



Recommandation relative à l'acoustique des salles de classe et autres locaux destinés à la parole

1 Introduction

La présente directive de la Société Suisse d'Acoustique (SSA) a été élaborée par le groupe de travail "Acoustique des salles" et a été adoptée le 11.3.2004 par le comité de la SSA. Elle se fonde sur la norme allemande DIN 18041 "Hörsamkeit in kleinen bis mittelgrossen Räumen". [1]

Cette directive constitue une introduction à la norme, sans prétendre la remplacer. Les utilisateurs de la directive sont censés s'être procuré la norme DIN 18041.

La directive se base également sur les recommandations de la SSA en matière d'installations de sonorisation pour la parole. [2]

Ainsi, la présente directive reflète l'état actuel des connaissances et de la technique en matière d'intelligibilité de la parole dans les espaces clos.

2 Domaine d'application

En premier lieu, la directive traite des exigences relatives aux locaux d'enseignement (salles de classe, aulas, auditorios, etc.) et aux salles de sport.

Cependant, la norme DIN 18041 propose également des exigences applicables à nombre de petits et moyens locaux, destinés à la parole et à la musique, tels que : salles communales, bureaux individuels ou collectifs, guichets de gare ou de banque, espaces publics dans les transports en communs, locaux de vente, établissements publics, salles d'opérations, etc. La présente recommandation ne fait pas état d'une manière exhaustive des exigences correspondantes. Tant dans la norme DIN 18041, que dans cette recommandation, les besoins des malentendants font l'objet d'une attention particulière.

3 Exigences

3.1 Bruits perturbateurs

DIN 18041 différencie les bruits relevant de l'acoustique du bâtiment (bruit du trafic à l'extérieur, bruit en provenance des locaux avoisinants) des bruits d'exploitation (équipements techniques du bâtiment, projecteurs, etc.). Le niveau admissible pour chacune des catégories de bruit perturbateur est indiqué dans le tableau 1 de la page suivante en termes de niveau moyen pondéré "A".

3.2 Volume spécifique Temps de réverbération

Dans le but d'obtenir un temps de réverbération adapté à la parole, la norme DIN 18041 recommande, un volume spécifique (volume par place) de **3 – 6 m³/personne**.

Les temps de réverbération souhaitables pour les locaux d'enseignement (salles de classe, salles de groupes, salles de séminaire, auditorios, locaux pour l'enseignement à distance, salles de conféren-

ce, etc.) sont définis dans la nouvelle version de DIN 18041, sur la base des dernières connaissances en la matière.

L'objectif de **temps de réverbération à respecter** – moyenne des bandes d'octave 500 Hz et 1000 Hz - T_{soil} [s] s'exprime en fonction du volume du local [m^3] par la formule suivante :

$$T_{\text{soil}} = 0.32 \cdot \lg(V) - 0.17$$

La courbe de la figure 1 représente cette relation. La dépendance du temps de réverbération par rapport à la fréquence est indiquée dans la figure 2.

L'objectif s'applique à des **locaux occupés**. Dans un local inoccupé, le temps de réverbération ne devrait, en règle générale, pas dépasser l'objectif T_{soil} de plus de 0.2 s.

Dans le cas de personnes malentendantes, les conditions acoustiques favorisant la communication orale s'améliorent avec une diminution du temps de réverbération. Selon les connaissances actuelles en matière de planification et de construction adaptées aux personnes handicapées, le temps de réverbération souhaitable, dans les locaux dont le volume ne dépasse pas 250 m³ et qui ont une fonction liée à la parole ou l'enseignement pour des personnes présentant des troubles de l'audition, devrait se situer 20% en dessous des valeurs indiquées dans les courbes de la figure 1 (bandes d'octave de 250 Hz à 2000 Hz). Les valeurs de la figure 2 ne sont pas applicables en l'espèce dans cette plage de fréquences. Des exigences similaires s'appliquent à la communication dans une langue qui n'est pas sa langue maternelle, à la communication avec des personnes d'une langue maternelle différente de la sienne, ainsi qu'à la communication avec des personnes pour lesquelles un besoin de compréhension accrue de la parole existe, soit des personnes présentant des troubles d'élocution, de compréhension de la parole, de concentration ou autre handicap similaire. †

Les **temps de réverbération à respecter** (sans public) dans les salles de sport et dans les piscines couvertes dont le volume se situe entre 2000 et 8500 m³ sont définis comme suit (Fig. 1):

$$\text{Sport 1: } T_{\text{soil}} = 1.27 \cdot \lg(V) - 2.49$$

$$\text{Sport 2: } T_{\text{soil}} = 0.95 \cdot \lg(V) - 1.74$$

Sport 1: utilisation et/ou enseignement normal (une classe/ équipe sportive)

Sport 2: utilisation et/ou enseignement dispensé en parallèle (plusieurs classes / équipes en parallèle).

3.3 Géométrie des locaux

En l'absence de mesures acoustiques complémentaires, on évitera les **géométries de base** en forme de cercle ou d'ellipse; un plan trapézoïdal dans lequel les parois latérales convergent vers la scène est plus favorable que celui où les parois divergent. †

Exigences acoustiques pour l'utilisation du local	Niveau du bruit perturbateur L_{NA} (dB)	Adapté ^a si la distance entre les interlocuteurs est		Adapté ^a à des personnes malentendantes	Adapté ^a à la compréhension de textes difficiles ou en langue étrangère
		Moyenne ^{b,c}	Moyenne ^b		
(minimale)	(fort)	+	-	-	-
(moyenne)	(moyen)	+	o	o	o
(accrue)	(faible)	+	+	+	+

^a) "+" adapté, "o" en partie adapté, "-" inadapté
^b) Une distance entre interlocuteurs comprise entre 5 et 8 m est généralement qualifiée de "moyenne", tandis qu'elle est qualifiée de "grande" pour des éloignements > 8m.
^c) Adapté également pour des faibles distances entre interlocuteurs, soit jusqu'à 5m.

Tableau 1 Classification des niveaux de bruit perturbateur admissibles, selon DIN 18041 (Tableau 1)

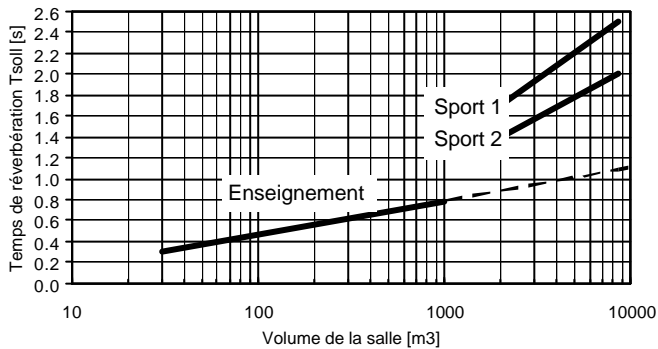
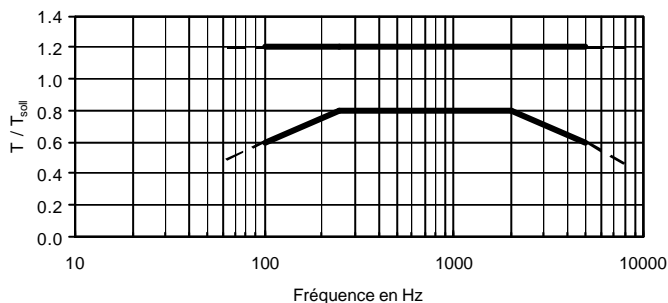
Figure 1 Valeur cible du temps de réverbération moyen entre 500 et 1000 Hz, pour des locaux d'enseignement occupés T_{soll} , selon DIN 18041, Figure 1

Figure 2 Zone de tolérance, selon les fréquences, pour le temps de réverbération dans le cas de la parole, selon DIN 18041, Figure 2

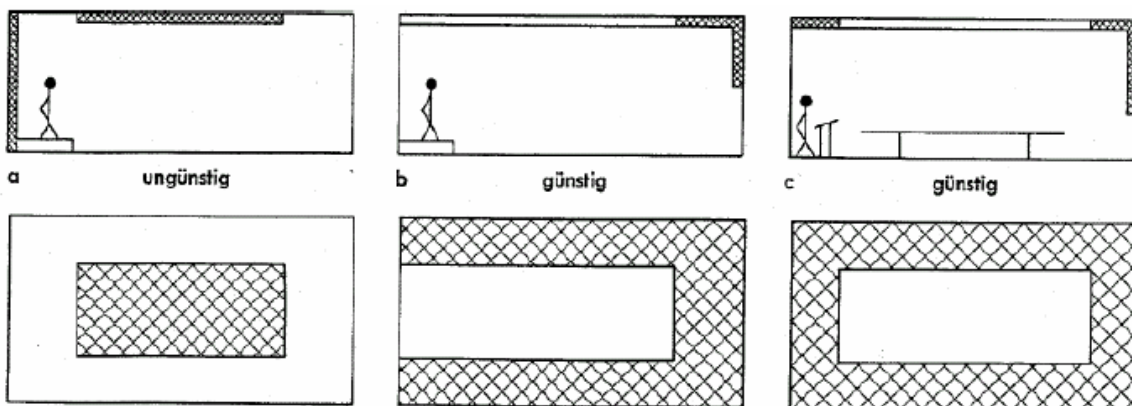


Figure 3 Répartition des surfaces absorbantes (a:défavorable, b:favorable, c:favorable) pour des locaux petits à moyens, tels que salles de classe, salles de réunion, etc., selon DIN 18041 (Fig. 5). En haut : coupe longitudinale, en bas : zone plafond, vue de dessous.

Les **surfaces concaves** au niveau du plafond ou des parois sont problématiques du point de vue acoustique, et à éviter en l'absence de mesures de correction acoustique spécifiques, dès lors que leur rayon de courbure se situe entre la moitié et le double de la distance séparant resp. le locuteur/auditeur du point le plus éloigné de la surface courbe. †

Afin d'assurer une couverture suffisante en son direct, sans affecter le timbre de la voix, il est nécessaire de disposer les **sièges en gradins** (dimensionnement selon DIN 18041).

Remarque : les personnes malentendantes doivent en outre recourir à l'information visuelle (observation de la bouche, gestuelle, mimique, écriture). Cet aspect doit être pris en compte lors du choix de la position de l'orateur, de la manière dont il est éclairé et des équipements techniques de la salle. †

L'aménagement en second œuvre de la salle (conception des parois et du plafond) doit se faire en fonction des impératifs de la géométrie de la salle régissant la réflexion et la diffusion du son : †

- La **différence de chemin** entre le son direct (contact visuel avec la source sonore) et le son réfléchi contenant de l'information (p.ex. première réflexion spéculaire sur une paroi / le plafond) ne devrait pas dépasser 17 m lorsque la compréhension de la parole est importante. En particulier, dans ce cas où la longueur de la salle dépasse 9 m, il est nécessaire d'appliquer un traitement acoustique sur la paroi arrière. †
- On créera des **premières réflexions** utiles, améliorant l'intelligibilité et la clarté du son, par des zones réfléchissantes situées dans la partie centrale du plafond; les considérations précédentes concernant la différence de chemin sont à prendre en compte. † (voir Figure 3)

Les **surfaces parallèles** sont à éviter ou leur effet à contrecarrer par des mesures de correction acoustique (surfaces absorbantes, diffusantes ou inclinées d'au moins 5°). †

4 Mesures

4.1 Acoustique du bâtiment

Lors de la planification de locaux destinés à la communication parlée, on veillera à prendre en compte la dépendance fonctionnelle des locaux, de façon à grouper les locaux présentant un faible potentiel de gêne mutuelle. L'effort à consentir pour l'isolement phonique peut être réduit si l'on accroît la distance entre le site à protéger et les grands axes de circulation – extérieurs et dans le bâtiment lui-même - ou les locaux techniques ou bruyants. †

Les exigences d'isolation de la norme suisse SIA 181 "Protection contre le bruit dans le bâtiment" sont applicables. [3]

4.2 Acoustique des salles

4.2.1 Petits locaux (Volume < 250 m³)

Géométrie des locaux

Les mesures et suggestions quant à l'aménagement décrites précédemment s'appliquent, en particulier aux salles de classe ou de réunion, aux salles desti-

nées à des activités de groupe dans les écoles maternelles et les garderies d'enfants, ainsi qu'à tout local destiné à la communication parlée, même en se servant de médias audiovisuels. Etant donné les dimensions restreintes du local, un amortissement acoustique trop important n'est, normalement, pas à craindre. †

Pour les petits locaux, il est recommandé d'appliquer des volumes spécifiques plus élevés qu'indiqués au § 3.2, pour autant que des mesures appropriées de correction acoustique soient mises en œuvre. †

C'est surtout dans les petits locaux que peuvent se produire des phénomènes de résonance aux fréquences graves. On peut les éviter en appliquant des traitements absorbant ou en choisissant des proportions géométriques appropriées. †

Surfaces absorbantes

Le type et la quantité de surfaces à traiter au moyen de matériaux absorbants dépendent du volume du local et des propriétés acoustiques des surfaces prévues, y compris des objets constituant l'aménagement de ce local. Dans le cas de locaux jusqu'à environ 250 m³, les calculs de correction acoustique pourront se faire avec une précision suffisante en travaillant avec la formule de Sabine respectivement dans les bandes d'octave comprises entre 125 et 4000 Hz, ou en tiers d'octave entre 100 Hz et 5000 Hz, en négligeant l'absorption de l'air. †

La norme DIN 18041 fait état d'une base simplifiée de dimensionnement pour l'estimation des surfaces absorbantes à partir des divers coefficients d'absorption pondérés α_w , découlant de la norme EN ISO 11654.

D'une manière générale, il est judicieux de répartir uniformément les surfaces absorbantes dans le local. Les dispositions illustrées dans les figures 3 b et 3 c sont favorables. L'étendue du traitement est dictée par les résultats du calcul de temps de réverbération évoqué ci-dessus. L'efficacité des absorbeurs agissant dans les fréquences graves est particulièrement élevée s'ils sont localisés à proximité de la source, ou dans des angles ou coins du local. †

4.2.2 Locaux moyens (250 < Volume < 5000 m³)

Géométrie des locaux

Cette catégorie concerne généralement les grandes salles de classe, les salles de séminaire et les auditoriums. Avec des dimensions de cette importance, il est nécessaire, en plus des calculs d'absorption selon les fréquences, de gérer les réflexions sonores, en dirigeant judicieusement les sons "utiles" et en atténuant les réflexions tardives, et donc néfastes. †

On évitera des proportions telles que la hauteur du local est très petite par rapport aux dimensions horizontales (locaux bas). Avec l'augmentation du volume, la densité modale, même dans les sons graves devient moins problématique. Tant les surfaces parallèles sans traitement, que les surfaces concaves ou coudées, peuvent générer des échos flottants (multiples) ou des phénomènes de focalisation là où se trouvent des personnes (ou éventuellement des microphones). †

Dans le cas de vastes auditoriums, il est recommandé de disposer les sièges en gradins; de même, on choisira pour l'orateur une position surélevée par rapport à l'auditorium (podium, scène, etc.). †

Surfaces absorbantes

Le calcul des surfaces absorbantes requises s'effectue à l'aide de la formule de Sabine. Dans le cas de locaux dont la longueur dépasse 9 m, des réflexions tardives peuvent atteindre la zone avant de l'auditorium suite à une réflexion directe par la paroi arrière ou à d'autres réflexions spéculaires, diminuant de la sorte l'intelligibilité de la parole. En l'occurrence, il y a lieu soit de revêtir les surfaces concernées d'un traitement absorbant, soit de les incliner de manière à ce que le son les atteignant soit réfléchi vers les auditeurs éloignés sous la forme de réflexions utiles. Les surfaces fortement structurées (diffusantes) constituent également une bonne solution. †

Dans le cas de deux surfaces parallèles, il est recommandé qu'au moins l'une des deux soit rendue absorbante ou structurée. Ceci est particulièrement valable dans le cas de vastes locaux dépourvus de gradins. Une inclinaison d'au moins 5° peut se déjà se révéler efficace. †

Lorsque des locaux sont rectangulaires et que les parois sont essentiellement lisses (p. ex. salles de sport ou piscines), on peut constater une augmentation importante des temps de réverbération (par rapport au calcul), lorsque l'absorption se concentre sur une seule zone, p. ex. sur le seul plafond. Cela peut être évité en appliquant, sur au moins une paroi, des traitements ayant un effet absorbant et/ou diffusant. Dans des cas critiques, on peut recourir à des calculs prévisionnels basés sur des méthodes statistiques élaborées (simulations utilisant un modèle mathématique ou physique). Une telle approche nécessite l'utilisation d'un logiciel de simulation pour l'acoustique des salles, ainsi qu'une expérience confirmée dans ce domaine et une bonne maîtrise de ce type d'outils. †

5 Installations de sonorisation pour la parole

Les installations de sonorisation pour la parole doivent répondre à des exigences bien spécifiques, qui diffèrent radicalement de celles qui concernent la sonorisation pour la musique. La planification, la réalisation et la mise en service ne peuvent être effectuées que par des spécialistes compétents. La planification fera appel à des moyens modernes (logiciel de planification) : Le concept de sonorisation retenu sera celui qui permet de créer les meilleures conditions du point de vue de l'intelligibilité de la parole.

La planification, la mise en service et l'exploitation des installations de sonorisation seront faites en conformité avec les recommandations de la SSA sur ce sujet [2]. Les exigences formulées dans ces recommandations doivent être respectées. Les minima figurant dans le tableau 2 ci-dessous s'appliquent au cas de l'intelligibilité de la parole.

6 Système d'écoute pour malentendants

En comparaison avec les personnes jouissant d'une bonne ouïe, les malentendants requièrent davantage de son direct par rapport au son réverbéré. Par conséquent, les installations de sonorisation utilisant des haut-parleurs ne sont, en général, guère indiquées pour ces derniers, une transmission directe du signal sonore étant de loin préférable dans le cas de personnes à l'ouïe déficiente. †

En présence d'une boucle inductive, les porteuses et porteurs d'appareils auditifs peuvent capter directement le signal provenant d'un orateur en commutant leur appareil auditif sur la position T. Les réflexions géométriques perturbatrices sont alors éliminées. La planification, la mise en service et l'exploitation des installations de ce type seront faites en conformité avec les recommandations de la SSA [2]. On trouvera des informations plus détaillées sur les systèmes d'écoute pour les malentendants dans une publication de l'IGGH. [4]

7 Sources / bibliographie

- [1] DIN 18041:2004-05, Hörsamkeit in kleinen bis mittelgrossen Räumen.
- [2] SSA. Installations de sonorisation pour la parole, Société suisse d'Acoustique 2001.
- [3] SIA 181, Protection contre le bruit dans le bâtiment.
- [4] Beschallungsanlagen, Höranlagen und Raumakustik. Schweizerische Fachstelle für behindertengerechtes Bauen. Zürich. 2002.
- [5] Ludowika Huber, Joachim Kahlert, Maria Klatt (Hg). Die akustisch gestaltete Schule: Auf der Suche nach dem guten Ton. Edition Zuhören Band 3, Vandenhoeck & Ruprecht 2002.

Les passages de la présente directive marqués d'un † sont cités de la norme DIN 18041 [1].

SGA 2004-09-21, traduction française: D. Geinoz

Type de local	Définition C_{50}	Common Intelligibility Scale C/I	Speech Transmission Index STI	Articulation Loss of Consonants Al_{cons}
Petit auditorium, salle de cours	= 0 dB	= 0,75	= 0,56	< 8 %
Salle de sport et piscine, occupée	= -2 dB	= 0,70	= 0,50	< 12 %

Tableau 2 Exigences selon DIN 18041, Tableau 2 4