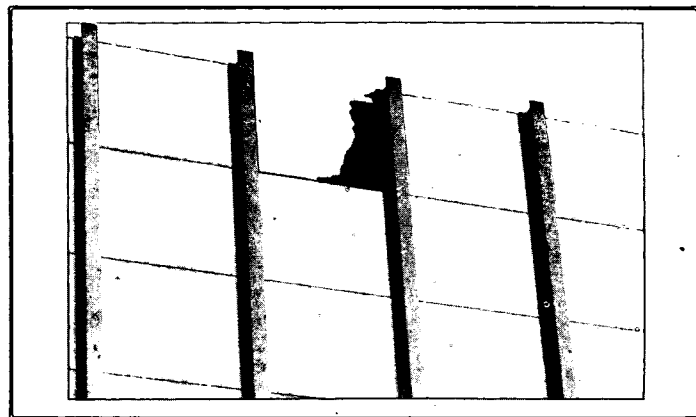
L'écran en verre possède un degré d'auto-nettoyage élevé. Sale, il perdrait beaucoup d'intérêt.



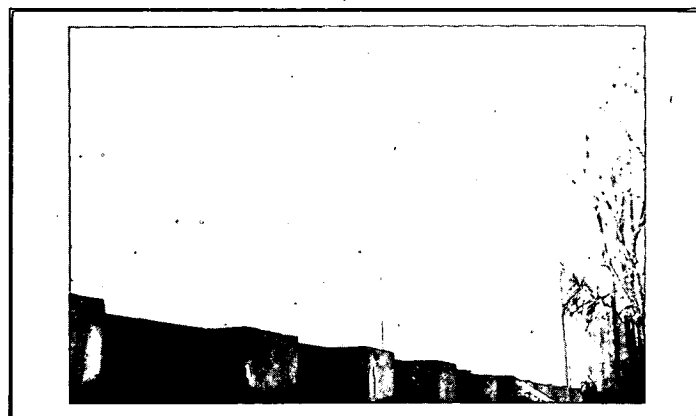
Ecran endommagé à la suite d'un choc de véhicule. La réparation ne doit mettre en cause que quelques éléments afin d'être aussi peu coûteuse que possible.

La conception de l'écran doit être telle que les dommages causés par le vandalisme soient aussi minimes que possible.

Si des éléments métalliques sont utilisés, ils doivent être protégés contre la corrosion par galvanisation ou revêtement de peintures adéquates.



Les réparations doivent être aisées.



Les tôles situées à l'arrière de l'écran de CAEN ont été laquées pour résister à la corrosion.

Réflexions sur l'esthétique des écrans

5.5

L'aspect esthétique de la protection revêt une importance considérable. Une protection mal adaptée au site ou mal intégrée dans le paysage urbain peut constituer une aussi mauvaise solution qu'une protection qui serait acoustiquement inefficace.

L'acousticien, lorsqu'il dimensionne une protection, en définit les caractéristiques minimales. Il détermine essentiellement la position de la ligne d'ombre et des arêtes de diffraction.

Le Maître d'Œuvre, sur cette base, doit s'efforcer de trouver la solution la plus adéquate au regard du site dans lequel elle va s'insérer.

Il examine la protection sur le plan esthétique tant au point de vue du riverain que de celui de l'automobiliste.

A ce jour, l'expérience n'est pas suffisante pour donner des indications précises. De plus, l'intégration des protections au site n'est pas un domaine

dans lequel l'édiction de règles ou prescription plus ou moins stricte soit souhaitable. L'imagination doit avoir libre cours, en sachant qu'elle peut jouer à la fois sur :

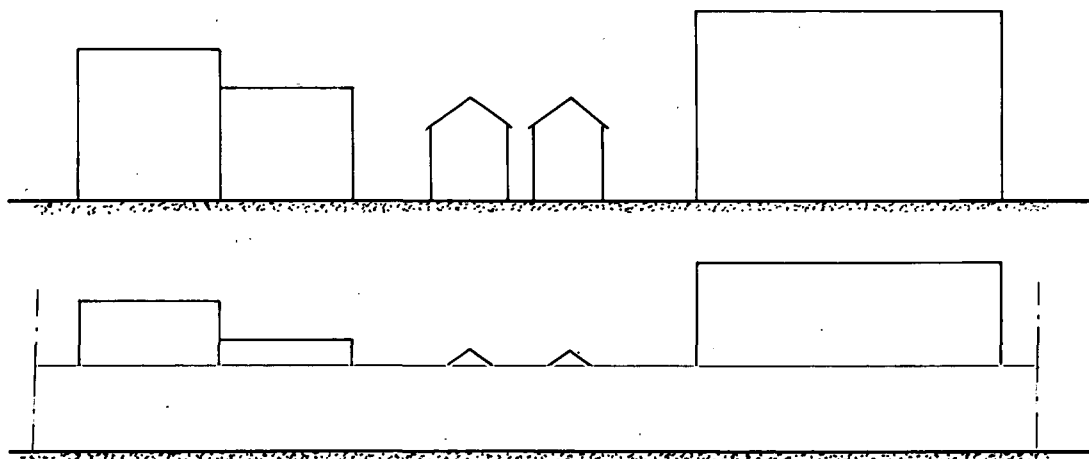
- le choix des matériaux,
- les dimensions et la forme des parois constituant l'écran,
- le revêtement de ces parois (peinture, pâte de verre...).

Quelques indications basées sur les réactions les plus courantes des personnes ayant eu à juger quelques réalisations actuelles sont fournies ici, en précisant qu'elles ont pour objet d'attirer l'attention du Maître d'Œuvre sur quelques thèmes de réflexion plutôt que de donner des recommandations directement utilisables en la matière.

5.5.1 Traitement de la hauteur de l'écran

Sur le plan visuel, les protections cassent souvent le rythme du bâti urbain en introduisant un élément horizontal très rigide dans le paysage. Constituant des parois verticales de grande longueur, ces protections introduisent un élément de grande monotonie dans le paysage urbain.

La hauteur de l'écran, calculée par l'acousticien pour des raisons d'efficacité, constitue une hauteur minimale. Elle peut être modulée pour des raisons esthétiques.



L'écran introduit un élément horizontal très rigide dans le paysage urbain.

Pour recréer un rythme et réduire l'effet de monotonie due à l'écran,

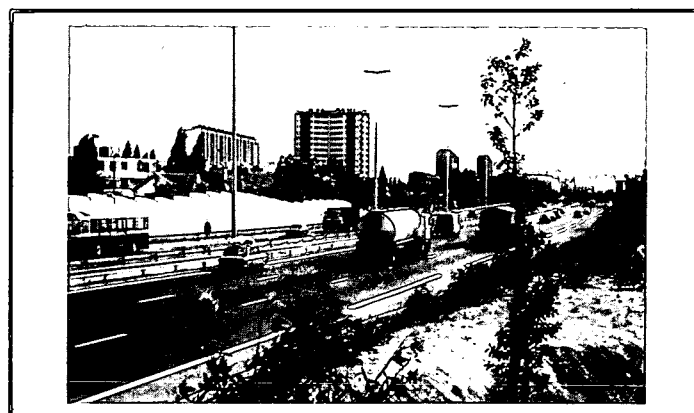
on pourra par exemple :

- **créer des décrochements :**

et ce faisant, retrouver le rythme des constructions riveraines de la voie ou bien le recréer si ce paysage était trop défavorable.



- **créer une ondulation :**



Les « corolles » de l'écran implanté le long de l'autoroute B3 en région parisienne créent l'impression d'ondes visuelles. ►

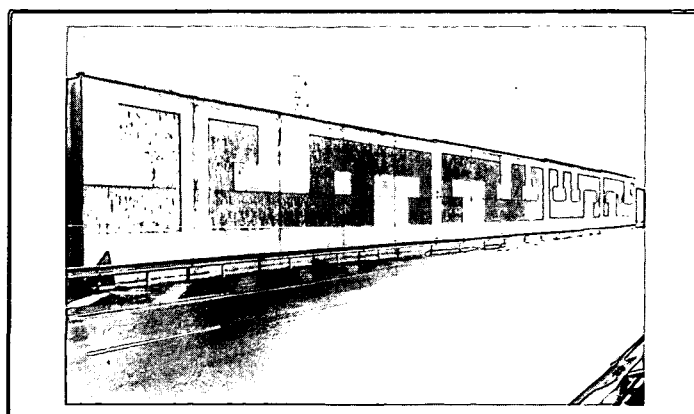
Traitement de la surface

5.5.2

- **Utilisation de peintures ou de motifs en relief**

A l'aide de peintures ou de motifs en relief, il est possible de créer une animation soit par le choix des rythmes de couleurs, soit par le dessin de lignes ondulées s'opposant au caractère horizontal de l'écran.

Des exemples récents le long de l'autoroute A86, dans la traversée de Colombes, Asnières ou Gennevilliers, ou le long de l'autoroute B3 apportent des exemples intéressants en la matière (illustrations, p. 71 et 72).



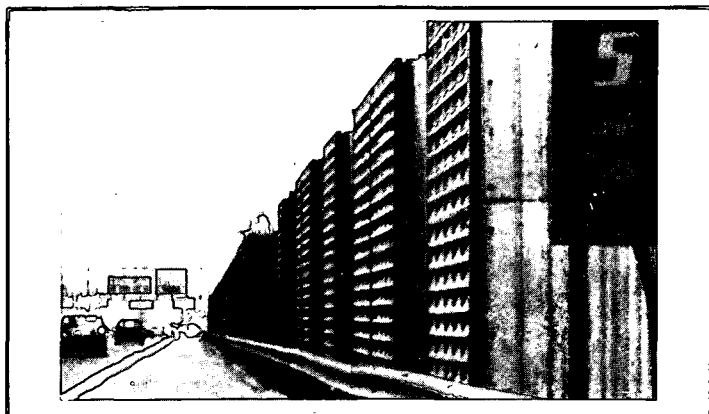
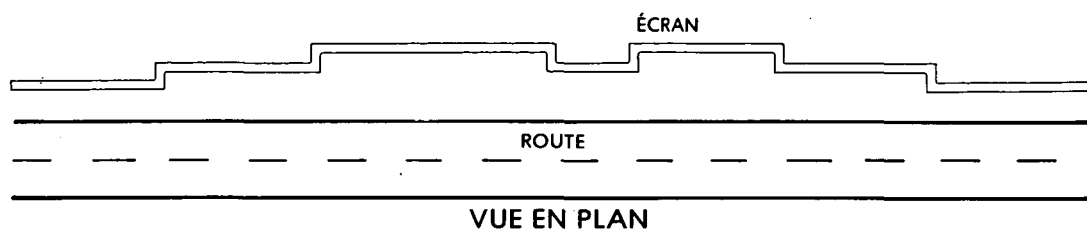
Motifs en relief sur un écran en béton (autoroute A43 - LYON BRON).

● décrochements

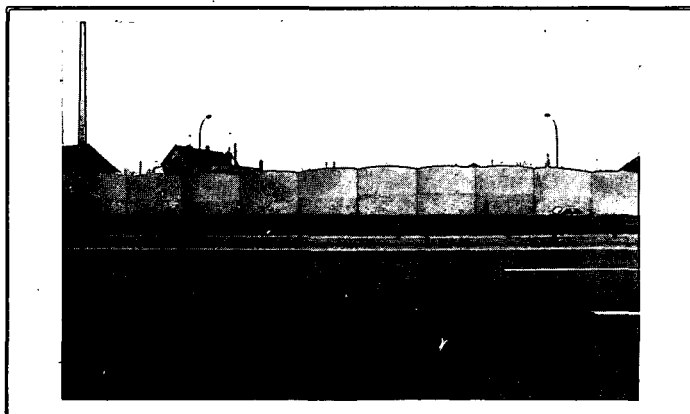
En réalisant des décrochements, on peut, comme à l'Haÿ-les-Roses (prolongation de l'écran pour protéger le site Ouest du bruit des autoroutes A6 et B6) obtenir un aspect qui ne soit pas monotone.

Ces décrochements ont cependant l'inconvénient d'augmenter l'emprise au sol du dispositif.

Il est recommandé pour traiter les aspects abordés dans le présent paragraphe, d'établir, au stade du projet, des maquettes ou dessins en perspective des protections envisagées.



Les décrochements sur l'écran expérimental de L'HAÿ-LES-ROSES diminuent sa monotonie.



Les corolles de l'écran de l'autoroute B3 crée un relief sans augmenter l'emprise au sol.

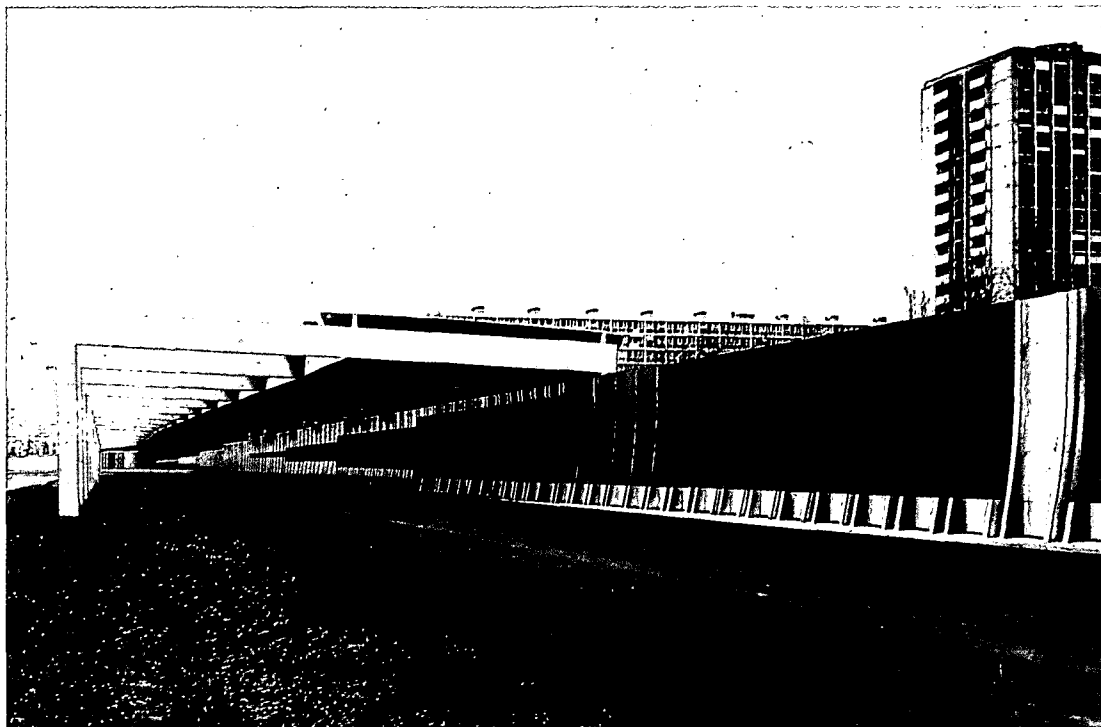


Différentes colorations du matériau lui-même (mousse d'argile) produisent un effet varié, sur l'écran implanté le long de l'autoroute B3.

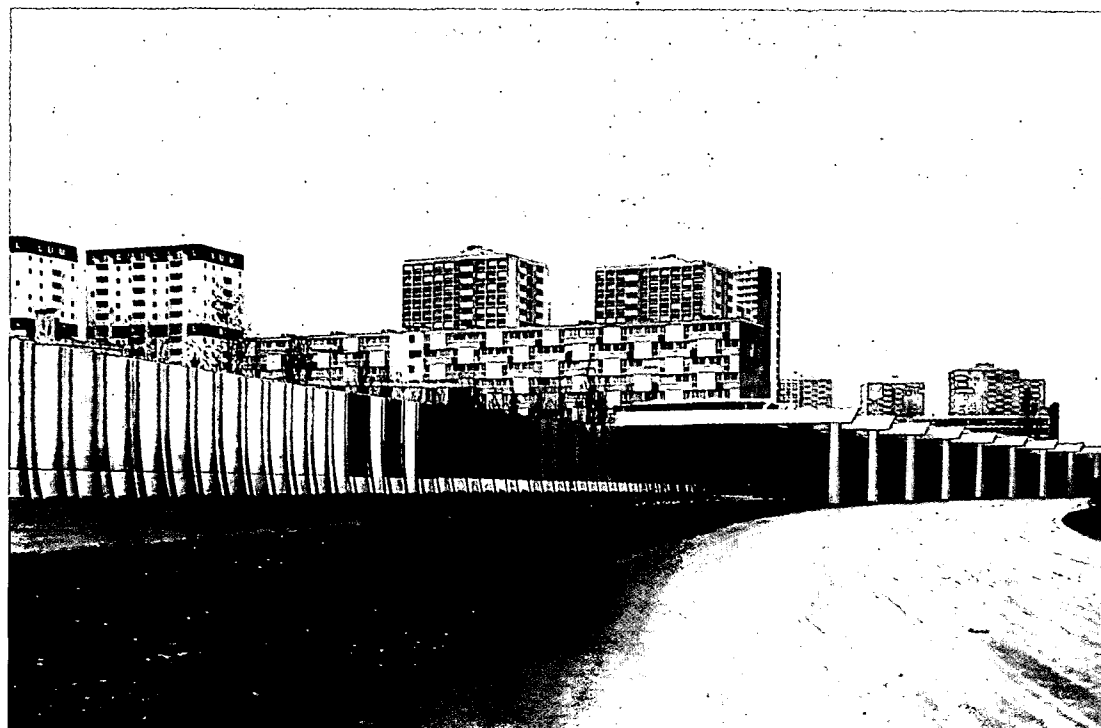


Essai de coloration de l'écran implanté le long de l'autoroute A86 à Colombes, Asnières.

Autres recommandations techniques



On distingue les motifs...



...et les rythmes de couleurs.

Utilisation des différents types de matériaux

5.5.3

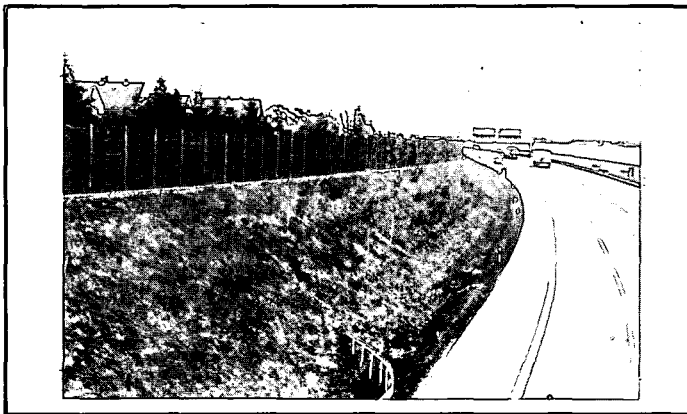
Actuellement, la gamme des écrans proposés sur le marché, même si elle n'est pas encore aussi développée que souhaitable, offre une certaine richesse et une grande variété quand aux matériaux utilisés. On peut citer, sans que cette liste soit exhaustive :

- bois
- verre
- béton uni ou agrémenté de motifs en reliefs
- matières plastiques colorées, transparents, etc...
- métal enduit ou non de peinture

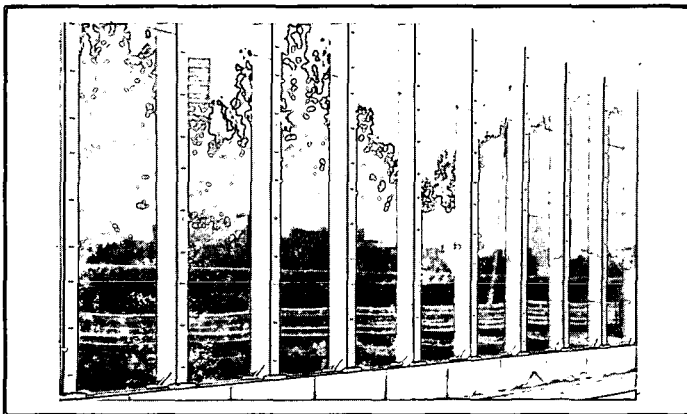
- mousse d'argile
- butte de terre

En variant les différents matériaux, les dispositifs, on peut créer un écran de grande longueur qui soit agréable et varié.

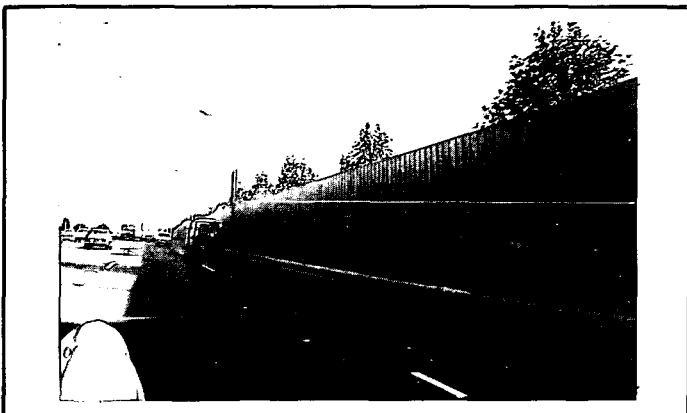
La récente expérience des écrans mis en œuvre le long de l'autoroute B3 par la Direction Départementale de la Seine Saint-Denis, constitue l'une des premières illustrations de cette idée : un écran de grande longueur constitué de sections de matériaux différents ne constitue pas un élément rigide et monotone mais, au contraire, permet d'animer et d'enrichir les abords d'une autoroute.



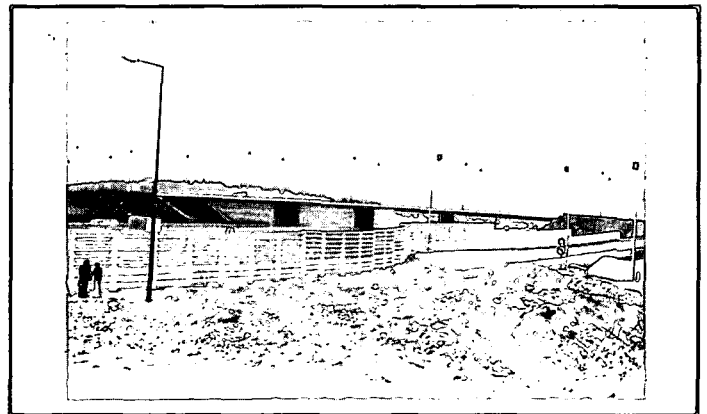
Ecran bois (ALLEMAGNE).



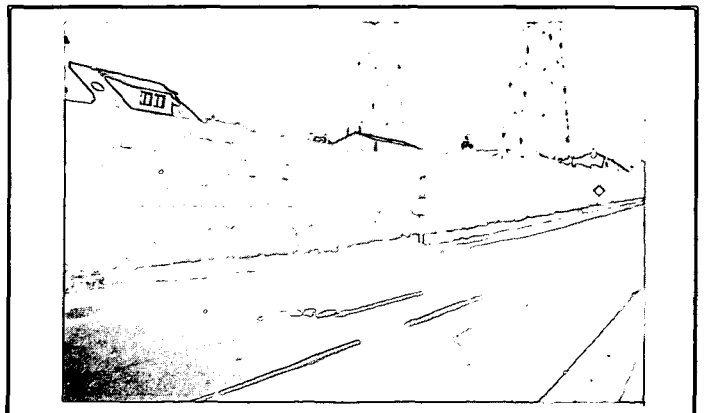
Ecran en verre réalisé à proximité de la Défense (autoroute G 14).



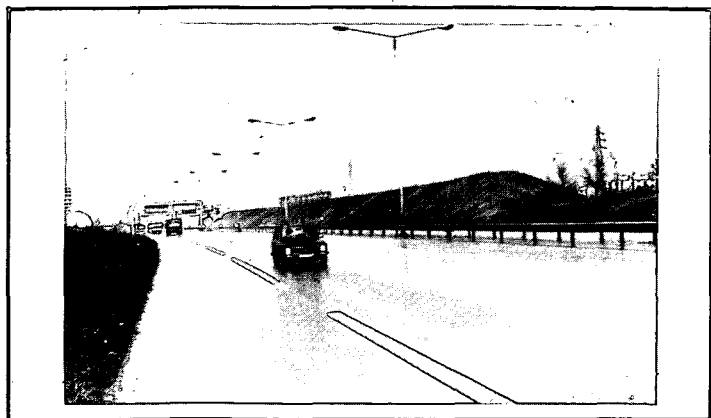
Ecran en plastique le long du périphérique Nord de PARIS.



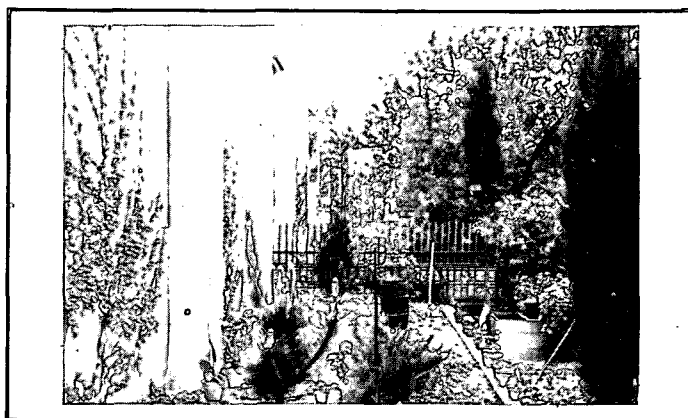
Ecran métallique (autoroute A 4).



Ecran revêtu de mousse d'argile à Champlan.



Butte de terre le long de l'autoroute A 43 à LYON-BRON.



Ecran en béton implanté le long du Boulevard Périphérique de LYON. L'arrière est traitée en jardins à usage privé.

5.5.4 Ecran intégré ou œuvre architecturale

En fait deux options sont possibles :

- Soit considérer que l'écran constitue une œuvre en soi-même, notamment s'il a des dimensions importantes ou bien s'il est implanté dans un paysage ingrat. On peut alors le traiter pour lui-même et chercher à bien faire apparaître le parti pris pour ce traitement.

- Soit considérer qu'il est implanté dans un paysage urbain existant qu'il faut respecter. On s'efforcera alors de l'intégrer :
- en utilisant des matériaux déjà utilisés dans le site,
- en retrouvant ou respectant le rythme du paysage et son caractère visuel,
- en adoptant des formes de nature comparables, à celles qui sont caractéristiques du site.

5.5.5 L'écran est vécu, côté riverain

Enfin, il convient de ne jamais oublier que le côté bâti de l'écran (par opposition au côté route) est habité, et que les riverains vivent à longueur d'année à côté du mur. Son aspect, pour eux, revêt une importance considérable.

■ Traitement de l'écran

Il sera possible, dans certains cas, de respecter une certaine forme d'appropriation visuelle de l'écran par les riverains en adoptant des matériaux, des colorations, des formes qui pourront être différents d'un bâtiment à l'autre, d'une parcelle à l'autre, d'un ensemble riverain à l'autre.

Ainsi, au droit de chaque cité, de chaque ensemble bâti, l'écran pourra être traité en lui donnant un caractère propre qui le différencie des sections d'écran situées au droit des cités voisines. Ceci sera rendu possible par la réalisation de dessins peints ou imprimés en relief dans le mur, l'utilisation de couleurs, l'utilisation de plantations de différentes espèces, etc...

■ Utilisation de l'espace qu'il crée

Par sa présence, l'écran crée un espace nouveau qui peut être habité et utilisé comme espace social pour la vie du quartier, de la cité.

A ce titre, l'arrière de l'écran peut être aménagé dès sa construction, et cet aménagement aura d'autant plus de chance d'être réussi (et moins onéreux) qu'il aura été prévu tôt lors de la conception de l'écran.

- On pourra par exemple prévoir des plantations. La réalisation de l'écran implanté le long de l'autoroute A86 à Colombes-Asnières par exemple, a donné lieu à un important programme de plantations, côté riverains. Ces plantations donnent aux espaces situés immédiatement derrière l'écran un aspect de jardin, de zone de jeux. L'écran clôt cet espace et renforce son caractère de lieu approprié par le quartier proche, utilisé pour la vie du quartier. Un tel aménagement peut alors être complété par la réalisation d'aires de jeux, par la mise en place de bancs, de hangars à bicyclettes.



La réalisation de l'écran le long de l'autoroute A86 COLOMBES-ASNIÈRES, a été accompagnée d'un important programme de plantations. Des aires piétonnes y ont été aménagées.

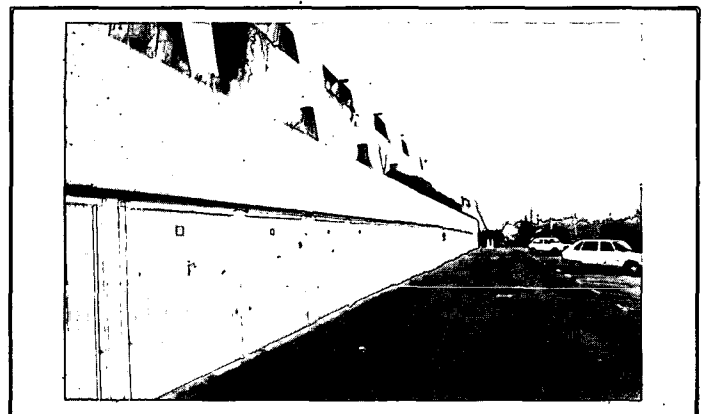
- La route source de bruit peut elle-même constituer un spectacle, qu'un écran opaque supprimerait. Il peut également ôter la possibilité de voir, au-delà de la route : parc, vue pittoresque, zones urbaines de qualités...

On peut tenter de restituer la vision de ces zones pour le riverain protégé par l'écran, en intégrant dans l'écran des parties transparentes : tronçons d'écrans en verre, lucarnes de formes diverses conçues comme des pergolas, etc...

- L'écran par lui-même peut devenir un lieu habité, surtout s'il a des dimensions très importantes. La barrière paysagère Est de l'Haÿ-les-Roses par exemple a été conçue de telle façon qu'à sa base, des parkings ont été intégrés à la structure même de l'ouvrage et mis à la disposition des riverains protégés par l'écran.



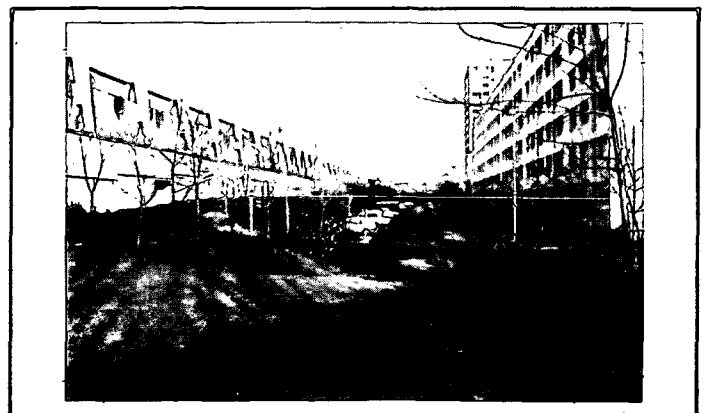
Chemin piéton et aménagements derrière l'écran implanté sur le périphérique Nord de PARIS.



Dans l'écran paysager de L'HAÏ-LES-ROSES des parkings ont été aménagés côté riverains...



Un écran en béton peut posséder des parties transparentes (exemple : le verre) qui permettent la vue aux riverains aussi bien qu'aux automobilistes.



...ainsi que des zones piétonnes.

5.5.6

Conclusion

Les précédentes indications relatives à l'aspect esthétique des écrans ne sauraient constituer des règles ni même des recommandations.

La seule recommandation possible en la matière est constituée par un objectif de qualité : il est nécessaire que l'écran soit pensé non seulement au regard de son efficacité acoustique, de son économie, mais également de son aspect esthétique.

Pour ce faire, il convient de savoir qu'un écran, qu'un mur n'est pas forcément laid. Bien traité, bien utilisé, il peut devenir un élément intégré au paysage. Il pourra même, parfois, constituer un élé-

ment qui enrichira la qualité visuelle du paysage urbain dans lequel il sera implanté. Un mur peut être vécu par les riverains, et son utilisation, si elle est bien pensée, peut favoriser les relations sociales à l'intérieur d'un quartier, d'une cité.

Ainsi, l'écran acoustique pourra ne pas constituer un élément surajouté au lieu urbain, verrue plantée dans la ville ou dans le quartier aboutissant à des réactions de rejet, mais au contraire, il pourra devenir un élément accepté du paysage, et de la vie sociale, au même titre qu'un bâtiment important, un ouvrage d'art, etc.

RECOMMANDATIONS
PARTICULIERES
RECOMMANDATIONS
TECHNIQUES
RELATIVES
AUX ÉCRANS
VERTICAUX
ET BUTTES DE TERRE
RELATIVES
AUX BUTTES DE TERRE

Une butte de terre peut constituer une protection contre le bruit aussi efficace qu'un mur vertical. C'est un écran acoustique particulier.

Elle présentera souvent des avantages importants :

- elle évite les réflexions vers les habitations situées en face puisqu'elle est légèrement absorbante et que sa paroi est généralement inclinée,
- elle peut être engazonnée et plantée ce qui améliore souvent l'aspect esthétique des abords de la voie. Cette amélioration est extrêmement importante pour la satisfaction des riverains,
- elle peut être utilisée avec des excédents de terrassement si elle est construite en même temps que la chaussée. Dans ce cas, elle constitue une solution très peu coûteuse (on peut même, dans certains cas, parler de coût négatif par rapport au coût de construction de la voie quand la réalisation d'une butte évite le transport et la mise en décharge de terre excédentaire).

La butte, protection attrayante et efficace, ne saurait cependant constituer une panacée :

- elle est généralement économique mais peut, dans certains cas, être plus chère qu'un écran.
En effet, elle occupe une emprise au sol de grande dimension. Pour libérer cette emprise, le Maître d'Œuvre peut être conduit à des coûts importants. D'une façon générale, la butte de terre devient une protection onéreuse si elle nécessite une charge foncière spécifique.
Elle peut entraîner des dépenses non négligeables si sa réalisation conduit à déplacer certains réseaux (eau, gaz...).
- elle est généralement d'un aspect esthétique appréciée, si elle est plantée et engazonnée. Mais cet aspect ne sera pas toujours en cohérence avec le site environnement (zone urbaine dense) et il sera parfois préférable d'utiliser des écrans minéraux plutôt que plantés.

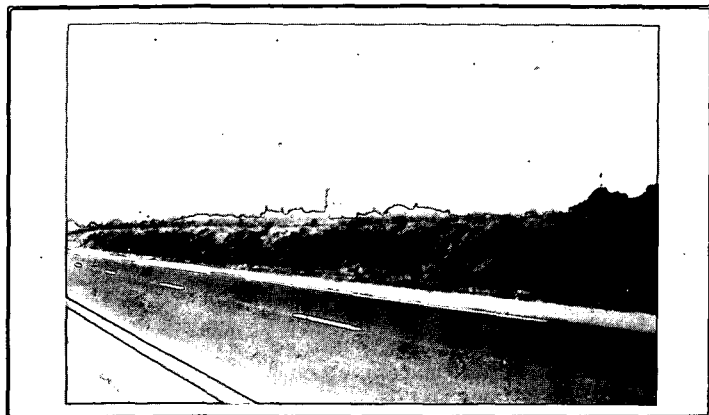
Les buttes de terre devront être utilisées sans excès. Elles ne constituent qu'une solution parmi d'autres et peut être la meilleure.

Au cours des dernières années, la réalisation de buttes de terre en tant qu'écran contre le bruit s'est sensiblement développée.

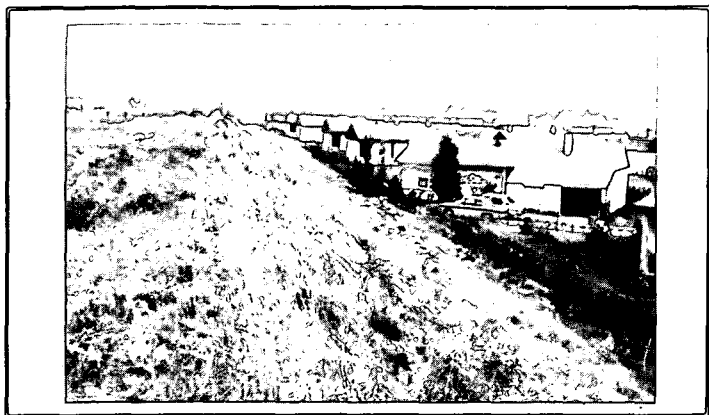
Les buttes de terre sont des ouvrages bien connus des services, et pour lesquels il ne semble pas utile de donner ici l'ensemble des indications et recommandations nécessaires à la préparation d'un appel d'offre.

Le présent paragraphe a un objet plus restreint : donner les principales recommandations qu'il convient de respecter pour que les buttes de terre soient réellement efficaces sur le plan acoustique.

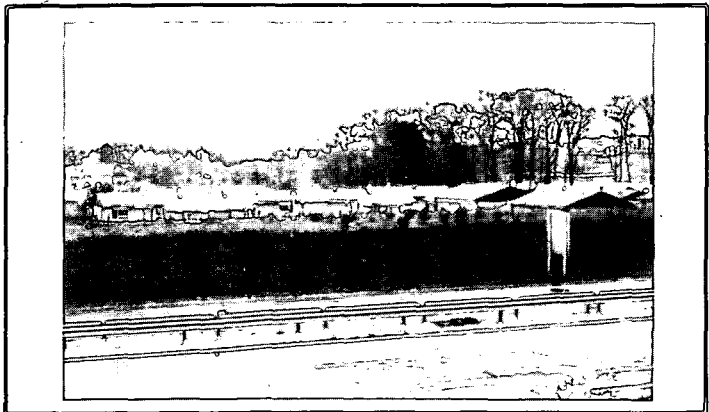
A ce titre, il est évident que bien des recommandations données précédemment pour les murs verticaux s'appliquent aux buttes de terre. Il paraît cependant utile de les compléter en insistant sur les caractères particuliers des buttes utilisées comme écran.



Butte de terre réalisée dans la ville nouvelle de Marne la Vallée,
◀ le long de la voie primaire nord.



◀ Dans ce site pavillonnaire, côté riverains...



... elle protège acoustiquement, avec une bonne efficacité,
◀ les habitations, ...



...et la protection acoustique (ici à l'arrière-plan) plantée et
engazonnée s'intègre harmonieusement au site constitué de
◀ jardins privés.

Dimensionnement en hauteur

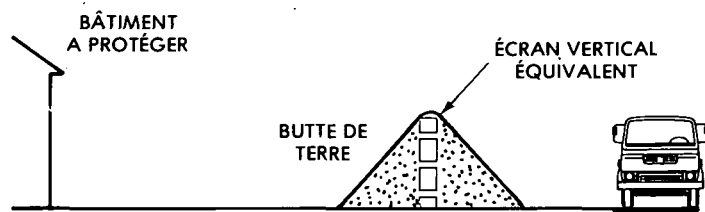
6.1

Ecran vertical équivalent

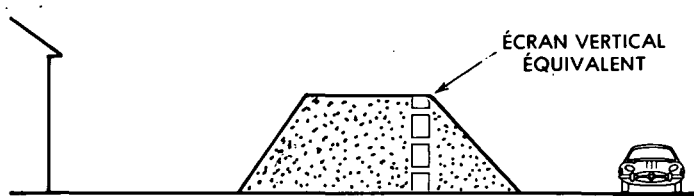
6.1.1

Les buttes de terre seront assimilées, pour leur dimensionnement en hauteur, à un écran vertical qui serait implanté au droit du sommet de la butte, si celle-ci a une section triangulaire. Si la butte possède un sommet aplati, elle sera assimilée pour les calculs d'efficacité soit à un mur vertical implanté au droit du sommet le plus proche de la voie, soit à deux écrans implantés au droit des deux sommets.

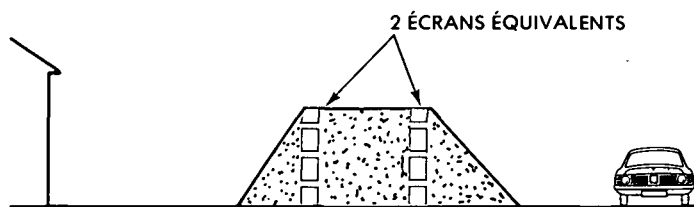
D'une façon générale, on pourra assimiler une butte à un mur vertical, en considérant que le mur équivalent est situé au droit de l'arête de diffraction prépondérante.



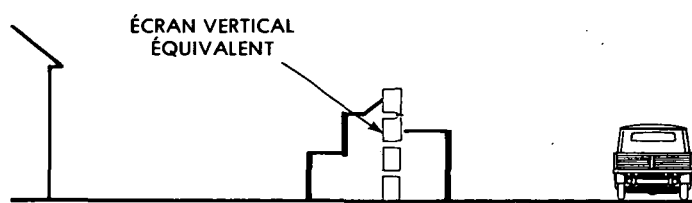
Position de l'écran vertical équivalent dans le cas d'une butte de terre de section triangulaire.



Si la butte de terre a une section trapézoïdale, elle peut être assimilée à un écran vertical situé au droit de l'arête de diffraction la plus proche.



Elle peut également être assimilée à deux écrans tels qu'indiqués sur le schéma ci-dessus.

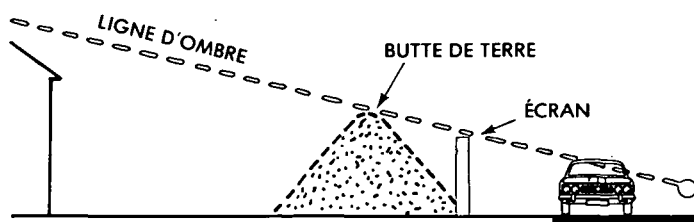


Pour une forme plus complexe, en première approximation, l'écran vertical équivalent sera situé au droit de l'arête de diffraction principale.

La notion d'écran équivalent permet d'appliquer pour le dimensionnement en hauteur de la butte de terre les mêmes recommandations que celles prévues pour les murs verticaux (cf. § 4.2 ci-dessus).

Il est à noter qu'une légère différence existe entre les écrans et les buttes de terre quand à leur dimensionnement en hauteur :

L'écran vertical peut généralement être implanté plus près de la source de bruit que le sommet de la butte de terre, ce qui conduit à donner aux buttes une hauteur légèrement supérieure à celle nécessaire pour un écran qui aurait été implanté sur le même site, pour une même efficacité.

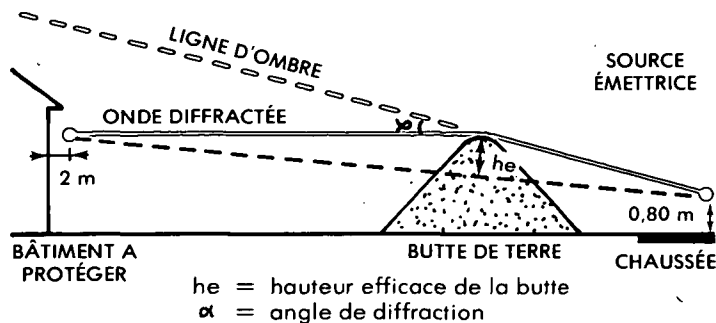


6.1.2

Efficacité

● Calcul

Le calcul d'efficacité d'une butte de terre peut être effectué d'une façon analogue à celle d'un mur vertical, par les méthodes développées dans le Guide du Bruit (édition 1972 ou fascicule « Méthodes de prévision » à paraître en 1978).



● Exemples d'efficacité

Les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées de Strasbourg et de Blois sous la conduite du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, ont fait des mesures d'efficacité de buttes de terre. Ils ont publié à l'issue de ces mesures, en 1977, un rapport complet sur leurs résultats dont les plus intéressants de cette étude sont indiqués dans les schémas suivants :

1^{er} cas - butte à section trapézoïdale

Le schéma ci-dessous indique la forme de la butte et ses dimensions.

La zone protégée est située à 200 m environ du bord de la chaussée. La chaussée était elle-même située à une profondeur de 3 m environ par rapport au terrain naturel.

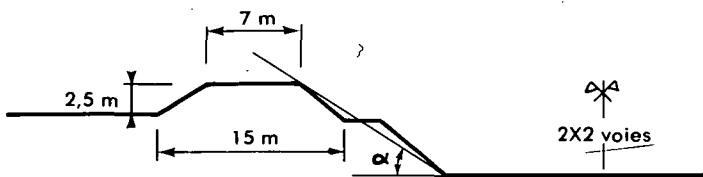
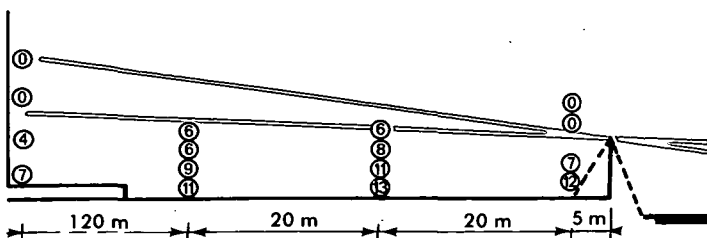
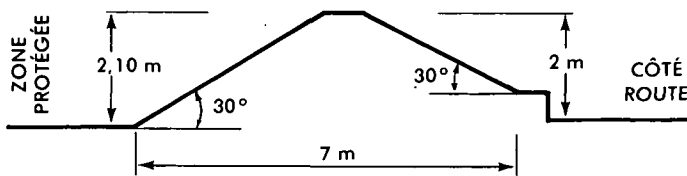


Schéma indiquant la forme de la butte et sa position.

Pour cette butte de terre, les efficacités mesurées sont reportées sur le schéma ci-dessous. Les chiffres représentent l'atténuation due au seul effet de la butte, non cumulés aux effets de distance. Ils représentent la différence entre la situation sans butte de terre et la situation avec butte de terre.



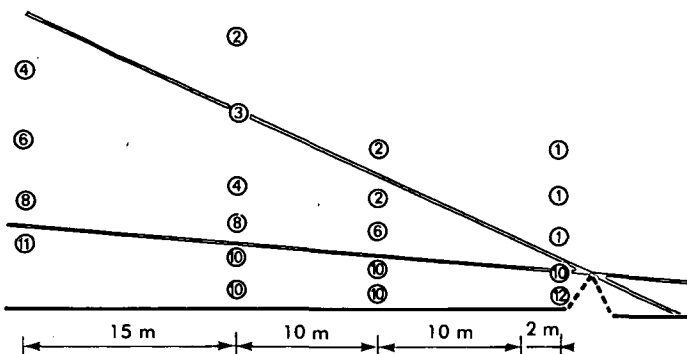
2^e cas : butte de section triangulaire



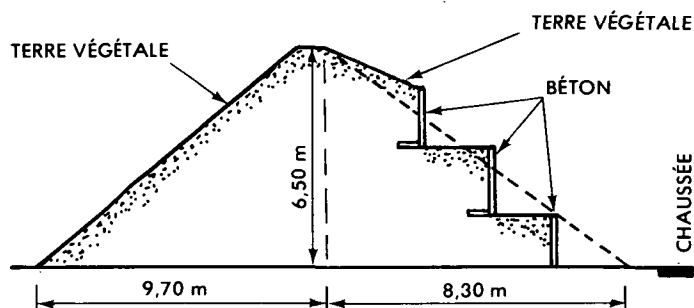
Forme de la butte et ses dimensions.

L'axe de la route est situé à environ 20 m du pied de la butte. La butte protège une zone pavillonnaire, les pavillons les plus proches étaient situés à 7 m du pied de la butte de terre.

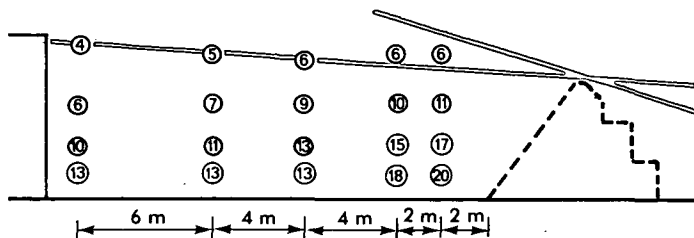
Pour cette butte, les efficacités suivantes ont été relevées :



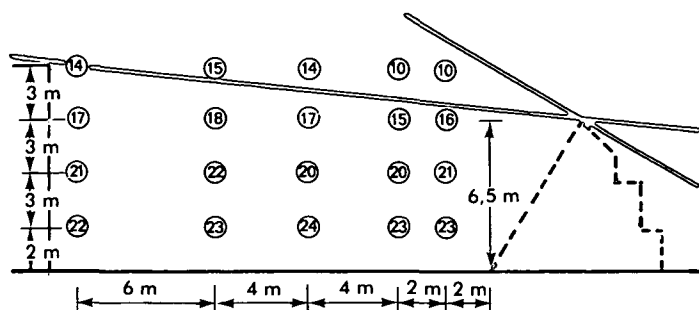
3^e cas : butte de terre de forme complexe



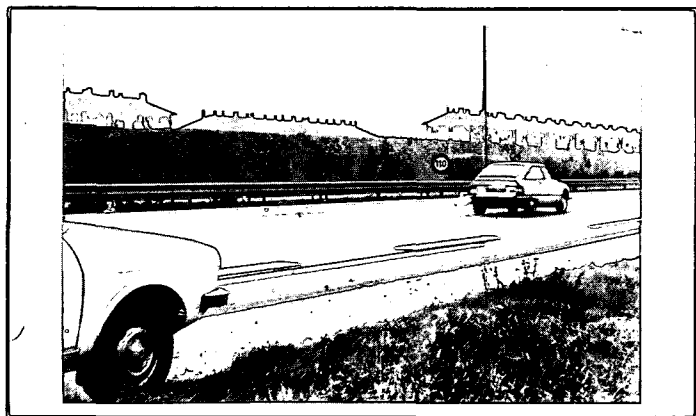
Pour cette butte on a pu relever les efficacités suivantes (effet propre de la butte) :



Si l'on ajoute les effets de distance, dans le troisième cas par exemple, nous obtenons les atténuations en dB (A) suivants :



Ces atténuations, effet de la butte et effet de distance cumulés, sont comptées à partir d'un point de référence situé à une distance de 40 m du bord de la voie, pratiquement au sommet de la butte, en zone de plein bruit.



Butte réalisée le long du Boulevard Périphérique Sud de Lille.

Matériaux utilisés

6.2

6.2.1 Buttes de terre proprement dites

Toutes les catégories de sols peuvent convenir à condition qu'ils ne contiennent pas d'éléments solubles ou susceptibles de polluer la nappe phréatique.

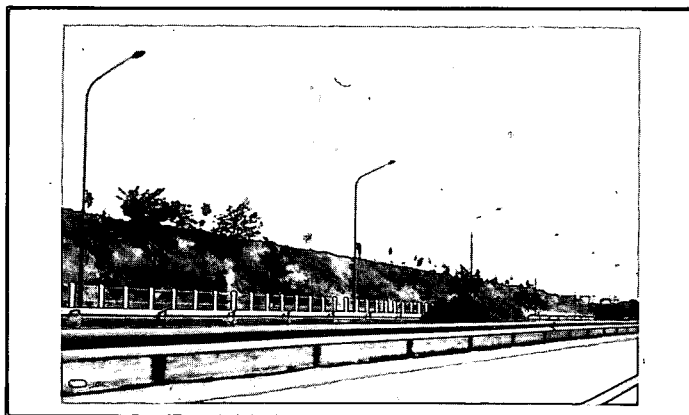
Les pentes minimales pour assurer une bonne stabilité d'ensemble seront déterminées, en fonction du remblai utilisé, en accord avec le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de chaque région.

Si le phasage des travaux le permet, on pourra utiliser des terres provenant des déblais excédentaires, ce qui évite leur transport.

Dans le cas d'utilisation de terres de mauvaise qualité, et si des plantations sont prévues, il est bien évident qu'une couverture de terre végétale est nécessaire.



Butte en travaux le long de l'autoroute A86, dans la traversée de la commune de GENNEVILLIERS.



La butte a été recouverte de terre végétale, plantée et engazonnée.

6.2.2 Autres solutions

Des solutions de type mur en terre armée, ou buttes combinées avec des écrans sont bien sûr possibles. Elles permettent généralement de diminuer l'em-

prise, tout en conservant un des principaux avantages des buttes de terre : la possibilité de les planter.

Section des buttes de terre

6.3

Il ne semble ni possible, ni même opportun de donner des coupes en travers type de buttes utilisées comme écran contre le bruit.

Le dimensionnement d'une butte, quand sa hauteur minimale a été définie en fonction de l'efficacité recherchée, dépend essentiellement :

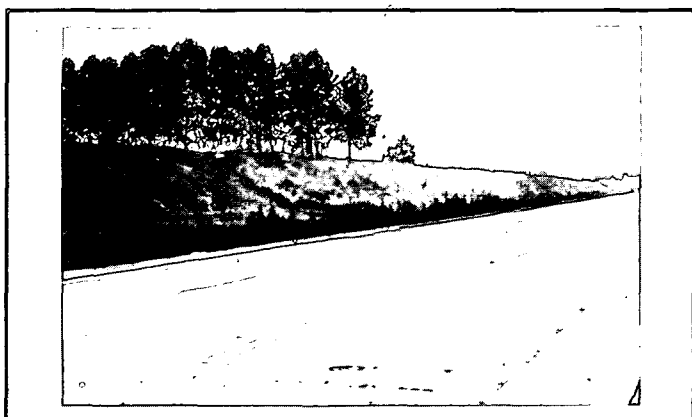
- de la qualité des terres utilisées, qui conditionne les pentes minimales,
- de l'emprise disponible pour son implantation,
- du coût de réalisation.

A titre indicatif, on peut cependant noter les recommandations suivantes :

● pentes :

Un des avantages d'une butte de terre réside dans le fait qu'elle présente des parois latérales inclinées, ce qui permet une légère absorption du son et surtout une réflexion vers des zones non sensibles.

Afin de bien éviter les réflexions dans la zone située à l'opposé d'un écran, on n'utilisera de préférence que des pentes inférieures à 1/1.



Exemple de butte à pente inclinée réalisée le long de l'autoroute A4.

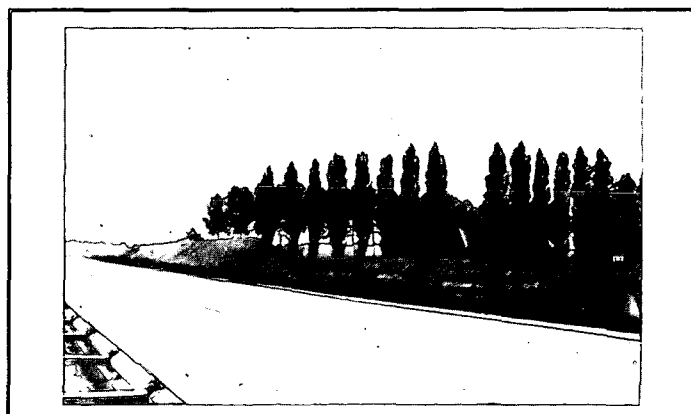
La réalisation de pentes très douces pourra conduire à une plus grande absorption du son avant diffraction sur le sommet de la butte. Cet effet devrait en augmenter légèrement l'efficacité.

Il est cependant nécessaire de noter que cette augmentation de l'efficacité sera souvent faible. C'est essentiellement la position du sommet de la butte qui conditionne l'efficacité, la pente intervenant de façon très marginale sur le résultat quantitatif final.

● modelés de la butte :

Le paysagiste pourra modeler la butte en créant des arrondis ou des angles vifs en fonction de critères esthétiques, sans modifier sensiblement l'efficacité de la butte, à condition :

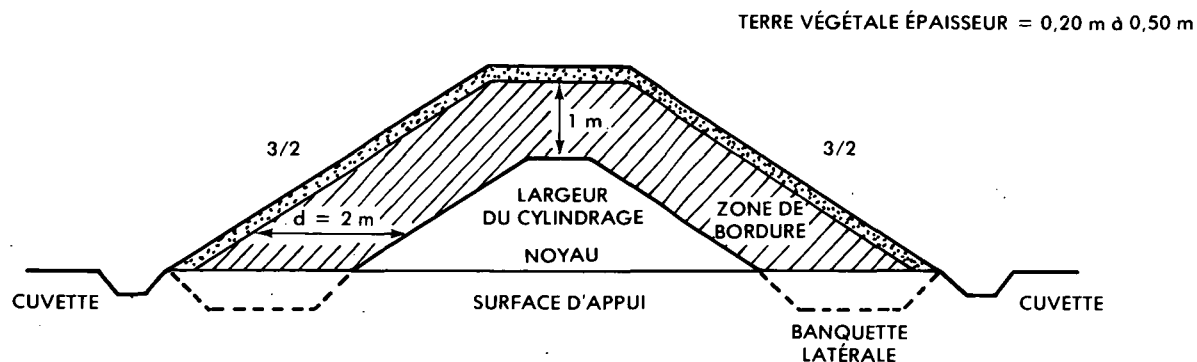
- d'éviter de diminuer la hauteur (déterminée à partir des calculs d'efficacité) en quelque point que ce soit,
- d'éviter si possible, toute interruption de la protection.



Variation de hauteur dans une butte réalisée le long de l'autoroute A4.

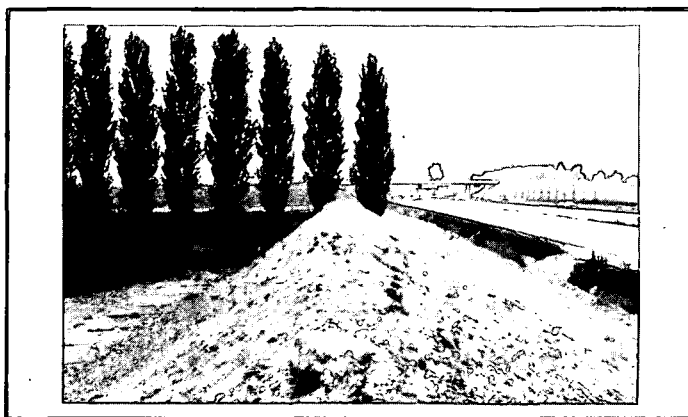
● coupe en travers :

Différentes coupes en travers de buttes de terre ont été présentées au § 6.1 précédent. Tout type de section convient pour une butte de terre. A titre indicatif, on pourra s'inspirer de ces coupes, ou bien du schéma suivant en l'adaptant au cas concret auquel on est confronté :



Pour une hauteur de 3 m, il faudra une emprise au sol, d'environ 12 m à 15 m, sauf dans le cas d'utilisation de terres de très bonne qualité.

Ces indications seront modulées en fonction de l'emprise disponible et de la qualité du remblai.



L'emprise nécessaire croît rapidement avec la hauteur.

Recommandations diverses

6.4

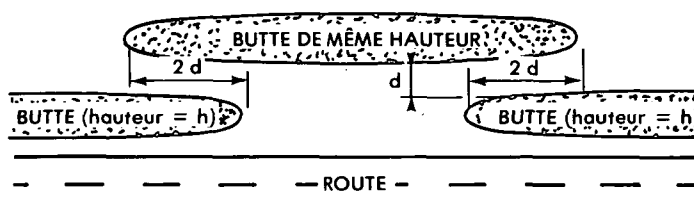
Il est rappelé que les présentes recommandations s'attachent aux aspects particuliers des buttes de terre quand elles sont utilisées comme écran acoustique. Pour les problèmes non abordés dans ce docu-

ment, les règles générales des ouvrages de terrassement s'appliquent comme pour tout autre ouvrage réalisé en terre.

Interruption - recouvrement

6.4.1

Si une interruption est nécessaire, des dispositions semblables à celles décrites pour les écrans (cf. § 4.2.4 ci-dessus) sont recommandées. On cherchera donc à se rapprocher du schéma suivant :



Mise en œuvre - compactage

6.4.2

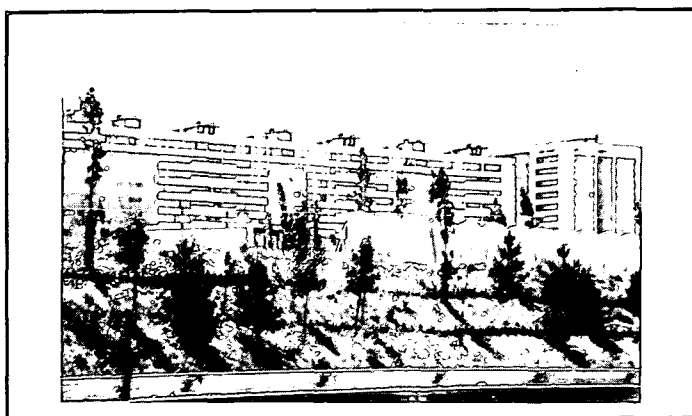
La réalisation des buttes de terre s'effectuera conformément aux prescriptions en vigueur pour les travaux de terrassement. Les pentes, le compactage nécessaire, pour toutes les couches de matériaux

qui constituent la butte seront déterminés, en fonction de la qualité du remblai, en liaison avec les Laboratoires des Ponts et Chaussées, de chaque région.

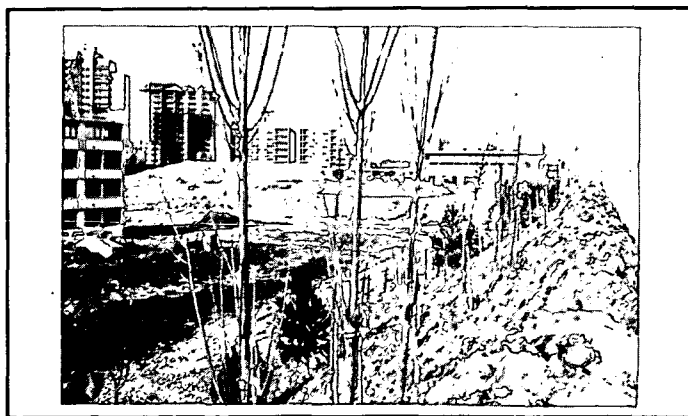
Aspect - Plantations

6.4.3

La butte sera généralement plantée et engazonnée pour améliorer l'aspect esthétique des abords de la route.



Plantations sur une butte réalisée le long de l'autoroute A86, côté route...



...et plantations sur la même butte, côté riverains.

Ces plantations entraînent un ensemble de contraintes qui devront être prises en compte par le Maître d'Œuvre, et en particulier :

- **L'entretien** des plantations devra être assuré. L'intérêt des buttes, sur le plan esthétique, n'a de valeur que si elles sont maintenues en bon état après réalisation. Les mauvaises herbes devront pouvoir être détruites et les plantations entretenues, sous peine de transformer la protection en terrain vague.
- **L'arrosage** des plantations devra être possible, surtout en période d'été. Toutes dispositions le concernant devront avoir été prises avant réalisation de la butte : détermination et amenée de prises d'eau, réservation de gaines ou tuyaux d'acheminement, têtes d'arrosage...
Un arrosage automatique, s'il est possible, pourra constituer souvent une solution intéressante puisqu'il ne nécessite qu'une intervention très réduite au moment de son fonctionnement.
- **Les plantations** et notamment les essences employées seront définies par des spécialistes pour :
 - qu'elles procurent un entretien minimum,
 - s'intègrent bien au site environnement,

- soient adaptées à leurs « conditions d'existence » : nature du remblai, possibilité d'arrosage, présence de la voie de circulation (et donc existence possible de rejets polluants), ensoleillement, etc.

- **Sécurité.** Lors de la conception du programme de plantations, le Maître d'Œuvre veillera à ne pas remettre en cause la sécurité des automobilistes. Il est rappelé qu'une butte, comme un écran, est implantée au plus près de la source de bruit, donc des véhicules.

Il convient, si des arbres sont prévus, et s'ils peuvent devenir de taille telle qu'ils puissent présenter une certaine agressivité en cas de choc d'un véhicule, que ces arbres soient suffisamment éloignés des voies circulées ou isolés par un dispositif de retenue classique.

Si les plantations ne risquent pas, à l'inverse, d'aggraver les conséquences d'une sortie de chaussée, et si ses pentes sont suffisamment douces, la butte par elle-même sera considérée comme obstacle non agressif à l'égard des véhicules-automobilistes.

6.4.4

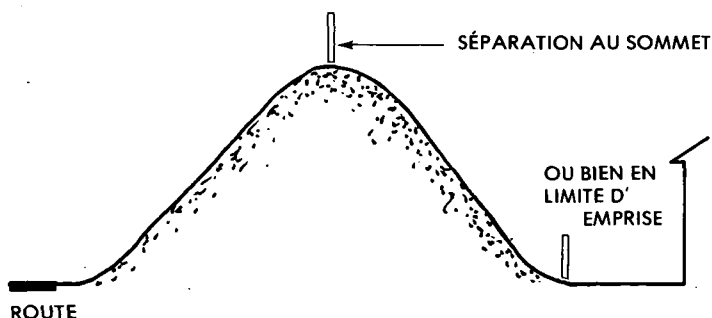
Limites du domaine public

Une butte constitue une séparation physique entre la voie de circulation et le domaine bâti. Mais cette séparation peut aisément être franchie.

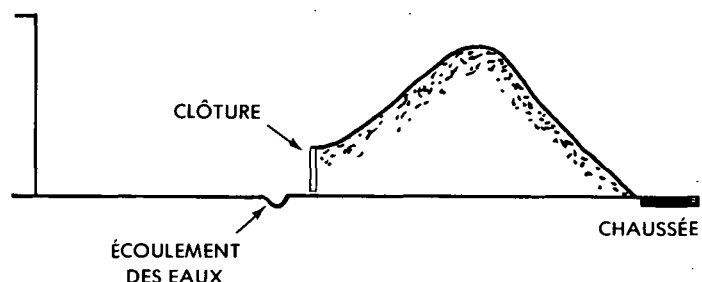
Si ses pentes sont douces, elle peut même être utilisée de façon dangereuse et devenir par exemple une zone de jeux pour les enfants, un lieu de promenade, ou offrir des possibilités de franchissement par des piétons.

Afin d'éviter tout risque d'accident grave (chute sur la chaussée d'enfants jouant sur la butte...), il est recommandé de prévoir la mise en place d'une séparation physique par grillage ou clôture.

Cette séparation pourra être implantée par exemple en limite d'emprise publique, au sommet de la butte, ou bien à tout autre endroit qui rende son franchissement difficile.



Le Maître d'Œuvre pourra juger de l'opportunité de laisser le talus côté riverain à la disposition des promeneurs ou même à l'appropriation éventuelle d'un riverain ou d'une collectivité.



Dans le cas d'une butte de terre, on peut utiliser la séparation physique comme mur de soutènement pour diminuer l'emprise de la butte par exemple.