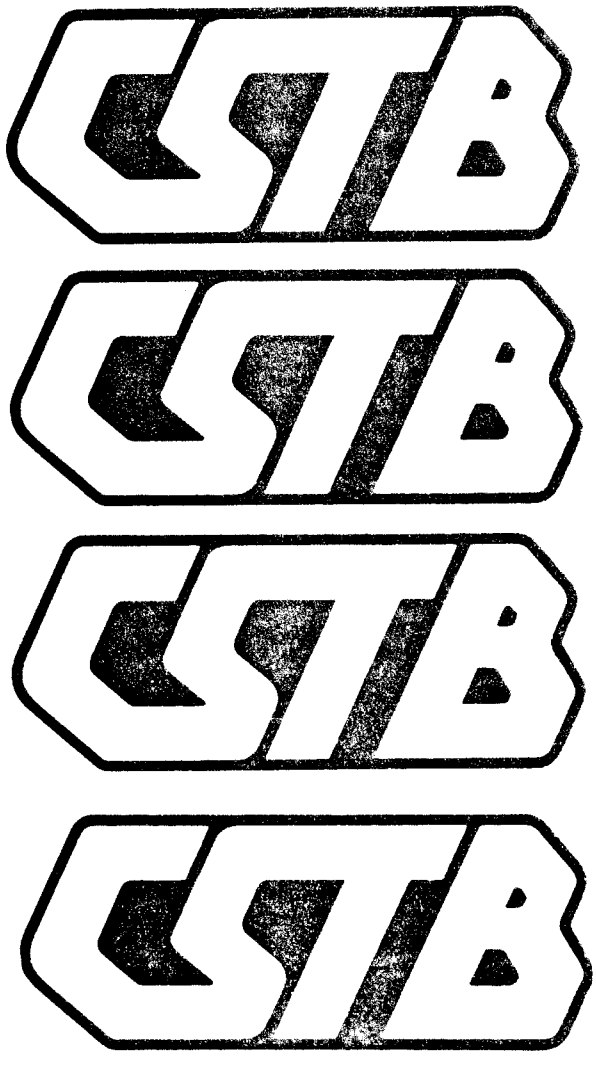
études et recherches

09.02.00 - Comment concevoir une protection satisfaisante des bâtiments vis-à-vis des bruits extérieurs

par le Service Acoustique
de l'Établissement de Grenoble



n° 240 juin 1983 cahier 1855

Ce document a été établi avec la collaboration de :

— Association Française des Ingénieurs en Acoustique Architecturale et Industrielle (AFIA)

— Société Boussois

— Centre d'Assistance Technique et de Documentation (CATED)

— Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP)

— Contrôle et Prévention (CEP)

— Centre d'Etudes des Transports Urbains (CETUR)

— Chambre Syndicale des Entreprises en Génie Climatique

— Centre National d'Etudes et d'Initiative en Faveur du Logement (CNEIL)

— Centre National d'Etudes Techniques des HLM (CNET)

— Centre National de la Recherche Scientifique — Laboratoire de Mécanique Appliquée (LMA)

— Direction de la Construction de la ville de Paris

— Electricité de France (EDF)

— Groupement des Acousticiens de Langue Française (GALF)

— M. Hamayon

— Isover St-Gobain

— Institut National de la Consommation (INC)

— Laboratoire Acoustique des Ingénieurs-Conseils Associés (LAICA)

— Bureau d'Etudes Lamoral

— Laboratoire National d'Essais (LNE)

— Ministère de l'Environnement

— Ministère de la Solidarité

— Ministère de l'Urbanisme et du Logement (MUL)

— Omnium Technique Holding (OTH)

— Saint-Gobain Vitrages

— Socotec

— Syndicat des Constructeurs de Matériel Aéraulique

— Télévision de France (TDF)

— Union Nationale des Fédérations d'Organismes d'HLM

— Union Technique Interprofessionnelle des Fédérations du Bâtiment et des Travaux Publics (UTI)

— Bureau Véritas

Comment concevoir une protection satisfaisante des bâtiments vis-à-vis des bruits extérieurs

sommaire

A. Préambule 1

B. Les chemins de transmission du bruit et leur évaluation 2

C. De l'exigence au choix des composants 4

a. Détermination approximative de l'indice d'affaiblissement acoustique de la façade (ou de la toiture) pour obtenir un isolement donné 4

b. Choix des composants d'une façade (ou d'une toiture) 4

c. Prise en compte des transmissions indirectes 5

d. Choix des équipements 5

e. Vérification finale 5

D. Quelques erreurs importantes à éviter 6

E. Exemples 6

ANNEXE

Les toitures 8

A. Préambule

Le concepteur qui établit le projet d'un bâtiment destiné à être construit dans une zone bruyante peut agir sur divers facteurs pour assurer aux occupants du bâtiment un confort satisfaisant vis-à-vis des bruits extérieurs :

— action sur le plan masse lorsqu'il s'agit d'un ensemble immobilier à construire sur une grande parcelle (dispositions des bâtiments, mise en place d'écrans...),

— action sur la disposition interne des locaux, les locaux les moins vulnérables au bruit pouvant servir de protection aux locaux plus sensibles,

— action sur la surface des parties de façade les plus perméables au bruit, les fenêtres en général,

— action sur la nature des composants de la façade.

Son choix dépendra non seulement de la contrainte due au bruit mais aussi de toutes les autres contraintes habituelles : exposition, isolation thermique, coût, etc.

Plus le bâtiment sera exposé à un niveau de bruit extérieur élevé, plus son isolation acoustique devra être importante.

Pour savoir quel niveau d'isolement acoustique il convient de donner, le concepteur peut se trouver en face de deux situations :

— dans le cas de bâtiments d'habitation à implanter dans des zones reconnues bruyantes (plans d'occupation des sols, documents d'urbanisme, voisinage de voies de circulation classées), l'administration fixe l'isolement minimal des locaux, au moment de la délivrance du permis de construire (arrêté du 6 octobre 1978) ;

— dans les cas non visés par l'arrêté du 6 octobre 1978, c'est au concepteur à évaluer le niveau de bruit qui frappera le bâtiment et à en tirer les conséquences pour l'isolation du bâtiment. Il est entendu que le niveau du bruit pénétrant dans les locaux doit être suffisamment bas pour ne perturber ni les activités, ni le repos des personnes qui les occuperont.

Une fois l'isolement acoustique fixé selon l'une de ces deux procédures, les plans du bâtiment arrêtés, le concepteur doit vérifier que la solution technique qu'il envisage pour les murs, toitures et équipements qui contribuent à la transmission du bruit de l'extérieur vers l'intérieur lui permet d'assurer l'isolement acoustique retenu.

Du reste, le concepteur a le plus grand intérêt, dès le stade initial de son projet, à se préoccuper de la protection

acoustique. En effet, particulièrement dans le cas d'isolements élevés à obtenir, les contraintes acoustiques peuvent ne pas s'accommoder de n'importe quel parti architectural. C'est par approximations et recherches successives que le concepteur parviendra à la solution lui donnant satisfaction.

L'objectif principal de ce texte est donc de donner aux concepteurs un moyen de vérifier que leur projet est susceptible d'atteindre l'isolement acoustique fixé. Il est bien certain que les méthodes de prévision en matière acoustique sont sujettes à des incertitudes de quelques décibels et que seules des mesures, une fois les travaux achevés, permettront de savoir réellement si la solution retenue a l'efficacité attendue.

Dans les cas délicats, il est toujours utile de procéder à des mesures préliminaires sur prototype, in situ ou en laboratoire.

Rappelons que, dans le cas des isolements fixés par l'arrêté du 6 octobre 1978, modifié et complété par l'arrêté du 23 février 1983, pour les immeubles d'habitation, seule la mesure ([1]) sur le bâtiment achevé permet d'apprécier la conformité au règlement.

Précisons que chaque fois qu'il sera question d'isolement ou d'indice d'affaiblissement, dans la suite, il s'agira de valeurs globales exprimées en dB (A), ceci pour un bruit à l'émission soit de spectre dit « de route » (bruits autres que ceux produits par les avions), soit de spectre rose (avions).

B. Les chemins de transmission du bruit et leur évaluation

Le bruit peut pénétrer dans un bâtiment aussi bien par les façades et pignons que par les toitures. Par ailleurs, certains équipements tels que les installations de ventilation dont les conduits débouchent à l'extérieur peuvent constituer un chemin de transmission du bruit.

Le bruit pénétrant par une toiture ne risque d'être gênant que dans les locaux situés directement sous cette toiture. De même, celui frappant une façade n'intéresse, sauf cas exceptionnel, que les locaux situés derrière cette façade.

Pour les maisons individuelles, l'ensemble des types de transmission doit être considéré.

Chaque paroi délimitant un local, chaque chemin aérien au travers des parois participent plus ou moins à la transmission du bruit.

Une paroi peut participer soit sous forme de transmission directe, soit sous forme de transmission indirecte.

La transmission directe par une paroi est caractérisée par l'indice d'affaiblissement acoustique de cette paroi.

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau}$$

où

τ, facteur de transmission de la paroi, est le rapport de l'énergie transmise à l'énergie incidente.

τ et donc R dépendent non seulement de la paroi et de la répartition spatiale du bruit frappant la paroi mais aussi, quand ils sont exprimés en dB (A), du spectre de bruit.

Lorsque la paroi est constituée par la juxtaposition d'éléments différents (fenêtre, allège ...) de surfaces S_a, S_b ... et de facteurs de transmission τ_a, τ_b, ...

$$\tau = \frac{\tau_a S_a + \tau_b S_b + \ldots}{S_a + S_b \ldots}$$

L'application des définitions précédentes montre que si la paroi est frappée sur l'une de ses faces par un bruit d'intensité acoustique 1 watt/m^2, elle rayonne directement par son autre face la puissance acoustique :

$$X_1 = \tau S = S\ 10^{-\frac{R}{10}} \text{ watt}$$

ce qui, dans le cas d'une paroi composite, s'écrit encore :

$$X_1 = S_a\ 10^{-\frac{R_a}{10}} + S_b\ 10^{-\frac{R_b}{10}} + \ldots$$

1. Mesure effectuée conformément à la norme NF S 31-057.

ceci représentant la somme des énergies passant par chacun des composants de surfaces respectives S_a, S_b, ... et d'indices d'affaiblissement respectifs R_a, R_b ...

L'abaque A1 donne directement le résultat, en microwatts (µW), à partir de la connaissance de R et S. Dans le cas d'une paroi composite, l'abaque est utilisé pour déterminer la puissance X_i transmise par chaque composant d'indice d'affaiblissement R_i et de surface S_i, la puissance totale transmise étant la somme des puissances partielles. Inversement, le même abaque permet, à partir de la connaissance de la puissance totale transmise par la paroi, de déterminer l'indice d'affaiblissement acoustique R global.

La transmission indirecte par une paroi latérale (mur, cloison, plancher) liée à une paroi directement exposée (par exemple, cloison de distribution en maçonnerie liée à une façade lourde) est caractérisée par la puissance acoustique X_2 rayonnée dans le local de réception par la paroi latérale lorsque la paroi directement exposée est frappée par un bruit d'intensité acoustique 1 watt/m^2.

Une paroi latérale n'est à prendre en compte que si elle est rigidement liée à un ou plusieurs éléments de la façade exposés au bruit et si, de plus, elle est en maçonnerie (murs, planchers, cloisons en briques ou carreaux de plâtre ...) et que son rayonnement acoustique n'est pas entravé par une paroi faisant écran ([2]).

L'abaque A2 donne la puissance rayonnée par l'ensemble des parois latérales de surface cumulée S, en microwatts, pour 1 W/m^2 incident. Cet abaque se présente comme le précédent mais, au lieu de porter en entrée la surface de l'élément de façade considéré, on porte la surface totale S des parois latérales rigidement liées à la façade et rayonnant dans la pièce considérée.

Par ailleurs, l'indice R à considérer est celui de la partie de façade directement liée aux parois latérales (par exemple, on ne tiendra pas compte du doublage thermique d'une façade lourde dans l'évaluation d'une transmission latérale par les planchers).

On ne tiendra pas compte des transmissions indirectes lorsque la surface de façade pouvant donner lieu à ces transmissions est inférieure au quart de la surface totale de la façade.

L'abaque est la représentation de la formule :

$$X_2 = 10^6 \, S_{lat} \, 10^{-0,1(R+10)}$$

où S_{lat} est la surface des parois latérales à considérer,
R est l'indice d'affaiblissement de la façade tel que défini ci-dessus.

La transmission par un équipement permettant au bruit de passer directement de l'extérieur à l'intérieur d'un local est caractérisée par l'isolement D_{n10} qu'aurait ce local vis-à-vis du bruit extérieur si le bruit ne passait que par ce chemin de transmission.

La puissance X_3 ainsi transmise, pour un champ acoustique diffus incident de 1 W/m^2 est :

$$X_3 = 10^6/10^{0,1(D_{n10}-10)} \quad (\mu W)$$

Le tableau A3 donne des valeurs de X_3 en microwatts, pour D_{n10} compris entre 25 et 60 dB (A).

S'il existe plusieurs équipements pouvant transmettre directement le bruit, on calcule la puissance transmise par chacun comme il vient de l'être dit et l'on additionne l'ensemble de ces puissances.

Connaissant l'intensité acoustique frappant chaque paroi ou élément d'équipement extérieur susceptible de transmettre une part notable de bruit dans un local, il est donc possible, en sommant les puissances transmises par chacun des chemins indiqués ci-dessus, de connaître la puissance acoustique totale transmise au local.

En simplifiant, si l'on suppose que toutes les parois exposées et équipements reçoivent la même intensité unitaire de bruit, il suffit donc d'additionner les quantités X_1, X_2, ... pour trouver ainsi la puissance acoustique totale X_4 transmise au local.

L'isolement global du local par rapport à l'extérieur dépend ([3]) de cette énergie totale X_4, et de l'aire d'absorption équivalente A (m^2) du local selon :

$$D = 10 \log \frac{10^6 \, A}{X_4}$$

A est liée au volume V (m^3) du local ainsi qu'à la durée de réverbération T(s) de ce local par la formule de Sabine :

$$T = 0,16 \, \frac{V}{A}$$

Rappelons que, pour les locaux d'habitation, on dit que l'isolement est normalisé lorsque T = 0,5 seconde.

L'abaque A4 permet, à partir de la connaissance de V, T et X_4, de déterminer A et D.

2. Par exemple, doublage par plaques de plâtre cartonné désolidarisées de la paroi.

3. En toute rigueur, l'isolement dépend aussi de la répartition angulaire du champ sonore extérieur. Nous supposerons que le champ sonore est diffus. Toutefois, au moment du choix d'éléments de façade sur catalogue, nous serons amenés à considérer que leur pouvoir d'isolation pour un champ sonore rasant est moindre que pour un champ diffus.

C. De l'exigence au choix des composants

a. Détermination approximative de l'indice d'affaiblissement acoustique de la façade (ou de la toiture) pour obtenir un isolement donné

A partir de la connaissance de l'isolement D à obtenir entre extérieur et intérieur et des caractéristiques (volume, durée de réverbération) du local à protéger, l'abaque A4 permet de déterminer la puissance acoustique X qu'il est admissible de laisser pénétrer dans le local lorsque la façade (ou la toiture) est frappée par un bruit d'intensité 1 watt/m^2.

Il pourra quelquefois être plus pratique d'utiliser le tableau A5 donnant les valeurs maximales admissibles pour X (microwatts) pour un local de volume V, de durée de réverbération 0,5 — 0,8 et 1 s, en fonction de l'isolement D fixé.

Le projet au niveau de l'A.P.S. est suffisant pour la détermination de X.

Le report de la quantité X ainsi trouvée, sur l'abaque A1, permet d'obtenir l'indice d'affaiblissement acoustique R que devrait avoir la façade (ou la toiture) si le bruit n'était transmis que de manière directe, cette façade étant exposée sans protection de balcons ou autres parties de l'immeuble.

Dans le cas de la présence d'un balcon ou d'une loggia, l'indice d'affaiblissement trouvé peut être réduit d'une quantité égale à l'efficacité de ce balcon ou de cette loggia, donnée par le tableau A6.

Pour que l'indice d'affaiblissement ainsi trouvé soit comparable aux valeurs de catalogue obtenues à l'aide des mesures en laboratoire pour un bruit de spectre comparable à celui du bruit frappant la façade (ou la toiture), il y a lieu, si les ondes frappent la façade principalement sous un angle d'incidence supérieur à 60°, de réduire la valeur catalogue d'environ 3 dB (A).

Rappelons que ce sont les valeurs catalogue R_{route} qui doivent être prises pour les trafics automobile et ferroviaire et R_{rose} pour le trafic aérien.

b. Choix des composants d'une façade (ou d'une toiture)

Au stade de l'investigation venant d'être décrite, le concepteur doit préciser son projet en fixant la nature des murs, planchers, cloisons et le détail des façades et toitures à moins qu'il ne l'ait déjà fait au préalable sans encore se soucier des problèmes acoustiques.

Les façades et toitures doivent présenter un indice d'affaiblissement au moins égal à celui venant d'être déterminé.

Les données permettant de connaître les caractéristiques acoustiques des éléments entrant dans le mode de calcul de l'indice d'affaiblissement acoustique moyen d'une façade réelle sont disponibles dans les documents qui suivent :

— le Cahier du CSTB n° 1397 pour les données concernant les baies vitrées et les parties opaques,

— le R.E.E.F. Volume II, Sciences du bâtiment (édition de 1982),

— le présent document, en annexe, pour les données concernant les toitures.

La pleine efficacité acoustique d'une façade ne sera obtenue que si toute transmission parasite du son est évitée. Or, de telles transmissions risquent d'exister :

du fait d'une étanchéité à l'air insuffisante, ou bien si l'étanchéité est assurée par des matériaux trop légers ou à peine jointifs sur une trop grande surface. Cette remarque est valable, à différents degrés bien sûr, pour toutes les classes d'isolement ;

— du fait des coffres d'enroulement des occultations s'ils sont visibles tant de l'extérieur que de l'intérieur.

La solution est de placer ces coffres entièrement à l'extérieur du mur de façade ; une autre est d'entourer ces coffres de parois suffisamment isolantes et de placer des absorbants pouvant être, par exemple, des fibres minérales à l'intérieur de ces coffres ; dans ce dernier cas, ils peuvent, s'ils sont convenablement étudiés, assurer la fonction « entrée d'air » sans inconvénient acoustique.

C'est particulièrement pour les isolements supérieurs à 35 dB (A) que l'on devra se prémunir contre les transmissions parasites amenées par les coffres d'enroulement des occultations. L'emploi de coffres à volets roulants en fibragglo ayant l'avis technique (groupe spécialisé n° 6) est un excellent remède contre ces inconvénients. La tringlerie de commande des volets roulants risque aussi, si elle n'est pas étanche, de perturber les isolements supérieurs à 40 dB (A) environ ;

— du fait des conduits de fumée ou de cheminée, ou encore d'amenée d'air si le débouché est exposé au bruit et en l'absence d'absorbants dans le circuit. Cela est particulièrement vrai pour les isolements égaux ou supérieurs à 35 dB (A). On pourra, par exemple, conseiller une double obturation dans le cas de cheminée à foyer ouvert, pour qu'en l'absence de fonctionnement de cette dernière, il n'y ait pas introduction du bruit ;

— du fait de la toiture lorsqu'elle n'est pas lourde et lorsqu'une partie de l'énergie acoustique incidente vient d'en haut. Pour les toitures, nous indiquerons sommairement des exemples de solutions suffisantes pour ne pas détériorer les isolements obtenus par les façades ;

— du fait de l'utilisation d'isolants thermiques de forte raideur, notamment en doublage des parois de façade, et particulièrement pour des isolements supérieurs à 40 dB (A).

c. Prise en compte des transmissions indirectes

Une fois le projet suffisamment bien défini (esquisse de l'APD), il est possible d'évaluer l'importance des transmissions indirectes selon la méthode définie précédemment.

Nous avons vu que ces transmissions indirectes, dues à la mise en vibration des planchers, murs et cloisons solidaires des éléments de la façade, sont évaluées par utilisation de l'abaque A2.

Si ces transmissions engendrent, à l'intérieur du local, une puissance acoustique X_2 inférieure au 1/5 de l'énergie transmise directement, il n'y a pas lieu d'en tenir compte et la solution retenue est acoustiquement convenable.

On pourra éviter de procéder à un tel calcul lorsque l'isolement recherché est inférieur ou égal à 35 dB (A) ou lorsque la façade n'expose au bruit que des éléments légers.

Lorsque la transmission indirecte dépasse le 1/5 de la puissance transmise directement et tant qu'elle ne dépasse pas à elle seule la puissance totale admissible, il est possible d'obtenir un résultat convenable en utilisant une façade dont l'indice d'affaiblissement moyen est supérieur à celui choisi initialement.

Si l'énergie transmise sous forme indirecte dépasse l'énergie totale admissible, la conception de la structure du bâtiment doit être revue pour réduire notablement cette transmission indirecte.

Une fois un nouveau choix effectué, il y a lieu de vérifier, selon la méthode décrite ci-dessus, que le bilan acoustique complet est convenable.

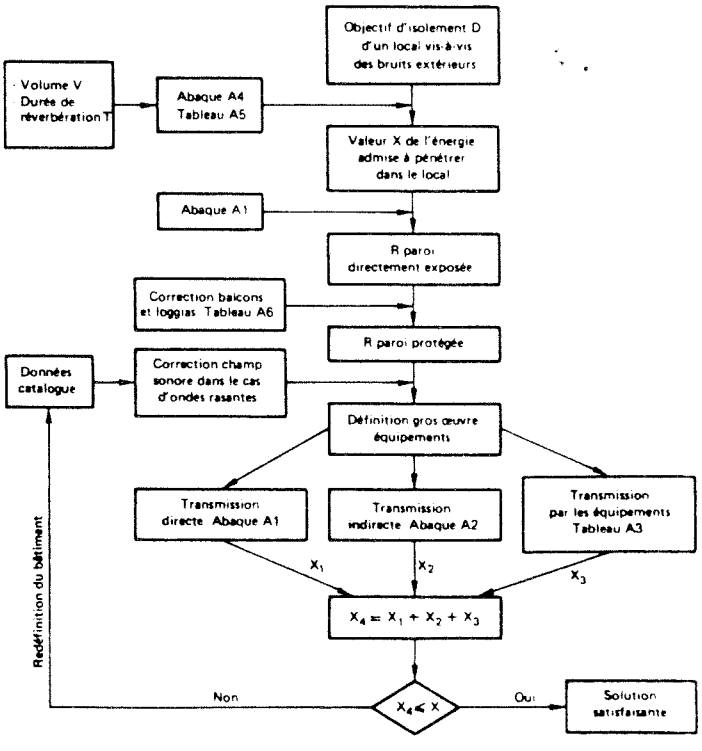
d. Choix des équipements

Les équipements risquant de favoriser la pénétration du bruit, les prises d'air en façade par exemple, doivent être choisis de manière que l'énergie qu'ils transmettent (utilisation du tableau A3) soit, si possible, de quantité négligeable (inférieure au 1/5) vis-à-vis de l'énergie transmise à la fois par voies directes et indirectes.

Si cela n'est pas possible, on doit s'assurer que la transmission totale d'énergie par toutes les voies, équipements compris, reste inférieure à la limite admissible.

e. Vérification finale

La puissance transmise par tous les chemins possibles, c'est-à-dire $X_4 = X_1 + X_2 + X_3$ doit être inférieure ou égale à la valeur X directement dépendante de l'isolement D imposé.



D. Quelques erreurs importantes à éviter

a. Pour un isolement de 30 dB (A)

— Equiper les menuiseries de verre simple d'épaisseur inférieure à 6 mm ;

— utiliser des entrées d'air sans procès-verbal de mesure prouvant que D_{n10} est supérieur à 35 dB (A) ;

— utiliser des menuiseries de classe A_1 ou non classées ;

— utiliser une façade légère de grande surface (plus de la moitié de la façade) pesant moins de 25 kg/m^2 à moins qu'un procès-verbal d'essais ne prouve que R est supérieur à 35 dB (A) ;

— utiliser un plafond de moins de 20 kg/m^2 sous une couverture traditionnelle sans interposition de fibres minérales ou de vermiculite.

b. Pour un isolement de 35 dB (A)

— Equiper les menuiseries de verre simple ;

— équiper les menuiseries d'un double vitrage d'épaisseur totale inférieure à 20 mm ;

— utiliser des entrées d'air sans procès-verbal de mesure prouvant que D_{n10} est supérieur à 40 dB (A) ;

— utiliser des menuiseries de classes A_1, A_2 ou non classées ;

— utiliser une façade légère de grande surface (plus de la moitié de la façade) pesant moins de 50 kg/m^2 à moins qu'un procès-verbal d'essais ne prouve que R est supérieur à 40 dB (A) ;

— utiliser un plafond de moins de 20 kg/m^2 sous une couverture traditionnelle sans que le plafond soit couvert d'au moins 100 mm de fibres minérales ;

— installer un coffre à volet roulant léger et (ou) peu étanche, à cheval entre extérieur et intérieur ;

— présence d'un conduit de cheminée, sans obturation en bas du conduit.

c. Pour un isolement de 40 dB (A)

Emploi de composants n'ayant pas fait l'objet d'une qualification acoustique.

d. Pour un isolement de 50 dB (A)

Omettre de faire appel à un spécialiste.

E. Exemples

1er Exemple

Il s'agit de s'assurer qu'un local d'habitation (T = 0,5 s) de volume 25 m^3 (4 × 2,5 × 2,5), dans un immeuble collectif dont la façade est directement exposée à un bruit extérieur diffus, possède un isolement d'au moins 30 dB (A).

Le projet prévoit le descriptif suivant :

— Façade

Parties opaques : parpaing creux 20 cm avec enduits (R_{route} = 48 dB (A)) avec isolation thermique à l'intérieur par polystyrène et plaques de plâtre.
Surface = 6 m^2.

Baies vitrées : deux de 2 m^2 chacune, ouvrant à la française munies d'un double vitrage (4.6.4).
R_{route} = 30 dB (A).

— Planchers

En béton 16 cm. Surface totale 20 m^2.

— Cloisons latérales

En carreaux de plâtre 7 cm. Surface totale 20 m^2.

— Entrée d'air

D_{n10} = 40 dB (A).

La puissance acoustique admissible se trouve par utilisation du tableau A5 :

pour V = 25 m^3 et T = 0,5 on trouve
X = 8 000 µW

Le bilan acoustique selon le projet est le suivant :

Transmission directe

Parties opaques de la façade
S = 6 m^2 et R = 48 dB (A) X_1 = 95

Baies vitrées
S = 4 m^2 et R = 30 dB (A) X_1 = 4 000

Transmission indirecte

S = 40 m^2 avec R = 48 dB (A) X_2 = 63

Entrée d'air

D_{n10} = 40 dB (A) X_3 = 1 000

$X_4 = X_1 + X_2 + X_3$ = 5 158 µW

On a donc $X_4 < X$ et le projet est donc satisfaisant. Plus précisément, l'utilisation de A4 montre que D = 32 dB (A).

Remarque

Si, au lieu d'être diffus, le champ sonore extérieur était rasant, il faudrait compter avec une chute d'environ 3 dB (A) de l'indice d'affaiblissement des baies vitrées et le projet ne serait plus satisfaisant. Il y aurait alors lieu de prévoir des fenêtres plus performantes, de la classe de 35 dB (A) par exemple.

2e exemple

Local de mêmes caractéristiques que le précédent, mais cette fois dans une maison individuelle à rez-de-chaussée seulement dont le plancher haut est un plâtre cartonné épais de 13 mm surmonté de 150 mm de fibres de verre. Toitures tuiles grand moule. Combles non aménageables.

Dans le bilan énergétique, il faut ajouter la puissance acoustique traversant la toiture et le plancher haut :
(R_{route} = 40 dB (A) et S = 10 m²)

X_1 = 1 000

d'où X_4 = 6 158

ce qui est encore satisfaisant.

Remarque

En cas de champ sonore extérieur rasant soit sur les vitrages, soit sur la toiture ou à la fois sur les deux, il y aura lieu de choisir des éléments acoustiques légèrement plus performants (environ 5 dB (A)).

3e exemple

Considérons ici un local de mêmes caractéristiques que celui de l'exemple 2 pour lequel on désire cette fois un isolement de 35 dB (A).

La puissance acoustique admissible est alors :

X = 2 525 µW

On voit donc que, pour ce cas, le descriptif retenu ne donne pas satisfaction, puisqu'il pénètre environ 3 633 µW de trop. Pour éliminer ce surplus de pénétration d'énergie acoustique, on voit que si, au lieu de deux fenêtres, on se contente d'une seule fenêtre, on gagne 2 000 µW. Ensuite, en faisant passer l'indice d'affaiblissement de la fenêtre de 30 à 35 dB (A), la transmission par cette fenêtre est réduite à 630 µW environ d'où un nouveau gain de 1 370 µW.

Un effort supplémentaire sur le choix de la bouche d'entrée d'air, par le choix d'un modèle ayant un indice d'affaiblissement de 45 dB (A) au lieu de 40, doit permettre d'avoir un ensemble donnant satisfaction.

En effet, le bilan se décompose comme suit :

— parties opaques de la façade	95
— baies vitrées	630
— transmissions indirectes	63
— entrée d'air	316
— toiture	1 000
X_4 =	2 104 < 2 525

Remarque 1

Au lieu de réduire la surface vitrée, il était possible d'obtenir le même résultat en choisissant des fenêtres plus performantes (37 dB (A) au lieu de 30 dB (A) par exemple).

Remarque 2

Identique aux remarques des exemples précédents.

4e exemple

Local de mêmes caractéristiques que pour le 1er exemple, mais avec deux baies vitrées d'indice d'affaiblissement R = 43 dB(A) et une entrée d'air de D_{n10} = 52 dB (A). Il s'agit de s'assurer que ce local aura un isolement d'au moins 42 dB (A).

Dans ce cas, la puissance acoustique admissible est X = 500 µW.

Le bilan acoustique est :

— parties opaques de la façade	95
— baies vitrées	200
— transmissions indirectes	63
— entrée d'air	63
X_4 =	421 < 500

La solution est donc convenable, mais en champ diffus seulement. En champ rasant, il conviendrait de porter à 45 dB (A) l'indice d'affaiblissement des baies vitrées et de doubler intérieurement le mur de façade par un élément apportant une nette amélioration acoustique.

Annexe

Les toitures

Etant donné qu'il est relativement aisé de concevoir une toiture protégeant bien contre la pénétration du bruit, nous conseillons de fixer l'indice d'affaiblissement de la toiture à choisir à une valeur nettement au-dessus de l'isolement recherché :

— 40 dB (A) pour un bruit de route à l'émission lorsque l'isolement requis est 30 dB (A) et que la toiture est directement frappée par le bruit ;

— 45 dB (A) pour un bruit de route à l'émission lorsque l'isolement requis est 35 dB (A) ;

— 48 dB (A) pour un bruit rose à l'émission en zone C d'aéroport ;

— 52 dB (A) pour un bruit de route à l'émission lorsque l'isolement requis est de 42 dB (A).

Si l'on préfère ne pas prendre cette marge de sécurité, il y a lieu, dans le calcul de l'énergie X transmise au local, de tenir compte de la part due à la toiture.

Exemples de toitures d'indice d'affaiblissement au moins égal à 40 dB (A) pour un bruit de route

Plaques de plâtre cartonné 10 à 15 mm + 150 mm fibres minérales de densité 30 à 80 kg/m^3 + tuiles.

Plaques de plâtre cartonné 15 à 25 mm + 180 mm vermiculite en vrac + tuiles.

Plaques de plâtre cartonné 25 + 100 mm fibres minérales de densité 30 à 80 kg/m^3 + tuiles.

Hourdis terre cuite 27 mm + 60 mm fibres minérales de densité 30 à 80 kg/m^3 + tuiles.

Plafond masse 200 kg/m^2 + tuiles.

Le remplacement des tuiles par des ardoises améliore légèrement l'isolation acoustique. Le fait de supporter les tuiles par des plaques d'amiante-ciment améliore légèrement l'isolement acoustique.

Exemples de toitures d'indice d'affaiblissement au moins égal à 45 dB (A) pour un bruit de route et 48 dB (A) pour un bruit d'avion

Enduit plâtre sur lattis métallique recouvert de 100 mm de fibres minérales de densité 30 à 80 kg/m^3 + tuiles.

2 plaques de plâtre cartonné de 13 mm chacune + 150 mm fibres minérales de densité 30 à 80 kg/m^3 + tuiles.

2 plaques de plâtre cartonné de 13 mm chacune + 100 mm de fibres minérales de densité 30 à 80 kg/m^3 + ardoises.

Plaques de plâtre cartonné de 10 mm + 150 mm de fibres minérales de densité 30 à 80 kg/m^3 + ardoises.

Plaques de plâtre cartonné 13 mm + 180 mm vermiculite en vrac + ardoises.

Plafond 250 kg/m^2 + tuiles ou ardoises ou bardeaux.

Exemples de toitures d'indice d'affaiblissement au moins égal à 52 dB (A) pour un bruit de route

2 plaques de plâtre cartonné de 13 mm chacune + 150 mm de fibres minérales de densité 30 à 80 kg/m^3 + ardoises.

Enduit plâtre sur lattis métallique + 120 mm de fibres minérales de densité 30 à 80 kg/m^3 + ardoises.

Plaques de plâtre cartonné 13 à 15 mm + 150 mm de fibres minérales de densité 30 à 80 kg/m^3 + bardeaux bitumés agrafés sur panneaux de particules.

2 plaques de plâtre cartonné de 13 mm chacune + 100 mm de fibres minérales de densité 30 à 80 kg/m^3 + barceaux bitumés agrafés sur panneaux de particules.

Enduit plâtre sur lattis métallique + 80 mm de fibres minérales de densité 30 à 80 kg/m^3 + bardeaux bitumés agrafés sur panneaux de particules.

Plafond 350 kg/m^2 + tuiles ou ardoises ou bardeaux.

Méthode d'estimation de l'indice d'affaiblissement acoustique d'un ensemble (plancher haut + couverture) lorsque la couverture est traditionnelle, à condition de connaître l'indice d'affaiblissement acoustique du seul plancher haut

a) présence d'un matelas de fibres minérales entre le plancher haut et la couverture.

— P (ensemble plancher haut + couverture) =

P plancher haut + n + n'

avec

— n = + 0 s'il n'y a que peu de distance entre le plancher haut et la couverture

+ 3 si la distance moyenne entre le plancher haut et la couverture est au moins égale à 50 cm

et

— n' = 5 lorsque la couverture est constituée de tuiles à emboîtement sur liteaux ou de tuiles plates sur liteaux, ou encore de plaques nervurées en acier ou en aluminium de 3 à 5 kg/m^2.

— n' = 10 lorsque la couverture est constituée d'ardoises clouées sur voligeage jointif.

— n' = 12 lorsque la couverture est constituée de tuiles canal sur amiante-ciment ou d'ardoises posées au crochet sur liteaux.

— n' = 13 à 15 lorsque la couverture est constituée de bardeaux bitumés sur panneaux sandwiches ou sur panneaux bois.

b) absence d'un matelas de fibres minérales entre le plancher haut et la couverture, l'isolation thermique étant obtenue par exemple à l'aide de polystyrène expansé.

— R (ensemble plancher haut + couverture) =

$$R \text{ plancher haut} + n + \frac{n'}{2}$$

— n et n' ayant les valeurs données en *a*.

Abaque A1

Il permet de déterminer la valeur de la puissance acoustique X_1 en (µW) transmise par une paroi de surface S et d'indice d'affaiblissement acoustique R frappée par un bruit d'intensité 1 W/m^2.

$$X_1 = 10^6 \; S \; 10^{-0,1 \; R} \; (\mu W)$$

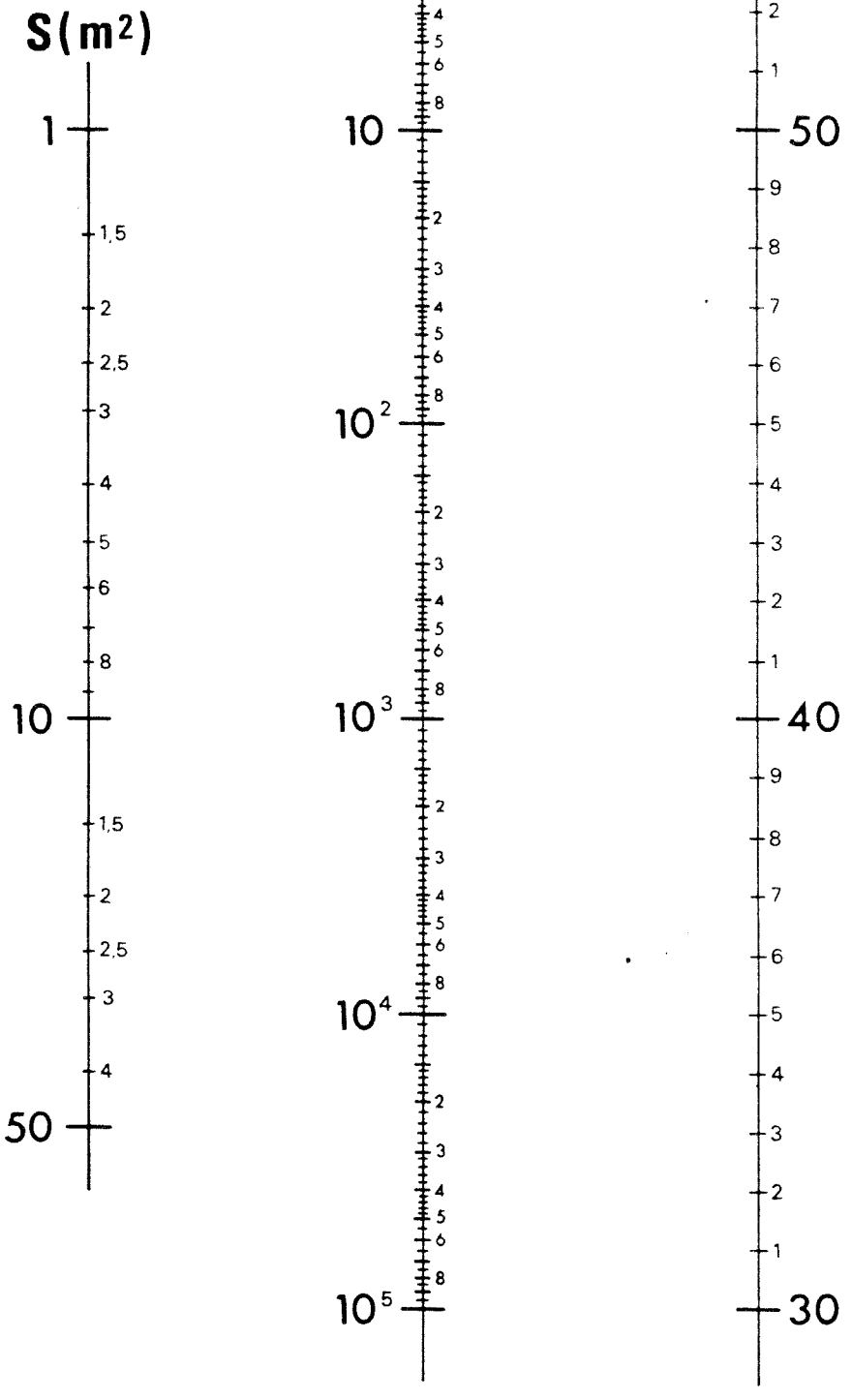
Mode d'emploi

Relier par une droite la ligne S (surface de la paroi) et la ligne R (indice R de la paroi) puis lire sur la ligne X_1 la valeur de l'énergie transmise.

Exemple

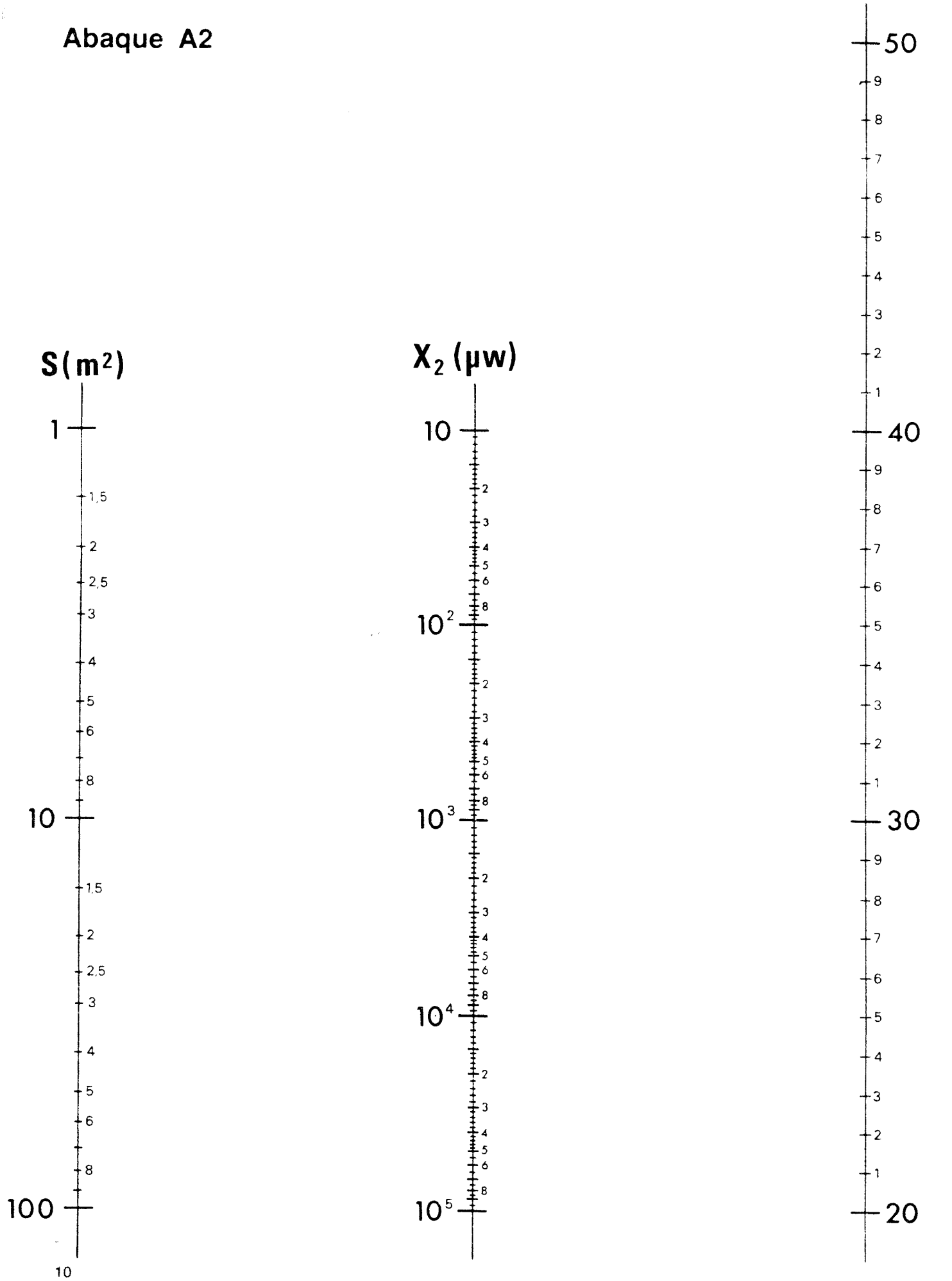
Pour S = 2 m^2 et R = 34 dB (A)

on trouve X_1 = 800 µW. Ceci peut être le cas d'une baie vitrée, d'une allège, d'une façade légère, etc.



TRANSMISSIONS LATÉRALES

Abaque A2



Abaque A2

Il permet de déterminer la valeur de la puissance acoustique X_2 (en µW) transmise par l'ensemble des parois latérales de surface S rayonnant dans un local et liées à un élément de façade d'indice d'affaiblissement acoustique R, frappé par un bruit d'intensité 1 W/m^2.

$$X_2 = 10^6 \, S10^{-0.1(R + 10)} \ (\mu W)$$

Note : Dans le cas d'un mur de façade recevant un doublage thermique par l'intérieur, la valeur de R à considérer est celle du mur sans le doublage.

Mode d'emploi

Relier par une droite le point qui, sur la ligne S, indique la surface de la paroi latérale (en m^2) et le point qui, sur la ligne R, indique l'indice R du mur de façade (voir note) puis lire sur la ligne X_2 la valeur de la puissance acoustique transmise, X_2 étant indiqué par le point d'intersection de la droite et de la ligne X_2.

Exemple

Soit un local de surface au sol 20 m^2 dont la partie opaque de la façade est constituée d'un mur en maçonnerie d'indice d'affaiblissement 48 dB (A) doublé, à l'intérieur, par un complexe laine minérale-plâtre cartonné. Les deux cloisons latérales aboutissant à la façade sont en briques plâtrières et sont supposées avoir chacune une surface de 10 m^2. Les planchers sont des dalles pleines.

La surface cumulée S des parois latérales rigidement liées au mur de façade est donc 60 m^2. L'utilisation de l'abaque donne alors :

$$X_2 = 100 \ \mu W$$

Tableau A3
Transmission par un équipement

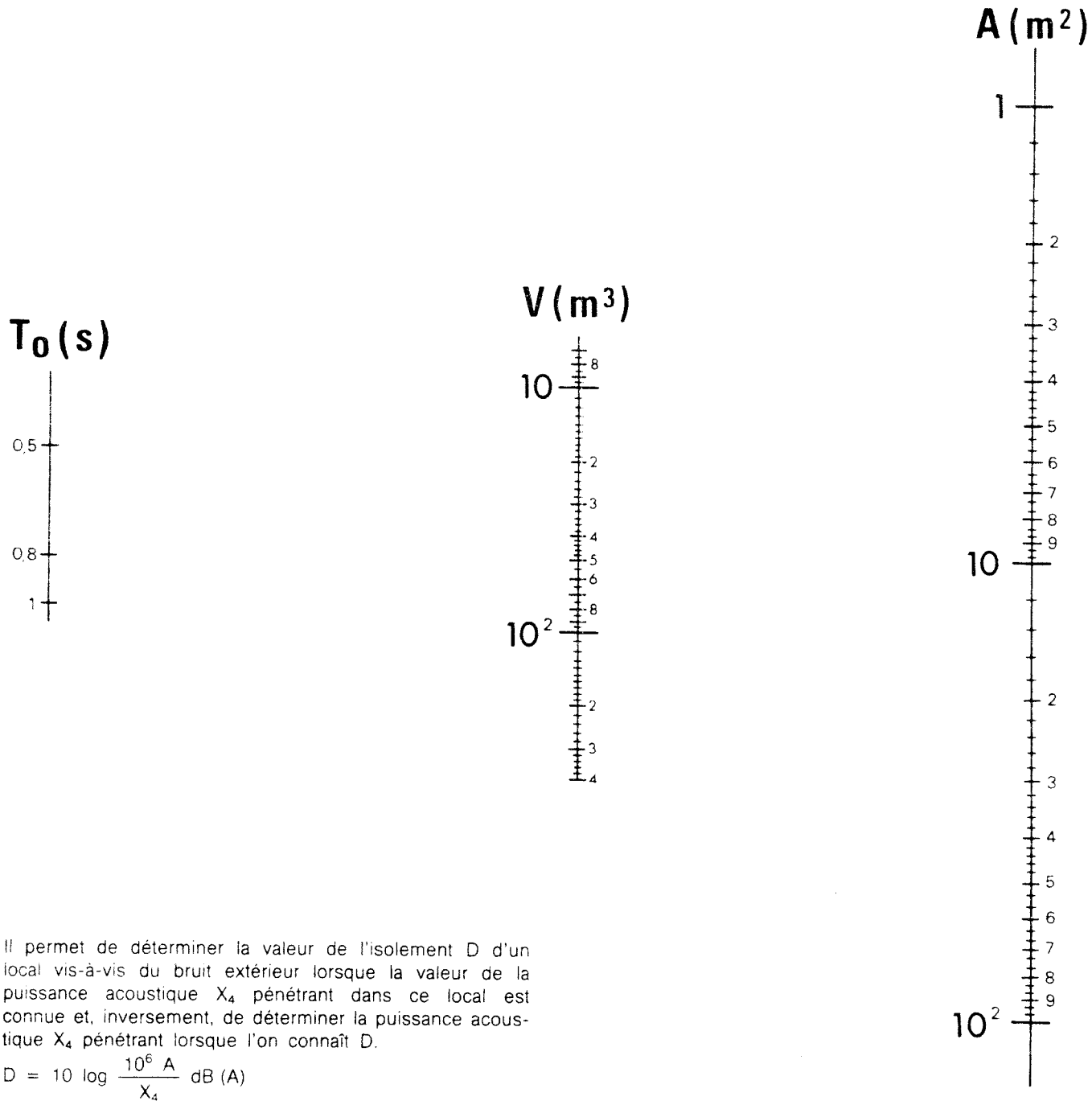
Il permet de déterminer la valeur de la puissance acoustique X_3 (en µW) transmise par un équipement en fonction de l'isolement D_{n10} caractérisant cet équipement, pour un champ incident diffus d'intensité 1 W/m^2.

$$X_3 = 10^6/10^{0.1 \ (D_{n10} - 1)} \ (\mu W)$$

D_{n10} dB(A)	X_3 (µW)	D_{n10} dB(A)	X_3 (µW)
25	31 622	43	501
26	25 119	44	398
27	19 953	45	316
28	15 849	46	251
29	12 589	47	200
30	10 000	48	158
31	7 943	49	126
32	6 309	50	100
33	5 012	51	79
34	3 981	52	63
35	3 162	53	50
36	2 512	54	40
37	1 995	55	32
38	1 584	56	25
39	1 258	57	20
40	1 000	58	16
41	794	59	13
42	631	60	10

Abaque A4
1re partie

DÉTERMINATION DE A



Il permet de déterminer la valeur de l'isolement D d'un local vis-à-vis du bruit extérieur lorsque la valeur de la puissance acoustique X_4 pénétrant dans ce local est connue et, inversement, de déterminer la puissance acoustique X_4 pénétrant lorsque l'on connaît D.

$$D = 10 \log \frac{10^6 A}{X_4} \text{ dB (A)}$$

$$X_4 = 10^6 A \, 10^{-0,1D} \text{ (µW)}$$

L'intensité du champ acoustique incident est supposée être de 1W/m².

Mode d'emploi

1. Relier par une droite le point qui sur la ligne T_0 indique la durée de réverbération et le point qui, sur la ligne V, indique le volume en m³ puis lire sur la ligne A la valeur de l'aire d'absorption équivalente.
2. Se reporter à la deuxième partie de l'abaque. Relier par une droite la ligne A à la ligne X_4, puis lire sur la ligne D la valeur de l'isolement. Inversement, on partira de D pour connaître X.

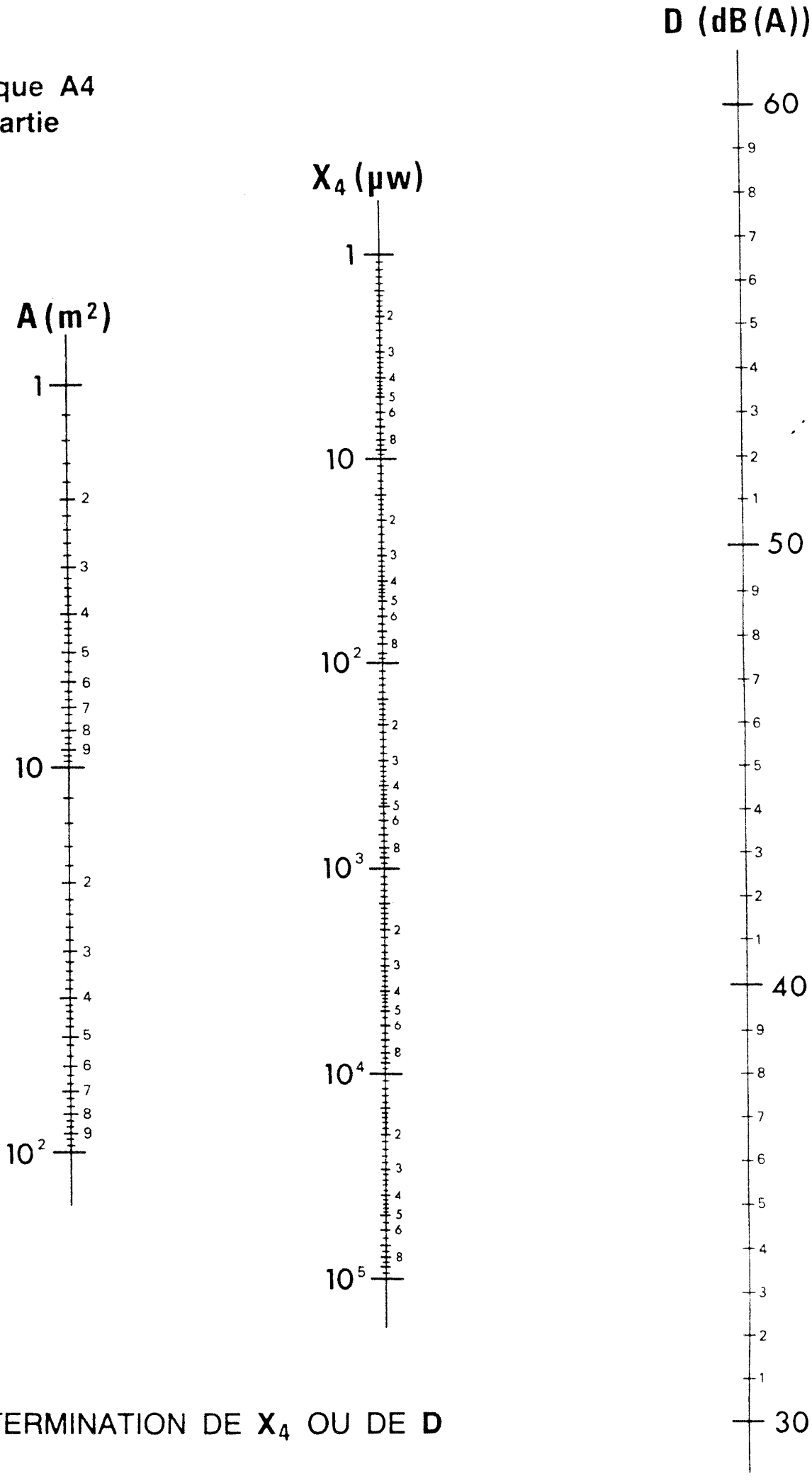
Exemple

La puissance acoustique de X_4 pénétrant dans un local de 50 m³ exposé à un bruit extérieur est supposée être égale à 900 µW lorsque la façade est frappée par une intensité acoustique de 1 W/m².

Le local a une durée de réverbération de 0,5 s. Dans ces conditions l'abaque A4 permet de déterminer successivement :

A = 16 m² et D = 43 dB (A).

Abaque A4
2e partie



DÉTERMINATION DE X_4 OU DE **D**

Tableau A5

Durée de réverbération T (en secondes)	Isolement D (en décibels)																							
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
0,5	638 V	507 V	403 V	320 V	254 V	202 V	160 V	127 V	101 V	80 V	64 V	51 V	40 V	32 V	25 V	20 V	16 V	13 V	10 V	8,0 V	6,4 V	5,1 V	4,0 V	3,2 V
0,8	399 V	317 V	252 V	200 V	159 V	126 V	100 V	80 V	63 V	50 V	40 V	32 V	25 V	20 V	16 V	13 V	10 V	8,0 V	6,3 V	5,1 V	4,0 V	3,2 V	2,5 V	2,0 V
1	319 V	253 V	201 V	160 V	127 V	101 V	80 V	64 V	51 V	40 V	32 V	25 V	20 V	16 V	13 V	10 V	8,0 V	6,4 V	5,1 V	4,0 V	3,2 V	2,5 V	2,0 V	1,6 V

Valeur maximale de la puissance acoustique (X en microwatts) admissible dans un local de volume V (m^3), pour trois durées de réverbération T (s), dans le cas d'un champ incident diffus, en fonction de l'isolement D fixé.

Exemple : local de volume V = 30 m^3, durée de réverbération 0,5 et d'isolement 35 dB (A).

X = 101 × 30 ≃ 3 000 µW

Tableau A6

Réduction de l'indice d'affaiblissement acoustique d'une façade, permise par la présence de balcons ou loggias et, corrélativement, accroissement de l'isolement d'un local par la mise en place d'un balcon ou d'une loggia dans le cas d'une façade parallèle à une voie routière (à ± 15° près). La façade est vue sous l'angle de site φ du point de la voie routière le plus proche de la façade. On pourra aussi consulter le Cahier du CSTB n° 901.

	φ = 0	φ = 30°	φ ≥ 60°
Un balcon à claire voie...	nulle	nulle	nulle
Un balcon plein ou une loggia.....	nulle	+ 1 dB(A)	+ 1 dB(A)
Un balcon à claire-voie avec absorbant en sous-face du balcon de l'étage supérieur. On suppose que les absorbants acoustiques ont un facteur d'absorption αs égal à 0,5 à toutes les fréquences supérieures à 250 Hz.....	nulle	nulle	2 dB(A)
Un balcon plein avec absorbant en sous-face du balcon de l'etage supérieur. On suppose que les absorbants acoustiques ont un facteur d'absorption αs égal à 0,5 à toutes les fréquences supérieures à 250 Hz	nulle	2 dB(A)	3 dB(A)
Une loggia* avec absorbants en sous-face du balcon de l'étage supérieur et sur les parements verticaux. On suppose que les absorbants acoustiques ont un facteur d'absorption αs égal à 0,5 à toutes les fréquences supérieures à 250 Hz.....	2 dB(A)	4 dB(A) selon les dimensions	6 dB(A) selon les dimensions

* Il s'agit d'une loggia non entièrement fermée vis-à-vis de l'extérieur.

09.01.02 MINUTE DE CALCULS DE L'ISOLEMENT
ACOUSTIQUE VIS-A-VIS DE L'EXTERIEUR

- ISOLEMENT RECHERCHE [ ] dB(A)

ENERGIE ADMISE A PENETRER DANS LE LOCAL EN M W

ABAQUE A4 OU TABLEAU A5

X = [ ]

PARTIE VITREE [ ] m^2 R [ ] dB(A)

PARTIE OPAQUE LOURDE SURFACE [ ] m^2 R [ ] dB(A)

PARTIE OPAQUE LEGERE [ ] m^2 R [ ] dB(A)

Correction de balcon Tableau A6 [ ] dB(A) [ ] dB(A) [ ] dB(A) [ ] dB(A)

Correction d'incidence Tableau A7 (voir notice) [ ] dB(A)

ENERGIE PENETRANT DANS LE LOCAL

ABAQUE A1

X1 = [ ] mW

X1 = [ ] mW

X1 = [ ] mW

- SURFACE DES PAROIS RAYONNANTES ADJACENTES A LA FACADE [ ] m^2

ENERGIE PENETRANT DANS LE LOCAL PAR VOIE SECONDAIRE - ABAQUE A2

X2 = [ ] mW

- Dn 10 BOUCHE D'ENTREE D'AIR [ ] dB(A)

ENERGIE PENETRANT DANS LE LOCAL PAR LES BOUCHES DE VENTILATION TABLEAU A3

X3 = [ ] mW

X4 = [ ] mW

- ENERGIE TOTALE PENETRANT DANS LE LOCAL $X_4 = X1 + X2 + X3$

[ ] $X_4 \leq X$

09.01.03. Correction champ sonore : ondes rasantes

Dans certaines configurations les façades peuvent être attaquées par des ondes dont la direction principale d'incidence est rasante. C'est ce qui est défini ci-après à partir des angles :

Θ Angle de vue de la voie

γ "Angle d'azimut"

φ "Angle de site"

TABLEAU A7

On peut considérer qu'il existe des incidences rasantes :

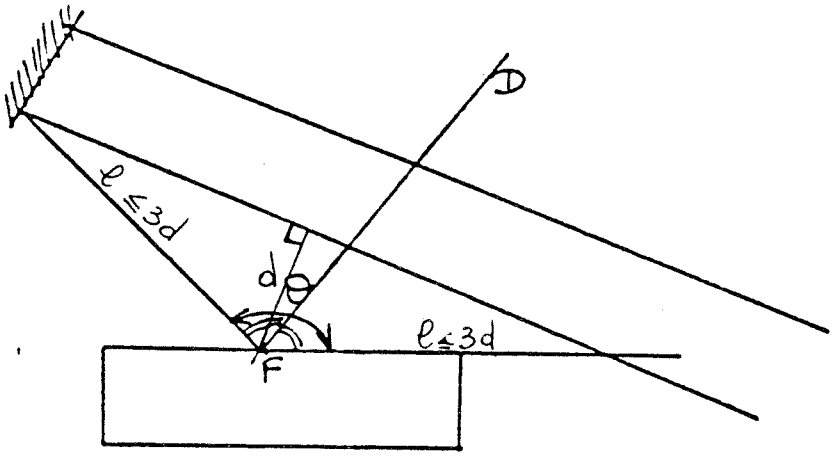
SI $\Theta \leq 60°$ et SI $\gamma \geq 60°$

SI $\Theta \leq 60°$ et SI $\varphi \geq 60°$

SI $\gamma > 45°$ et $\ell > 45°$

L'indice d'affaiblissement R des composants est à minorer de 3 dB(A)
ou l'isolement D Tableau A5 est à majorer de 3 dB(A)

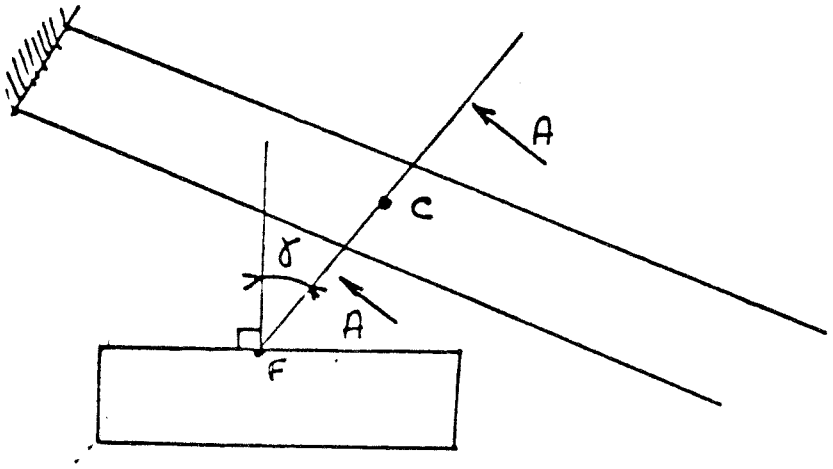
DEFINITIONS DES ANGLES Θ γ ET φ



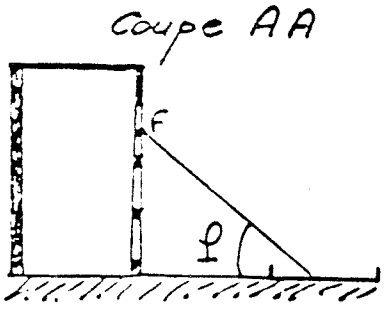
Θ = Angle de vue de la voie depuis le point considéré sur la façade

D = Bissectrice de l'angle Θ

d = distance à la voie



γ = Angle existant entre le centre de la source et la normale à la façade (angle entre bissectrice de Θ (droite d) et la normale.)



φ = Angle de site dans le plan de la bissectrice peu différent dans les faits du véritable angle de site (plan de la normale à la voie)