

Apport des acousticiens face aux troubles de la voix des enseignants

Lorsqu'il s'adresse à un groupe, tout locuteur est soumis à un réflexe naturel destiné à maintenir un rapport signal/bruit permettant la compréhension du message. Au moment où l'activité des occupants génère un niveau de bruit supérieur au niveau de bruit ambiant dans la salle non occupée, les locuteurs réagissent naturellement par une augmentation de leur niveau de voix en relation directe avec leur perception du niveau de bruit ambiant.

Notre structure s'appelle AIA : Audition Intelligibilité Acoustique. Nos projets concernent les études et réalisations acoustiques et électroacoustiques, ainsi que le développement d'outils et de solutions spécialement pour les salles dédiées à l'enseignement, et plus généralement les lieux destinés à des applications de parole (salles de classe, amphithéâtres, cantines, salles de conférence...).

Nous travaillons en particulier, en collaboration avec la CAAPS (Cellule Audition Acoustique de Paris Sud), liée au CNRS à Orsay. Dans le cadre de cette collaboration, nous avons réalisé plusieurs aménagements de salles et d'amphithéâtres à l'Université Paris Sud à Orsay dont une salle prototype dotée d'une acoustique passive étudiée spécialement pour le renforcement de l'intelligibilité, dotée également d'un système d'amplification de la voix et d'une boucle d'induction magnétique pour les malentendants. Concernant les aménagements effectués dans cette salle, ainsi que tous ceux que nous étudions dans différents établissements scolaires, il est important de notre point de vue qu'ils ne représentent pas un coût trop important afin de respecter les budgets des collectivités locales.

Notre intervention à l'expertise collective a pour objectif d'apporter un point de vue d'acousticiens dans le cadre de l'étude des troubles de la voix des enseignants, notamment en présentant notre expérience sur l'environnement acoustique quotidien dans les salles de classe. Il est reconnu que l'un des importants facteurs de risque pour les troubles de la voix des enseignants est un environnement acoustique défavorable dans les salles de classe, alors que cet environnement devrait au contraire être conçu pour porter naturellement la voix du locuteur.

Avant de traiter spécifiquement de l'effort vocal des locuteurs dans des environnements défavorables, nous présenterons un état global de l'environnement acoustique quotidien dans les salles de classe, les normes et recommandations qui s'y rattachent ainsi que les solutions passives et actives qui permettent de renforcer la voix du locuteur.

Brèves notions d'acoustique des salles de classe

Considérons un cours ayant lieu dans la nature, dans un environnement calme et en l'absence de tout obstacle au son. Dans ce cas, l'onde sonore émise par le locuteur se propage dans l'air, dans toutes les directions. Le son reçu par l'auditeur est la composante de l'onde sonore émise dans sa direction, soumise à une baisse de niveau liée à la distance. Cette onde sonore est appelée le son direct.

Les conditions sont sensiblement différentes si le cours a lieu dans une salle, et l'on peut parler de deux contributions supplémentaires.

Première contribution : le son réverbéré

Les parois de la salle jouent un rôle complexe sur les ondes sonores émises dans toutes les directions. Comme dans le cas de l'optique, les rayons sont en partie absorbés, réfléchis et diffractés pour arriver aux oreilles de l'auditeur avec une modification de leurs caractéristiques physiques et un retard. Globalement, toutes ces actions sur les ondes sonores peuvent être regroupées sous le terme « contribution de la salle », l'ensemble des composantes réfléchies peut être regroupé sous le terme « son réverbéré ». Parallèlement, l'auditeur perçoit toujours le son direct, identique à celui qu'il percevait dans la nature.

Deuxième contribution : le bruit global

À l'intérieur d'une salle de classe, on perçoit toujours une quantité plus ou moins importante de bruits. Comme le son émis par le locuteur, le bruit est modelé par la contribution de la salle. Donc l'auditeur reçoit un son global composé du son direct, du son réverbéré et du bruit global dans la salle, qui regroupe le bruit ambiant et le bruit généré par les occupants dans la salle.

Environnement acoustique particulier des salles de classe et sa réglementation

L'environnement acoustique de la classe dépend de plusieurs facteurs environnementaux et liés au locuteur.

Bruit

Dans le but de classer les différentes sources de bruit auxquelles les occupants des salles de classe sont confrontés quotidiennement, quatre grandes catégories de sources peuvent être distinguées :

- les sources environnementales, extérieures au bâtiment, citons par exemple les sources liées au transport, à la cour de récréation, aux tondeuses, aux travaux ;
- les sources liées aux installations techniques à l'intérieur du bâtiment, telles que le chauffage, la ventilation, les systèmes de projection ou les éclairages ;
- les sources liées aux personnes présentes à l'intérieur du bâtiment, citons notamment les passages dans les escaliers ou les couloirs ;
- les sources de bruit en salle occupée, c'est-à-dire générées par les élèves qui suivent le cours dans la salle, en particulier par leurs paroles, mouvements et chuchotements.

Les deux premières catégories de sources sont celles, hormis la cour de récréation, qui interviennent dans la mesure du bruit ambiant, telle qu'elle est définie dans les textes réglementaires.

La mesure de l'ensemble des quatre catégories de bruit correspond au niveau de bruit en salle occupée, qui est bien sûr la situation la plus réaliste rencontrée par les enseignants au quotidien.

Concernant les niveaux de bruit réglementaires et mesurés dans les salles de classe, pour ce qui est des niveaux de bruit ambiant, on mesure généralement un niveau compris entre 30 et 56 dBA (Bradley et coll., 1999 ; Hodgson et coll., 1999 ; Shield et Dockrell, 2004).

Les maxima réglementaires sont 43 dBA dans le cas d'un bruit intermittent pour l'arrêté du 25 avril 2003 en France, et compris entre 30 et 43 dBA selon le volume de salle pour les autres réglementations telles que les recommandations de l'*American Speech and Hearing Association*, de la *World Health Organization* ou de l'ANSI S12.60-2002 (voir références du tableau I).

Paradoxalement, les niveaux de bruit en salle occupée ne sont pas réglementés, ils représentent pourtant la réalité quotidienne vécue par les enseignants. On peut mesurer dans une salle de classe en situation de cours un niveau de bruit global pouvant atteindre 65 à 80 dBA selon le nombre d'élèves, le type d'activité et le niveau d'agitation.

Tableau I : Acoustique des salles de classe : réglementations et recommandations internationales

- Us general accounting office. "Report on condition of America's schools" GAO/HEHS-95-61, Feb. 1, 1995
- Digeste de la construction au Canada – CBD-92-F : L'acoustique des salles publiques (Canada – publié à l'origine en mai 1969) <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/cbd/cbd092f.html>
- Arrêté du 9 janvier 1995 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement (France - paru au Journal Officiel du 10 janvier 1995) <http://www.legifrance.gouv.fr/WAspad/Visu?cid=125065&indice=1&table=JORF&ligneDeb=1>
- Acoustics in educational settings : position statement and guidelines – Recommandations ASHA (États-Unis - 1994)
- Guide « La qualité acoustique des lycées et collèges », Ministère de l'environnement (France 1996)
- Acoustic Standards – School buildings – Swedish Council for Building research (Suède - Avril 1996)
- Guidelines for community noise –World Health Organization (WHO), Genève (Suisse 2000) http://www.who.int/environmental_information/Noise/
- Classroom Acoustics / A resource for creating learning environments with desirable listening conditions – ASA (États-Unis - Août 2000) <http://asa.aip.org/classroom/booklet.html>
- Standard AS/NZS 2107:2000 Acoustics – Recommended design sound levels and reverberation times for building interiors (Australie / Nouvelle-Zélande 2000) <http://www.standards.com.au/catalogue/script/details.asp?DocN=AS346389408742>
- ANSI S12.60-2002 : Acoustical Performance criteria, design requirements, and guidelines for schools (États-Unis - Juin 2002)
- Intelligibilité de la parole dans les salles de classe – Recommandation BIAP (Bureau International d'Audiophonologie) 09/10-4 (Belgique - Février 2003) <http://www.biap.org/recom09-10-4.htm>
- Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement (France - paru au Journal Officiel du 28 mai 2003) <http://www.legifrance.gouv.fr/WAspad/Visu?cid=330470&indice=1&table=JORF&ligneDeb=1>
-

Temps de réverbération

Pour ce qui est du temps de réverbération dans les salles de classe, on peut le mesurer de 0,3 s jusqu'à des valeurs telles que 3 s, alors que la réglementation française donne une fourchette entre 0,4 s et 0,8 s ou entre 0,6 s et 1,2 s selon le volume de la salle (Brüel, 1994 ; Bistafa et Bradley, 2000 et 2001 ; Hodgson et Nosal, 2002). Les recommandations internationales donnent une limite maximale allant de 0,4 s à 1,2 s selon le volume. Il est toutefois reconnu aujourd'hui qu'un temps de réverbération trop court peut être à l'origine d'autres problèmes liés à des niveaux de voix trop faibles lorsque la distance entre le professeur et l'élève est élevée, ce qui est inacceptable. Il devrait être souligné qu'actuellement, les *designs* architecturaux et acoustiques élaborés dans un objectif d'intelligibilité de la parole cherchent à atteindre un temps de réverbération optimisé et non simplement réduit. Les études scientifiques nous mettent en garde contre un comportement de diminution abusif du temps de réverbération (Bradley, 1986 ; Bradley et coll., 2003).

L'objectif est d'obtenir un niveau de voix élevé au fond de la salle, de ce fait il est nécessaire d'éviter une trop forte absorption dans la salle. Par ailleurs, les résultats de certaines études menées dans les salles de classe ont démontré scientifiquement la pauvreté acoustique de la plupart de celles-ci (Makrinenko, 1994 ; Hodgson, 1999 et 2002 ; Crandell et Smaldino, 2000 ; Sutherland et Lubman, 2000 ; Schmid et Thibault, 2001 ; Nelson, 2003). Ceci a abouti à une prise de conscience des autorités scientifiques et des gouvernements de différents pays et à l'élaboration de normes ou recommandations relatives à l'acoustique des salles de classe.

Niveau de voix du locuteur

Si l'on considère maintenant le niveau de la voix du locuteur, il faut prendre en considération l'atténuation du niveau avec la distance, la directivité de la voix, le sexe du professeur et la réverbération.

Les niveaux mesurés varient entre une voix faible et une voix forte, de 55 dBA à 80 dBA à 1 m en face du professeur (Bistafa et Bradley, 2001). La limite inférieure acceptée pour le niveau de voix dans les salles de classe est 50 dBA. Cette limite est considérée comme étant très faible, mais toutefois acceptable. Par exemple, le niveau de voix perçu par un élève assis au dernier rang (à 10 m du professeur) serait de 50 dBA dans le cas où la voix du professeur serait maintenue à un niveau de 65 dBA à 1 m.

Réaction naturelle de l'enseignant à un environnement acoustique défavorable : l'effet Lombard

Les travaux d'Étienne Lombard, en 1911, ont permis d'observer la tendance naturelle d'un locuteur à hausser le niveau de sa voix en présence d'un certain niveau de bruit ambiant. Ce réflexe, nommé « l'effet Lombard », est lié au désir de communiquer dans les meilleures conditions possibles, et de délivrer le message avec succès. Il a été démontré qu'une augmentation progressive du niveau de bruit environnant autour d'un locuteur provoquait un accroissement naturel de son niveau de voix. L'effort vocal de l'enseignant est donc lié au niveau de bruit dans la salle de classe occupée.

Réaction naturelle de l'enseignant à la dégradation de l'intelligibilité : l'effort vocal

L'effort vocal s'opère naturellement dès qu'il y a éloignement de l'interlocuteur. C'est sur la variation de ce paramètre que des études scientifiques ont observé les modifications acoustiques du signal de parole en fonction de l'effort vocal (Liénard, et coll., 1999 ; Traummüller et Erikson, 2000). Celui-

ci s'ajuste également en présence d'un environnement acoustique défavorable, pour tenter de compenser la dégradation de l'intelligibilité du message.

L'effort vocal est non seulement caractérisé par une hausse du niveau sonore de la voix, mais également par une modification des paramètres acoustiques du signal, comme par exemple l'élévation de la fréquence fondamentale et de la fréquence de certains formants, ou la modification de la durée des consonnes et des voyelles.

Effets de la contribution acoustique de la salle sur l'intelligibilité de la parole

Un bon nombre d'études scientifiques a été réalisé depuis les années 1920 sur le thème de l'acoustique des salles et l'intelligibilité (Knudsen, 1925 et 1929 ; French et Steinberg, 1949 ; Haas, 1951 ; Thiele, 1953 ; Lochner et Burger, 1958a et b ; Ryter, 1962 ; Peutz, 1971 ; Finitzo-Hieber et Tillman, 1978 ; Steeneken et Houtgast, 1980 ; Houtgast et Steeneken, 1984 et 1985 ; Davis, 1986 ; Llopis Rena et Sancho, 1988 ; Davis et Davis, 1997 ; Greenberg et coll., 1998). Elles ont conclu que les deux facteurs les plus nuisibles à l'intelligibilité sont le bruit et la réverbération.

Le bruit comporte généralement des composantes dont la fréquence est variée. Il est donc susceptible, notamment en ce qui concerne ses composantes de fréquence basse, de masquer toutes informations logées dans des fréquences un peu plus élevées. En outre, il est prouvé que le bruit provoque une fatigue et a une influence non négligeable sur la concentration. Dans une salle, nous percevons le bruit tel qu'il arrive de façon directe à nos oreilles, mais aussi le bruit tel qu'il a été modelé par la salle. Dans ce cas, les phénomènes que l'on vient de décrire sont amplifiés par la réverbération et les résonances.

La réverbération, quant à elle, procure un effet de lissage temporel sur la parole, atténuant les transitoires, c'est-à-dire les consonnes, tout en conservant l'énergie des voyelles. Les résonances entretenues dans la salle ont un rôle amplificateur pour certaines fréquences. Généralement ces fréquences sont très basses, ce qui renforce le phénomène de l'effet de masque sur les fréquences plus hautes.

Solutions spécifiques pour l'amélioration de l'environnement acoustique dans les salles de classe

Deux types d'aménagements peuvent être envisagés : les aménagements acoustiques passifs et les équipements électroacoustiques.

Aménagements acoustiques passifs

Une amélioration efficace des conditions acoustiques dans les salles de classe est possible dans la plupart des cas, à des coûts abordables, afin d'accroître le confort auditif et donc diminuer l'effort vocal pour le professeur, et d'améliorer la compréhension et les aptitudes de concentration des élèves.

Concernant la diminution des niveaux de bruit, il est possible d'atténuer les bruits intrusifs par un renforcement de l'isolation phonique, et de limiter la gêne relative aux équipements techniques en modifiant leur installation. Concernant le contrôle de la réverbération, il est possible de poser des panneaux acoustiques semi-absorbants en prenant soin de ne pas trop diminuer le temps de réverbération. Ce type d'aménagement permet de plus une absorption du bruit généré par les élèves. Un dernier type de traitement, très important, est le renforcement des premières réflexions (dont le délai d'arrivée aux oreilles est inférieur à 50 ms), qui ont pour rôle de renforcer naturellement la voix et l'intelligibilité du message, et donc permettent de diminuer l'effort vocal du professeur.

Équipements électroacoustiques

Des solutions électroacoustiques complémentaires sont envisageables, mais il faut savoir qu'une installation électroacoustique dans une salle où l'acoustique passive n'est pas adaptée ne donnera pas les résultats espérés en terme d'intelligibilité du message.

Nous parlons de système électroacoustique d'amplification de la voix et non de sonorisation. En effet, ces systèmes n'ont pas pour rôle de sonoriser en amplifiant excessivement le message. Ils doivent être conçus pour restituer la parole de façon naturelle, afin que l'auditeur ressente un réel confort par rapport à la clarté du message, sans percevoir la présence d'une quelconque amplification. Le locuteur doit pouvoir sentir sa voix réellement portée, sans aucun effort vocal, et sans aucune gêne relative à des échos ou à l'effet Larsen.

Une solution complémentaire consiste en l'installation dans la salle d'une boucle d'induction magnétique, permettant une restitution par voie électromagnétique du signal vocal capté, pouvant être réceptionné par les élèves malentendants sur une bobine d'induction présente dans la plupart des aides auditives, ou dans des casques spécifiques.

Salles de classe : élèves soumis à l'effet Lombard

Le niveau du bruit dans la salle de classe occupée dépend de plusieurs facteurs :

- le nombre d'élèves ;
- le type d'activité ;
- le comportement des élèves, c'est-à-dire leur niveau d'agitation ;
- l'acoustique de la salle (réverbération, résonances, échos, réflexions...).

Les niveaux de bruit sont relatifs à la réverbération : l'énergie réverbérée du bruit généré par les élèves et celle de la voix de l'enseignant représentent des contributions supplémentaires au niveau total de bruit.

De même que la voix de l'enseignant, les paroles et chuchotements émis par les élèves dans la classe sont soumis à l'effet Lombard, c'est-à-dire que les niveaux qu'ils émettent sont soumis à un accroissement qui s'auto-alimente. Il a été observé que les enfants sont plus sensibles à l'effet Lombard que les adultes (un accroissement allant jusqu'à 13,9 dB a été mesuré).

Par ailleurs, il a été montré que les enfants étaient moins aptes que les adultes à la compréhension de la parole dans le bruit, du fait de l'immaturation de leur système auditif, et en particulier de leurs facultés de discrimination. Ils ressentent plus rapidement la fatigue liée à la forte concentration nécessaire dans le bruit (Cohen et coll., 1972 ; Bronzaft et McCarthy, 1975 ; Lukas et coll., 1981 ; Bronzaft, 1982 ; Crandell et Smaldino, 1996 ; Evans et Maxwell, 1999). De plus, avant la fin de l'adolescence, ils n'ont pas encore développé le décodage associatif des mots et phrases, ni le sens du flux relationnel des idées (Flavell, 1977). Cette différence explique pourquoi les adultes sont plus aptes à saisir le sens général des phrases dans le contexte, en particulier dans le cas où de grandes parties du message ont été inintelligibles. Les enfants sont perdus dès que quelques mots ou phonèmes ne sont pas complètement compris.

L'effet Lombard apporte par conséquent une contribution aux paroles et chuchotements de bas niveau des élèves dans la classe. Le locuteur adulte s'efforce de hausser le niveau de sa voix pour atteindre 12 à 15 dB de rapport signal/bruit, alors que les enfants ont un objectif de rapport signal/bruit plus élevé. On observe des variations cycliques des niveaux dans la classe : quand l'auditoire devient moins attentif à cause de la fatigue liée à la concentration pour comprendre la parole dans le bruit, ses bruits et chuchotements ont tendance à augmenter, ce qui renforce encore plus le niveau de bruit environnant.

Dans certains cas, l'enseignant parle plus fort, et les élèves s'accoutument à ce nouveau niveau moyen de parole. Ce réflexe est quelque peu similaire à celui nommé « effet café ». L'effet café est le réflexe naturel des groupes de personnes se trouvant dans des endroits publics à parler de plus en plus fort, alors que les groupes environnants font de même.

Difficultés des enseignants et des élèves dans les salles de classe

Les enseignants ressentent naturellement les difficultés de perception des flux d'idées éprouvées par les élèves. Dans les salles de classe représentant un environnement acoustique défavorable, ils font l'effort d'offrir un niveau de voix qui permette une compréhension claire du message.

Le bruit provoque la limitation de :

- la compréhension du message ;
- l'endurance des auditeurs ;
- l'endurance des locuteurs.

Actuellement, tous les enseignants sont soumis en permanence à un effort vocal dans les environnements bruyants et réverbérants (Pearsons et coll., 1976). De plus, les enfants génèrent un niveau de bruit plus élevé dans ce type d'environnement à cause de l'effet Lombard. En conséquence, les chances de réussite scolaire sont diminuées dans les environnements acoustiques d'enseignement défavorables, et tous les occupants, enseignants comme élèves, souffrent de cette situation (Erdreich, 1999).

En conclusion, l'environnement acoustique idéal pour l'enseignement offre à tous les élèves des avantages pour l'apprentissage et permet d'éviter à l'enseignant de fournir un effort vocal dans le contexte d'un style normal de salle de classe. Il regroupe les conditions suivantes :

- une salle très calme dans des conditions d'occupation normales ;
- un niveau de voix suffisamment fort à chaque position d'écoute (sans amplification électronique) ;
- un confort ressenti par l'enseignant quel que soit le type d'activité ;
- une tendance des élèves à rester calmes, à prolonger naturellement l'attention et à avoir une bonne concentration.

Les bénéfices apportés par les solutions d'aménagement acoustique sur la compréhension du message et par conséquent le confort vocal des locuteurs favorisent totalement l'activité d'apprentissage pour tous.

Quelques astuces pratiques pour l'amélioration de la transmission du message parlé dans les salles de classe :

- l'utilisation systématique de l'estrade ;
- l'ameublement de la salle avec des bibliothèques, des rideaux ;
- éviter des solutions de ventilation telles que l'ouverture des fenêtres et des portes, ce qui permet l'intrusion du bruit. Les salles calmes sont des salles saines pour apprendre ;
- éviter d'envisager des rénovations arbitraires des salles de classe ;
- les proportions géométriques des salles de classe sont plus avantageuses pour la transmission de la parole quand elles sont plus profondes que larges.

En effet, la directivité de la voix, associée au mouvement du locuteur lorsqu'il parle, est la raison du désavantage associé aux salles plus larges ;

- les traitements muraux doivent être choisis avec soin pour l'optimisation de l'intelligibilité ;
- éviter les meubles pouvant être à l'origine de bruits additionnels, et de faible confort. Équiper les pieds de tables et de chaises de tampons en caoutchouc, graisser les ouvertures des portes et les fenêtres, remplir la partie vide de l'estrade à l'aide de matériaux absorbants.

Line Guerra, Sooch San Souci
Audition Intelligibilité Acoustique,
Université Paris-Sud

BIBLIOGRAPHIE

BISTAFA SR, BRADLEY JS. Reverberation time and maximum background-noise level for classrooms from a comparative study of speech intelligibility metrics. *J Acoust Soc Am* 2000, **107** : 861-875

BISTAFA SR, BRADLEY JS. Predicting reverberation times in a simulated classroom. *J Acoust Soc Am* 2000, **108** : 1721-1731

BISTAFA SR, BRADLEY JS. Predicting speech metrics in a simulated classroom with varied sound absorption. *J Acoust Soc Am* 2001, **109** : 1474-1482

BRADLEY JS. Speech intelligibility studies in classrooms. *J Acoust Soc Am* 1986, **80** : 846-854

BRADLEY JS, REICH RD, NORCROSS SG. On the combined effects of signal-to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility. *J Acoust Soc Am* 1999, **106** : 1820-1828

BRADLEY JS, SATO H, PICARD M. On the importance of early reflections for speech in rooms. *J Acoust Soc Am* 2003, **113** : 3233-3244

BRONZAFT AL. The effect of a noise abatement program on reading ability. *J Environ Psychol* 1982, **1** : 215-222

BRONZAFT, AI, MCCARTHY DP. The effect of elevated train noise on reading ability. *Environ Behavior* 1975, **7** : 517-528

BRÜEL PV. Intelligibility in classrooms. *Journal de physique IV colloque C5*, supplément au *Journal de physique III* 1994, **4** : 131-134

COHEN S, GLASS DC, SINGER JE. *Urban stress. academic press, New York, 1972*

CRANDELL, CC, SMALDINO JJ. Speech perception in noise by children for whom english is a second language. *Am J Audiol* 1996, **5** : 47-51

CRANDELL, CC, SMALDINO JJ. Classroom acoustics for children with normal hearing and with hearing impairment. *LSHSS* 2000, **31** : 362-370

- DAVIS CP. Measurement of % alcons. *J. Audio Eng Soc* 1986, **34** : 905-909
- DAVIS D, DAVIS C. Sound system engineering, second edition. Elsevier, 1997 : 665p
- ERDREICH J. Teaching in the dark. *Cefbi Brief* 1999 : 1-4
- EVANS GW, MAXWELL L. Chronic noise exposure and reading deficits: the mediating effects of language acquisition. *Environ Behavior* 1999, **29** : 638-656
- FINITZO-HIEBER T, TILLMAN T. Room acoustical effects on monosyllabic word discrimination ability for normal and hearing impaired children. *J Speech And Hear Res* 1978, **21** : 440-448
- FLAVELL JH. Cognitive development. Englewood Cliffs, Nj Prentice-Hall, 1977
- FRENCH NR, STEINBERG JC. Factors governing the intelligibility of speech sounds. *J Acoust Soc Am* 1949, **19** : 90-119
- GREENBERG S, TAKAYUKI A, SILIPO R. Speech intelligibility derived from exceedingly sparse spectral information. *ICSLP* 1998 : 2803-2806
- HAAS H. On the influence of a single echo on the intelligibility of speech. *Acustica* 1951, **1** : 49-58
- HODGSON M, REMPEL R, KENNEDY S. Measurement and prediction of typical speech and background-noise levels in university classrooms during lectures. *J Acoust Soc Am* 1999, **105** : 226-233
- HODGSON M. Experimental investigation of the acoustical characteristics of university classrooms. *J Acoust Soc Am* 1999, **106** : 1810-1819
- HODGSON M, NOSAL EM. Effect of noise and occupancy on optimal reverberation times for speech intelligibility in classrooms. *J Acoust Soc Am* 2002, **111** : 931-939
- HODGSON M. Rating, ranking, and understanding acoustical quality in university classrooms. *J Acoust Soc Am* 2002, **112** : 568-575
- HOUTGAST T, STEENEKEN H. A multi-language evaluation of the rasti-method for estimating speech intelligibility in auditoria. *Acustica* 1984, **54** : 185-199
- HOUTGAST T, STEENEKEN H. A review of the mtf concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria. *J Acoust Soc Am* 1985, **77** : 1069-1077
- KNUDSEN VO. The effect of reverberation upon the quality of speech. *Phys Rev* 1925, **26** : 281-288
- KNUDSEN VO. The hearing of speech in auditoriums. *J Acoust Soc Am* 1929, **1** : 56
- LIÉNARD JS, DI BENEDETTO MG. Effect of vocal effort on spectral properties of vowels. *J Acoust Soc Am* 1999, **106** : 411-422
- LLOPIS RENA A, SANCHO J. The influence of room shape on speech intelligibility in rooms with varying ambient noise levels. *Noise Control Eng J* 1988 : 173-179
- LOCHNER JPA, BURGER JF. Optimum reverberation time for speech rooms based on hearing characteristics. *Acustica* 1958a, **8** : 1

LOCHNER JPA, BURGER JF. The subjective masking of short-time delayed echoes by the primary sound and their contribution to the intelligibility of speech. *Acustica* 1958b, **8** : 1

LUKAS JS, DUPREE RB, SWING JW. Effects of noise on academic achievement and classroom behavior. Office of noise control, cal. Dept. of health services, FHWA/CA/DOHS-81/01, sept 1981

MAKRINENKO LI. Acoustics of auditoriums in public buildings. Acoustical Society of America– AIP 1994

NELSON P. Children's need for favorable acoustics in schools. ASA tutorial, 2003

PEARSONS K, BENNETT RS, FIDELL S. Speech levels in various noise environments. Prepared for Office Of Resources And Development, Environmental Protection Agency. Bolt Beranek and Newman inc. 1976, Report N° 328

PEUTZ V. Articulation loss of consonants as a criterion for speech transmission in a room. *J Audio Eng Soc* 1971, **19** : 915

RYTER KD. Methods for the calculation of the articulation index. *J Acoust Soc Am* 1962, **34** : 11

SCHMID C, THIBAUT LEL. Classroom acoustics. success through partnering between a scientific society and the US Government. Proceedings, ICA, Rome, Italy, aug 2001

SHIELD B, DOCKRELL JE. External and internal noise surveys of london primary schools. *J Acoust Soc Am* 2004, **15** : 730–738

STEENEKEN HJM, HOUTGAST T. A physical method for measuring speech-transmission quality. *J Acoust Soc Am* 1980, **67** : 318-326

SUTHERLAND L, LUBMAN D. Overcoming acoustic barriers to learning. Report on the asa/ansi standard on classroom acoustics. Fican symposium, effects of aviation noise on children's learning, San Diego, Feb. 2000

THIELE R. Richtungsverteilung und zeitfolge der schallruckwurfe in raume. *Acustica* 1953, **3** : 291

TRAUNMÜLLER H, ERIKSSON A. Acoustic effects of variation in vocal effort by men, women, and children. *J Acoust Soc Am* 2000, **107** : 3438-3451