

## 11. A FÍSICA NAS SUAS APLICAÇÕES

## L'ACOUSTIQUE DES SALLES

## a) Generalités

Jusqu'il y a une trentaine d'années, on n'attachait guère d'importance à la question qui fait l'objet de cet exposé. Sans doute, l'acoustique théorique pure suscitait l'intérêt d'éminents physiciens; mais, l'acoustique technique et ici nous pensons surtout à celle des constructions — était très négligée.

Les premières recherches qui débordèrent les cadres étroits de l'acoustique géométrique, remontent à 1853. Elles eurent comme auteur un médecin américain, J. B. Upham. Celui-ci plaide en faveur d'une investigation scientifique dans ce domaine et il formule le regret que les architectes et les chercheurs ne s'intéressent pas assez à une question aussi importante.

A la suite, il y eut les tentatives hésitantes de quelques expérimentateurs, puis, les publications plus importantes de Henry, Smith, Tyndal, Rayleigh et autres dont les travaux ont frayé la voie à l'ouvrage résolument novateur de W. C. Sabine.

Ce dernier, professeur à l'Université Harvard, commença, dès 1895, l'étude scientifique et systématiquement poursuivie, de l'acoustique des salles, au point de vue, surtout, de la réverbération. Les découvertes furent timidement appliquées par quelques architectes, avec un succès persistant. Pendant longtemps, l'ouvrage de W. C. Sabine resta la seule base vraiment solide pour l'application immédiate de l'acoustique à la construction et au revêtement des auditoriums. Mais, il arrivait encore trop souvent qu'on négligeât les données que l'expérimentation lui avait fait découvrir.

Pourtant, les travaux du précurseur Sabine ont porté des fruits. Après la première guerre mondiale, l'acoustique des constructions est devenue une science importante, une science promise à des développements de plus en plus considérables, vu le nombre, des problèmes théoriques et pratiques que posent les

exigences toujours plus impérieuses de la vie moderne.

L'objet de cet article est de montrer qu'il est, désormais, possible à un architecte de déterminer d'avance les qualités acoustiques d'un auditorium ou d'un bâtiment, et, dès lors, de calculer quels matériaux doivent être utilisés dans des circonstances bien définies.

Dans cette estimation, il faut d'abord se prémunir contre les bruits parasites qui se produisent aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur d'une salle d'audition. Il faut aussi assurer une audition nette et impeccable des sons, paroles ou musique.

Les facteurs qui, à cet égard, sont appelés à jouer un rôle dans une salle déterminée, sont, donc, le profil et le volume du local, sa capacité d'absorption et la valeur isolante de ses parois.

Considérons, succinctement, ces facteurs et voyons comment ils influent sur les qualités d'une salle.

*Profil de la salle.*

Déterminer quel est, pour une salle, le profil le plus avantageux c'est un problème d'acoustique géométrique. La question est de moindre importance quand il s'agit simplement d'amortir les sons afin de créer une atmosphère de calme et, ainsi, des conditions de travail favorables, dans un bureau ou un atelier par exemple. Mais, le problème peut revêtir une importance extrêmement grande quand il se pose pour une salle de concerts ou de conférence. Là, en effet, on exige que chaque phrase musicale soit perçue dans toute la riche variété de ses nuances. Il est indispensable, d'autre part, que tous les auditeurs puissent, sans effort, entendre les paroles des orateurs.

Il va de soi, que, dans les salles de conférences ou de concerts, la puissance du son doit être également répartie dans l'espace entier du local et qu'il faut éviter toute interférence.

Pour que le son direct et le son réfléchi se renforcent mutuellement, il faut que la différence des distances parcourues par les deux ondes n'excède pas 13 m. Si cette distance dépasse 20 m, des interférences gênantes se produisent et même des échos.

L'Albert-Hall de Londres, par exemple, est doté d'un profil si malencontreux, à cause, surtout, de sa haute voûte circulaire, qu'il est impossible d'y goûter n'importe quelle musique. Par contre, l'excellente acoustique de la salle Pleyel de Paris, est considérablement renforcée par la légère inclinaison des parois latérales de l'édifice et la forme parabolique de son plafond. Alors qu'antérieurement on s'était soucié seulement du profil du bâtiment, on tint compte aussi, après l'incendie de 1928, de la capacité d'absorption de la salle, si bien qu'aujourd'hui cette salle de concerts répond vraiment à, toutes les exigences de l'acoustique.

Au sujet de la question envisagée ici, on consultera avec fruit l'ouvrage de Bagenal et Wood (1).

#### *Capacité d'absorption de la salle.*

Dans l'acoustique des constructions, on appelle «Coefficient d'absorption» d'un panneau la fraction de l'énergie sonore incidente qui n'est pas réfléchi par lui. Le coefficient d'absorption d'un mur ou d'un objet est, généralement, exprimée en unités de «fenêtre ouverte». On admet, en effet, qu'une fenêtre ouverte laisse passer, donc absorbe, la totalité du son.

Ainsi, par exemple, un mur de 20 m<sup>2</sup> couvert d'un revêtement absorbant dont le coefficient d'absorption est de 0,40, produira une absorption totale de 8 m<sup>2</sup> (1).

Le pouvoir absorbant d'un matériau dépend de beaucoup de facteurs. Ceux-ci influent non seulement sur la capacité d'absorption à fréquence déterminée, mais aussi sur le cours de l'absorption en fonction de la fréquence.

Il est, donc, nécessaire de connaître la relation qui existe entre l'absorption et la fréquence, pour savoir si tel ou tel matériau entre en ligne de compte pour la solution pratique de l'un ou l'autre problème. Aussi, le coefficient d'absorption d'un matériau est-il souvent déterminé aux fréquences 128, 256, 512, 1024, 2048 et 4096 Herz.

A 123 Hz, par exemple, le coefficient d'une bonne matière absorbante ne dépassera, généralement, pas 0,30. Pour des fréquences plus élevées, il est rare que la valeur 0,90 soit dépassée. Les matériaux de construction ordinaires, tels le béton, la brique, le bois, le verre, etc., ont un coefficient inférieur à 0,10. Etoffes et tapis peuvent absorber de 5 à 60% d'après la fréquence et d'après la nature du tissu. Une personne adulte possède, en moyenne, une valeur d'absorption de 0,40 m<sup>2</sup>.

La capacité d'absorption d'une salle influera sur son temps de réverbération et sur l'intensité du son. La valeur acoustique d'un local est, donc; déterminée conjointement, par ces deux facteurs.

Le niveau sonore est exprimé en décibel, de la manière suivante:

$$s = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} = 10 \log_{10} \frac{\rho}{\rho_0}$$

Dans cette formule,  $I$  et  $\rho$  représentent respectivement l'intensité et la densité d'énergie perçue.  $I_0$  et  $\rho_0$ , les mêmes grandeurs à la limite d'audibilité d'une oreille normale. (Pour 1000 Hz,  $\rho_0 = 2,6 \cdot 10^{-20}$  Joules/cm<sup>3</sup> et  $I_0 = 9 \cdot 10^{-6}$  watt/cm<sup>2</sup>).

A titre d'illustration, voici les moyennes des niveaux de certains sons (2), (3):

Seuil de sensation:	0 db
Jardin tranquile:	20 db
Rue calme:	30-50 db
Conversation paisible:	40 db
Bruits moyens d'une habitation:	50 db
Rue commerçante très fréquentée:	60 db
Bureau bruyant:	70 db
Rue de très grande circulation;	75 db
Limite supérieure de l'ouïe (sensation douloureuse):	130 db

(1) Lorsque la surface est exprimée en pieds carrés, on donne le nom de «sabine» à une unité de fenêtre ouverte.

L'intensité du son diffusé dans une chambre sera, à l'état stationnaire, proportionnelle à la puissance de la source sonore et inversement proportionnelle à l'absorption totale du local. Si l'on peut, par exemple, rendre 20 fois plus grande la capacité d'absorption d'un bureau, grâce au placement d'un matériau absorbant, l'intensité du bruit y diminuera de 13 db; car,

$$10 \log \frac{I_1}{I_2} = 10 \log \frac{A_2}{A_1} = 10 \log 20 = 13.$$

*Réverbération.* Lorsque, dans un local, une source sonore cesse brusquement d'émettre de l'énergie, les ondes peuvent continuer quelque peu à être audibles. En effet, leur intensité ne diminue que progressivement par absorption à chaque répercussion sur les murs et les objets environnants. Ce phénomène est appelé réverbération.

Le temps de réverbération est, par définition, l'intervalle de temps durant lequel l'intensité d'un son non entretenu retombe jusqu'à 1 millionième de sa valeur durant lequel, donc, son niveau diminue de 60 db.

Le temps de réverbération d'un local dépendra de sa capacité totale d'absorption et de ses dimensions. On trouve (4):

$$R = k \frac{V}{-S \log_{10}(1 - \alpha)} \quad (\bar{K} = 0,071 \text{ sec./m.}).$$

Dans cette formule  $R$  est le temps de réverbération,  $V$  le volume du local,  $S$  la surface des parois absorbantes,  $\alpha$ , le coefficient moyen d'absorption,  $k$ , une constante dépendante de la forme du local. Dans presque tous les problèmes pratiques,  $k$ , peut être considéré comme égal à 0,071 sec./mètres <sup>(1)</sup>.

La réverbération détermine, dans une très large mesure, la valeur acoustique d'une salle. Le temps optimum de réverbération dépendra de l'usage auquel on destine le local.

#### *Isolation phonique*

Le passage du son à travers les murs d'une salle s'opère principalement par les

fissures et les ouvertures, par les vibrations propres des murs et des conduites et, en une certaine mesure, par conduction. Il importe de noter ici que fissures et ouvertures laissent passer une énergie sonore beaucoup plus considérable qu'on ne s'y attendrait. Si bien que c'est souvent une aberration de réaliser l'isolation phonique lorsque le bruit peut, tout de même, pénétrer facilement par les fentes des parois.

Au choc d'une onde sonore qui la frappe, une paroi se met à vibrer. Elle peut, alors, faire elle-même office d'émetteur sonore et dès lors, produire dans le local, un bruit parasite. Contre de pareilles transmissions de son, il y a un premier procédé: donner aux murs une épaisseur suffisante. En effet, la capacité d'isolement exprimée en db, est fonction linéaire du logarithme du poids par unité de surface du mur.

L'isolement peut être réalisé aussi par l'absorption du bruit dans les pores de matières poreuses. Inutile de dire qu'ici la capacité d'isolement est directement proportionnelle à l'épaisseur db la couche absorbante.

Dans les cas où il faut atteindre un très haut degré d'isolement le mieux est de combiner la perte par absorption dans des matériaux poreux avec la perte par inertie dans des murs en matériaux solides. On peut provoquer une perte d'énergie de 60 db en utilisant des panneaux relativement minces dont les intervalles sont remplis de matières absorbantes.

Le coefficient de transmission d'une paroi est la fraction d'énergie sonore incidente qui traverse cette paroi. La transmission totale peut, elle aussi, s'exprimer en unités de fenêtre ouverte (unités de surface), de nouveau, dans l'hypothèse qu'une fenêtre ouverte laisse passer tous les sons incidents. Naturellement, la formule de la transmission totale est  $T = \sum t_n S_n$ .

Dans cette formule,  $S_n$  est la surface dont  $t_n$  est le coefficient de transmission. Il est aisé de prouver que

$$I_1/I_2 = A/T$$

Ici,  $I_1$  est l'intensité du bruit à l'extérieur du local,  $I_2$  l'intensité du son parvenu dans

<sup>(1)</sup> Si  $\alpha$  est petit, la formule ci-dessus peut aisément se ramener à celle de Sabine:  $R = \frac{0,161V}{A}$  dans laquelle  $A = S\alpha$ , est l'absorption totale des parois.

la salle,  $A$  l'absorption totale de la chambre et  $T$  la transmission totale. La perte d'énergie, formulée en décibel, est, dès lors:

$$d = 10 \log_{10} \frac{A}{T}$$

Dans le tableau ci-dessus, on trouvera la limite supérieure du niveau sonore qui peut encore subsister dans des locaux déterminés sans effets gênants.

Il y a lieu de tendre à ce que l'isolement et l'absorption des salles soient adaptés à ces chiffres.

Studio pour prise de films ou de

disques de gramophone:	6- 8 db
Studio de radio:	8-10 db
Hôpital:	8-12 db
Salle de musique:	10-15 db
Appartement:	10-20 db
Theatre, auditoire, salle de lecture:	12-24 db
Cinéma:	15-25 db
Bureau particulier:	20-30 db
Bâtiment public:	25-40 db

## b) Acoustique de diverses salles

### 1. Auditoires.

La valeur acoustique d'une auditoire est déterminée, avant tout, par le degré de netteté, dès lors, de naturel, avec lequel sont entendues les paroles de l'orateur.

La netteté de l'audition, l'intelligibilité se mesure au cours d'expériences d'articulation. Des auditeurs prennent place à différents endroits de la salle; ils écrivent ce qu'ils entendent lorsqu'un orateur prononce distinctement des syllabes et des mots sans signification.

Le pourcentage moyen des mots qui son exactement perçus est le facteur d'articulation du local.

L'expérience démontre qu'un facteur de 85% correspond à une intelligibilité excellente. Si le facteur n'est que de 65 %, l'audition est fatigante. En dessous de 65 %, la netteté de l'audition est insuffisante. En pratique, on admet que, pour qu'un auditoire soit bon, le facteur d'articulation ne peut pas être inférieur à 75 %.

Ce facteur dépend de la forme de la salle, de l'intensité des bruits parasites, de l'intensité de l'élocution des orateurs et du temps de réverbération. Il résulte d'observations faites que dans les circonstances les plus favorables, on obtient un facteur d'articulation qui n'excède jamais 0,95 (5).

### *Influence da profil de la salle.*

Ce qui a été dit plus haut à propos de la forme d'une salle reste naturellement valable pour les auditoires, comme d'ailleurs pour tous les édifices où le public doit écouter discours ou musique. En général, on obtient une audition plus claire dans un local large et peu profond que dans une salle étroite et profonde. Dans de très grands auditoires, le facteur d'articulation sera toujours de 10 % inférieur à celui qu'on calcule en omettant de tenir compte de la forme du local. Dans de petits 'auditoires, le profil peut être choisi de façon à ne diminuer en rien le facteur d'articulation.

### *Influence du bruit.*

Il va de soi qu'un bruit parasite gêne la netteté de l'audition. Dans l'hypothèse où l'orateur perçoit aussi le bruit gênant, le facteur d'articulation diminuera en moyenne, suivant la relation approximative:

$$k = -(0,25) n \cdot k, \quad n < 1$$

Dans cette formule,  $n$  indique le rapport du niveau du bruit (en db) à celui des paroles perçues (i).

### *Influence du niveau sonore et de la réverbération*

Dans les conditions idéales de profil, de bruit et de réverbération, l'audition la plus claire s'obtient pour un niveau du son de 70 db (5). A vrai dire, la moyenne des orateurs n'atteignent pas cette valeur, sauf avec le secours d'amplificateurs.

Suivant les dimensions et l'absorption de l'auditoire, la puissance sonore d'élocution

(1) D'après les données de Knudsen (5).

pour un conférencier s'élèvera à une moyenne, de 45 à 55 db.

Il est évident que si le temps de réverbération est long, il influence défavorablement la clarté de l'audition. En effet, les sons non encore éteints troubleront ceux que produisent les mots suivants. Envisagée de la sorte, l'audition la plus claire serait obtenue avec un temps de réverbération le plus court possible. Mais une réverbération courte exige une grande absorption; et, celle-ci, à son tour, entraîne une baisse de la l'intensité du son; d'où, abaissement du facteur d'articulation. Il faut donc s'efforcer d'obtenir un temps de réverbération le meilleur possible, ou, ce qui revient au même, une absorption admissible.

Il est certain qu'un orateur est porté à adapter sa voix à la sonorité obtenue. Dans un grand auditoire, il parle d'une voix plus forte que dans un petit local. Lorsque, donc, on tient compte d'une part des données statisti-

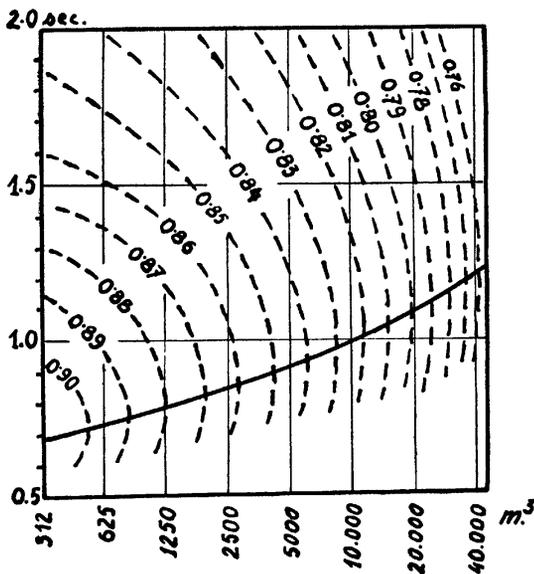


Fig. 1

ques rassemblées à ce sujet, et d'autre part, de l'influence de la sonorité et de la réverbération sur le facteur d'articulation qui peut aussi être déterminé quantitativement, on est à même de calculer la valeur optima de réverbération pour un auditoire de volume donné.

Dans la figure 1, le trait plein représente la valeur optima du temps de réverbération,

pour la fréquence 512 Hz et sans application, en fonction du volume d'un auditoire parfaitement calme et de profil parfait. Les traits en pointillé indiquent le facteur d'articulation pour une réverbération et un volume déterminé <sup>(1)</sup>.

Ainsi, nous en déduisons que pour un auditoire de 1250 m<sup>3</sup>, par exemple, l'audition la plus claire est obtenue pour un temps de réverbération de 0,8 sec. Le facteur d'articulation est alors, dans des circonstances idéales, 0,88. Pour une réverbération de 1,2 sec, le facteur tomberait à 0,87.

Si l'on admet qu'un facteur inférieur à 0,75 ne donne plus satisfaction, la figure ci-dessus montre que l'intelligibilité sera insuffisante dans des auditoires plus grands que 40.000 m<sup>3</sup>, du moins, lorsque le son n'y est pas amplifié.

Nous avons déjà dit que les résultats commentés ci-dessus concernent une fréquence de 512 Hz. Mais, il est normal qu'on désire conserver les caractéristiques de l'élocution naturelle dans laquelle les fréquences inférieures et supérieures sont moins fortement marquées. Dans ce cas, il faut faire en sorte que toutes les fréquences atteignent simultanément la limite d'audibilité. Les fréquences extrêmes devront, donc, être amorties plus lentement et elles devront avoir un temps de réverbération plus long.

Mais il y a lieu de tenir compte non seulement du spectre de la parole, mais aussi de la sensibilité de l'oreille humaine et de la capacité d'absorption de l'air qui joue un rôle dans le cas des hautes fréquences. Dès lors, on arrive à la conclusion que le meilleur rendement sera obtenu lorsque l'absorption totale de l'auditoire, exprimée en % de l'absorption idéale à 512 Hz, atteint les proportions suivantes (2)

à 128 Hz:	58 %
512 Hz:	100 %
2048 Hz:	95 %

(1) Déduite des données de Knudsen (5) (7).

(2) Ces chiffres ont été déduits des données de Mac Nair (6) et Knudsen (7).

## 2. Salle de concerts.

Il va de soi que le profil des salles de concerts doit être tel qu'il assure une distribution homogène de l'énergie sonore. Ici aussi, il y aura lieu de combattre autant que possible les bruits parasites.

Nous omettons, ici la question de la meilleure disposition de l'orchestre et des solistes. Il y a là, aussi, d'ailleurs, un problème d'acoustique géométrique

Pour déterminer le meilleur temps de réverbération, il faut s'en remettre absolument au jugement des musiciens. En effet: la valeur acoustique d'une salle de concert ne peut pas être exprimée par l'un ou l'autre facteur numérique, comme c'est, tant soit peu, le cas pour les salles de conférences.

Une salle de concert peut très bien être parfaitement appropriée à telle ou telle audition musicale; mais, se révéler moins adaptée à l'exécution impeccable d'un autre concert. Bach, par exemple, a composé sa musique en vue de l'église S. Thomas à Leipzig où le temps de réverbération est relativement court. Dès lors, les oeuvres de ce célèbre compositeur n'acquerront leur plein relief que dans une salle dotée des mêmes caractéristiques acoustiques. Sans doute, chaque morceau peut être l'objet d'une adaptation acoustique; et, la chose est, d'ailleurs, effectivement réalisée dans un studio. Mais, pour une salle de concert ordinaire, on se contentera d'un temps de réverbération moyen établi suivant l'avis d'experts musiciens dûment qualifiés. Sans doute les expériences en cours dans ce domaine doivent encore être poursuivies longtemps, mais, les résultats obtenus jusqu'ici donnent déjà satisfaction.

En se basant sur des principes théoriques ainsi que sur les résultats de mesure effectuées dans diverses salles d'Europe et des Etats-Unis, Knudsen (8) a calculé le meilleur temps de réverbération pour des salles de musique. La figure 2 reproduit ce temps de réverbération fonction de la capacité de la salle pour une fréquence de 512 Hz.

Pour les salles de concert, il est, certaine-

ment très important que la musique soit perçue dans toute la richesse du spectre sonore avec laquelle elle est émise. Si l'on tient compte du spectre moyen, l'absorption totale de la salle doit rester la même entre 512 et 4096 Hz, tandis qu'elle doit être environ 2,5 moindre par 128 Hz.

## 3. Studios

Dans les studios, le son est perçu par le microphone; si bien que l'on obtient le même effet que lorsqu'on écoute d'une seule oreille. De ce fait, il est impossible de concentrer la perception sur un son venant d'une direction déterminée. Il en résulte une réverbération apparemment plus grande et une audition renforcée de tous les sons, quelle que soit leur origine. C'est pourquoi, dans un bon studio, les bruits parasites ne peuvent pas dépasser 10 db.; tandis que le temps de réverbération ne peut être que les 2/3 du temps idéal des salles de musique et de conférences ordinaires.

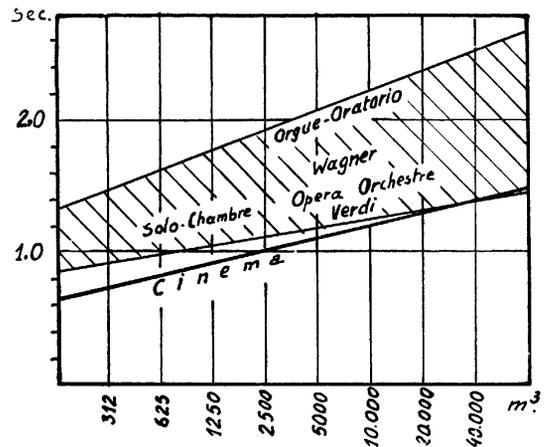


Fig. 2

Dans les studios modernes, on recourt à des panneaux ou à des draperies et, ainsi, on peut faire varier le temps de réverbération dans un grand intervalle (0,5 à 4 sec.).

## 4. Salles de cinéma

Dans les salles de cinéma, le niveau sonore peut toujours être porté à la valeur idéale de 70 db. En vue d'amener une bonne articulation, il faudra maintenir la réverbération aussi courte que possible. Ceci est d'autant

plus impérieux que la prise de sons, dans les studios, n'a pas été sans provoquer une certaine réverbération. Il importe, cependant, de se garder de toute exagération dans ce sens, afin de ne pas diminuer la richesse sonore de la musique.

Le temps idéal de réverbération est représenté en fonction de la capacité de la salle, pour la fréquence 512 Hz. (figure 2). Pour éviter la déformation du spectre sonore, l'absorption totale de la salle devra, pour 128 Hz, atteindre environ la moitié du pouvoir absorbant à 512 et à 2048 Hz.

### 5. Bureaux

Il n'y a pas grand intérêt à déterminer le temps de réverbération idéal pour des locaux à usage de bureaux. Ce qui importe surtout ici, c'est d'amortir le plus possible les bruits. Ceux-ci sont produits dans la salle elle-même (cliquetis des machines à écrire, sonneries du téléphone, etc....) ou bien, ils proviennent de l'extérieur et sont perçus dans la salle par suite du manque d'isolement.

Comme, dans un local clos l'intensité sonore est, de façon approximative, inversement proportionnelle à l'absorption totale, on visera, quand il s'agit d'un bureau bruyant, à porter au maximum la capacité d'absorption.

Voici les directions qui ont, généralement, donné satisfaction. Si le plafond est à une hauteur de 3 m. à 4,50 m. on le revêtira d'un matériau absorbant à coefficient moyen (128-512-2048 Hz) de 0,30 à 0,50. Si la voûte se trouve à une hauteur allant de 4,5 à 9 m., ce coefficient ira de 0,50 à 0,80. Pour des bureaux plus hauts encore ce n'est pas seulement le plafond, mais aussi le parois qu'on revêtira de matériaux absorbants. La capacité d'absorption de ces derniers restera, autant que possible, la même à partir de 512 Hz jusqu'aux fréquences supérieures. A 128 Hz, elle tombera à 1/3 ou 1/2 (d'après Knudsen (5)).

Il y a lieu d'accorder une attention particulière au fait que les bruits produits aux environs d'un bureau exercent une influence très défavorable sur la qualité et la quantité

du rendement fourni par le personnel qui y travaille. L'adaptation acoustique des bureaux, des centrales téléphoniques et autres locaux similaires entraîne, donc, comme conséquence, un accroissement notable de l'«efficacité» des employés. Nous renvoyons, à ce sujet, aux publications, notamment, de Laird (9), et de Wynne (10).

Pour illustrer notre exposé, voici encore

### Un exemple chiffré

Il s'agit d'une petite salle, d'une capacité de 1500 m<sup>3</sup>. Ses parois ont un développement de 900 m<sup>2</sup>. Une fraction de cette surface, soit 80 m<sup>2</sup> est garnie de tapis; une autre portion, soit 100 m<sup>2</sup>, est occupée par 300 sièges capitonnés. En outre, une partie (600 m<sup>2</sup>) consiste en matériau durs: bois, verre, etc... Les 120 m<sup>2</sup> restants sont susceptibles d'être revêtus de matières absorbantes. Il est possible de calculer quel doit être le coefficient d'absorption de ces matières, si l'on affecte cette salle à des conférences ou à des exécutions musicales.

D'après la figure 1, nous constatons que le temps idéal de réverbération pour la parole sera de 0,8 sec. dans un local de 1500 m<sup>3</sup>.

Comme la petite salle, dont il est question doit être appropriée également à des séances de musique, nous supposons un temps de réverbération de 1 sec. (v. fig. 2), dans l'hypothèse où la salle, remplie au 2/3 de sa capacité, est occupée par quelque 200 personnes.

La formule de réverbération

$$R = -0,071 \frac{V}{S \cdot \log_{10} 1 - \alpha}$$

dans laquelle  $R = 1$  sec.,  $V = 1500$  m<sup>3</sup>, et  $S = 900$  m<sup>2</sup>, nous donne  $\alpha = 0,24$  et  $A = S \cdot \alpha = 216$  m<sup>2</sup>.

L'absorption totale à 512 Hz doit donc s'élever à 216 m<sup>2</sup>. Si l'on désire assurer une audition naturelle et non déformée de la parole et de la musique, il faut que l'absorption ne dépasse pas 110 m<sup>2</sup> à 128 Hz (58 % pour la parole; 40% pour la musique) et à,

2048 Hz, 210 m<sup>2</sup> (respectivement 95% et 100%).

Le calcul se fait alors suivant le schéma suivant:

20 db., le facteur d'articulation diminuera dans la mesure suivante:  $k=0,25 \times 0,42 \times 0,87=0,09$ . Le restant, soit 0,78, est encore suffisant.

V = 1500 m <sup>3</sup>		S = 900 m <sup>2</sup>				
	128 Hz		512 Hz		2048 Hz	
Temps de réverbération . . . . .	—		1 sec		—	
Coefficient moyen . . . . .	—		0,24		—	
Absorption exigée: A = S · a . . . . .	110 m <sup>2</sup>		216 m <sup>2</sup>		210 m <sup>2</sup>	
Absorption	Coeff.	Totale	Coeff.	Totale	Coeff.	Totale
Tapis: 80 m <sup>2</sup> . . . . .	0,25	20 m <sup>2</sup>	0,45	36 m <sup>2</sup>	0,45	36 m <sup>2</sup>
Matériaux durs: 600 m <sup>2</sup> . . . . .	0,04	24 m <sup>2</sup>	0,04	24 m <sup>2</sup>	0,04	24 m <sup>2</sup>
Personnes: 200 . . . . .	0,18 m <sup>2</sup>	36 m <sup>2</sup>	0,40 m <sup>2</sup>	80 m <sup>2</sup>	0,47 m <sup>2</sup>	94 m <sup>2</sup>
(p. p. = par personne) . . . . .	p. p.		p. p.		p. p.	
Sièges capitonnés: 100 . . . . .	0,14 m <sup>2</sup>	14 m <sup>2</sup>	0,22 m <sup>2</sup>	22 m <sup>2</sup>	0,22 m <sup>2</sup>	22 m <sup>2</sup>
(p. s. = par siège) . . . . .	p. s.		p. s.		p. s.	
Absorption totale déjà réalisée . . . . .		94 m <sup>2</sup>		162 m <sup>2</sup>		176 m <sup>2</sup>
Reste à absorber . . . . .		16 m <sup>2</sup>		54 m <sup>2</sup>		34 m <sup>2</sup>
Coefficient correspondant par 120 m <sup>2</sup> . . . . .	0,13		0,45		0,28	

Si la surface de 120 m<sup>2</sup>, restée libre, est complètement garnie de matériau absorbant, celui-ci devra, donc, avoir le coefficient suivant: à 128 Hz:0,13 à 512 Hz:0,45; à 2048 Hz:0,28.

Mais il est possible que, par manque de matériau, ou par souci d'obtenir une répartition homogène du son, sans écho ni interférence, il soit nécessaire ou avantageux de ne revêtir qu'une partie de la surface restée libre. Supposons, par exemple, qu'on recouvre seulement 70 m<sup>2</sup>, de telle sorte que la surface totale en matériau dur soit ramenée à 650 m<sup>2</sup>. Dans ce cas, le coefficient d'absorption devra avoir, pour les trois fréquences, les valeurs respectives de 0,20, 0,74, et 0,46.

Si la salle est parfaitement tranquille et si la répartition du son est homogène, le facteur d'articulation, pour R=1 sec. sera d'environ 0,87 (voir figure 1).

Si les paroles prononcées sont perçues avec une puissance de 48 db., par exemple (qui sera atteinte par un orateur moyen dans pareille salle) et si les bruits parasites atteignent

## REFERENCES

- (1) BAGENAL and WOOD — *Planning for good acoustics*; Methuen, 1931.
- (2) R. H. GALT — *Journ. Acous. Soc. Am.*; 2, 30, 1930.
- (3) R. S. TUCKER — *Journ. Acous. Soc. Am.*; 2, 59, 1930.
- (4) C. F. EYRING — *Journ. Acous. Soc. Am.*; 1, 217, 1930.
- (5) V. O. KNUDSEN — *Architectural Acoustics*; New-York, London, 1932.
- (6) W. A. MAC NAIR — *Journ. Acous. Soc. Am.*; 1, 242, 1930.
- (7) V. O. KNUDSEN — *Journ. Acous. Soc. Am.*; 1, 58, 1929.
- (8) V. O. KNUDSEN — *Journ. Acous. Soc. Am.*; 2, 434, 193t.
- (9) D. A. LAIRD — *Journ. of Industr. Hygiene*; 9, 10, 1927.
- (10) S. W. WYNNE — *Journ. Acous. Soc. Am.*; 2, 12, 1930.

P. MARIENS

CENTRE D'ETUDE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE DU FROID, LOUVAIN