

Prédiction des conditions sonores dans les salles de classe au moyen des caractéristiques physiques de l'environnement

Sylvie A. Bilodeau, Raymond Héту,
Groupe d'acoustique de l'Université de Montréal
C.P. 6128, Succursale "A"
Montréal, Qué. H3C 3J7

SOMMAIRE

Une recherche-terrain a été menée dans 50 classes de six écoles primaires de l'île de Montréal dans le but d'identifier des conditions physiques susceptibles de prédire l'intelligibilité de la parole dans les classes. Un modèle empirique fondé sur l'évaluation du rapport signal-bruit en dBA et de la durée de réverbération à 1000 Hz [Bradley, J. Acoust. Soc. Am., 1986: 846-854] a été utilisé. Trois variables ont été identifiées comme étant prédictives d'une intelligibilité de la parole optimale dans les classes soient l'absence de bruit de ventilation, la fermeture des aires par des cloisons complètes et la présence de tuiles acoustiques au plafond.

ABSTRACT

A field study has been conducted in 50 classrooms from 6 primary schools in Montreal in order to identify physical characteristics that would predict speech intelligibility in classrooms. An empirical model founded on the evaluation of the signal-to-noise ratio in dBA and of the reverberation time at 1000 Hz [Bradley, J. J. Acoust. Soc. Am. 1986, 80: 846-854] has been used. Three variables have been identified as predictors of an optimal speech intelligibility in classrooms, namely the absence of ventilation noise, the enclosure of the rooms by complete partitions and the presence of acoustic tiles on the ceiling.

INTRODUCTION

En raison des activités d'enseignement qui se déroulent dans les salles de classe, il est essentiel d'y trouver d'excellentes conditions de propagation de la parole. Pour une intelligibilité de la parole favorable aux apprentissages des enfants, le niveau de bruit doit être faible et la réverbération de courte durée.

Plusieurs auteurs^{1,2} rapportent que l'exposition à un niveau de bruit élevé peut entraver le développement de la parole et du langage chez l'enfant, pouvant ultérieurement se traduire par des difficultés au niveau de la lecture et des habiletés d'écoute. D'autre part, on sait que la discrimination de la parole décroît avec l'augmentation de la durée de la réverbération dans un local et ce, de façon plus marquée chez les enfants que chez les adultes^{3,4}.

Au plan pratique, il est nécessaire de savoir si les nombreux locaux d'enseignement de notre système scolaire satisfont des critères optimaux d'intelligibilité. L'intelligibilité de la parole

dans un local peut être mesurée de façon directe en appliquant une épreuve de discrimination auditive auprès d'un groupe d'individus. Pour évaluer l'intelligibilité de la parole dans plusieurs locaux tels les salles de classe, les tests de discrimination auditive doivent être effectués auprès de groupes homogènes d'individus, soient des enfants dont l'âge, l'origine socio-économique, les habiletés d'apprentissage et l'acuité auditive sont similaires. Ainsi, nombreux sont les facteurs à contrôler dans l'application d'une mesure directe d'intelligibilité de la parole.

Une estimation de l'intelligibilité de la parole peut être faite en s'appuyant sur les résultats d'études mettant en relation des mesures d'intelligibilité de la parole et des descripteurs d'ambiances sonores nuisibles.

On dispose ainsi de six prédicteurs de l'intelligibilité de la parole:

- le niveau de pression acoustique pondéré A du bruit⁵,
- le niveau perturbateur de l'intelligibilité (Speech Interference Level)⁶,
- l'indice d'intelligibilité (Articulation Index)⁷,
- le rapport signal-bruit en dBA (S/N (A))⁸,
- la fonction de transfert de modulation (Speech Transmission Index)⁹,
- le ratio utile/nuisible du signal (useful/detrimental ratio)⁸.

Lors d'une étude comparative, Bradley¹⁰ a mis en évidence une efficacité pratiquement équivalente de plusieurs prédicteurs de l'intelligibilité de la parole dans les salles de classes. Dans ce contexte, le prédicteur le plus facile d'application est le rapport signal-bruit en dBA couplé à une mesure de la durée de réverbération. Bradley a obtenu une corrélation de 0,81 entre, d'une part, le rapport S/B en dBA associé à une mesure de la durée de réverbération dans la bande d'octave de 1kHz et, d'autre part, les pourcentages d'intelligibilité de la parole obtenus auprès d'enfants de 12-13 ans. Pour des enfants de cet âge, Bradley a de plus relevé qu'un niveau de bruit de fond inférieur à 35 dBA et une durée de réverbération entre 0,4 et 0,5 seconde dans la bande d'octave centrée à 1 kHz sont nécessaires pour une intelligibilité de la parole excellente (100%) dans les salles de classe.

Bien qu'il soit facile pour un acousticien d'évaluer la conformité d'un local avec ces critères, il faudrait un temps et des investissements importants pour évaluer l'ensemble des locaux d'un système scolaire donné. C'est pourquoi nous avons, dans la présente étude, cherché à déterminer des caractéristiques des locaux à la fois faciles à identifier pour un non-acousticien et prédictives de bonnes conditions d'intelligibilité verbale.

BUT DE LA RECHERCHE

L'étude avait pour but d'éprouver l'hypothèse selon laquelle, dans les classes, l'identification des conditions d'aménagement et des sources de bruit intrusif (circulation, activités des locaux adjacents, etc.) permet de prédire l'intelligibilité de la parole telle qu'évaluée au moyen du rapport signal-bruit et de la durée de réverbération.

METHODOLOGIE

Locaux visités

Cette recherche exploratoire fut menée entre les mois de janvier et avril 1987 dans 50 classes réparties en six écoles primaires de l'île de Montréal. Le choix des écoles a été effectué

en tâchant de maximiser les différences en termes de conditions d'aménagement et d'exposition à des sources de bruit extérieur. Le Tableau I résume les principales caractéristiques des écoles recrutées. Ainsi, l'échantillon comptait notamment deux écoles à aires ouvertes construites récemment et une école âgée de plus de 60 ans, ces dernières étant localisées près d'artères jugées achalandées par la direction de l'école; les trois autres écoles étaient peu exposées au bruit de circulation urbaine, mais l'une d'elle était située dans l'axe d'un corridor aérien. Une seule école déservait une clientèle socio-économiquement favorisée (tel que définie selon la classification de la Commission scolaire). La taille des écoles variait pour les extrêmes par un facteur légèrement supérieur à deux, soient 550 enfants par rapport à 235.

Tableau I. Caractéristiques des écoles visitées en termes d'âge de la construction, d'ouverture ou de fermeture des aires, de taille et de classification socio-économique de la clientèle ainsi que de l'achalandage routier et aérien environnant.

Ecole	Age (ans)	Aires	Milieu socio-économique	Nombre d'enfants	Circulation routière	Circulation aérienne
A	16	ouvertes	faible	450	achalandée	négligeable
B	16	ouvertes	faible	250	achalandée	négligeable
C	47	fermées	favorisé	235	négligeable	négligeable
D	69	fermées	faible/moyen	300	achalandée	peu achalandée
E	24	fermées	faible/moyen	334	négligeable	achalandée
F	64	fermées	hétérogène	550	peu achalandée	peu achalandée

Dans chaque école recrutée, trois types de données furent recueillies soient: (a) des commentaires des enseignants sur les conditions sonores de leur classe et l'aménagement habituel du local lors des périodes d'enseignement, (b) des observations sur les caractéristiques visibles des parois (e.g. présence de tuiles acoustiques au plafond), sur l'aménagement du local (e.g. disposition du mobilier) et sur les sources de bruit audible (e.g. bruit de conduite d'eau) et (c) des mesures du niveau de bruit de fond, de la durée de réverbération, des dimensions des locaux et des distances maximales entre le locuteur et le récepteur.

Mesures acoustiques

Les niveaux de bruit de fond furent mesurés à l'aide d'un sonomètre intégrateur Brüel and Kjaer (BK 2225) muni d'un microphone à condensateur d'un demi pouce (BK 4175), le tout calibré à l'aide d'une source étalon (BK 4230) avant et après chaque série de mesures. Le sonomètre était opéré en fonction $L_{Aeq,60s}$ et tenu à l'horizontal à un mètre du sol.

Dans un premier temps, entre 5 et 15 relevés de bruit furent effectués dans chaque classe afin d'obtenir une mesure fiable du bruit de fond, le critère étant une différence moyenne d'au plus 2 dB entre les relevés. Si des mesures réalisées une semaine plus tard montraient un écart supérieur à ± 2 dB, des mesures supplémentaires étaient effectuées afin d'obtenir une estimation représentative du bruit ambiant.

Pour éviter que la mesure du bruit de fond ne soit entachée par l'influence du type d'activités en cours dans les classes, les mesures de bruit furent recueillies dans des conditions sonores optimales, c'est-à-dire en l'absence des enfants dans le local mais pendant que des activités normales d'enseignement se déroulaient dans les locaux adjacents à la classe visitée.

Les durées de réverbération ont été obtenues lorsque les enfants étaient absents de l'école. Elles ont été mesurées au moyen d'un analyseur BK-4418, d'une source de puissance normalisée (BK-4224), d'un pré-amplificateur (BK-2619) et d'un microphone à pression (BK-4134). Ce dernier était placé au centre de la pièce à 1,55 mètre du sol alors que la source sonore était installée successivement dans au moins deux coins de la salle, dans un angle de 45° par rapport au sol. Les durées de réverbération étaient recueillies dans les bandes de tiers d'octave centrées à 800, 1000 et 1250 Hz, la moyenne de ces valeurs étant retenue pour caractériser la durée de réverbération dans la bande d'octave centrée à 1 kHz.

Traitement des données

Les rapports S/B en dBA furent déterminés dans chaque classe pour l'enfant le plus éloigné du professeur en estimant le niveau de pression acoustique de la voix de l'enseignant à cette distance et en y soustrayant le niveau de bruit de fond moyen relevé dans le local étudié.

Le niveau de pression acoustique de la voix du professeur était obtenu selon l'équation suivante:

$$L_S = L_w + 10 \log \left[\frac{Q}{4 \pi r^2} + \frac{4}{A} \right] \text{ en dB} \quad [1]$$

où L_S en dB est le niveau de pression acoustique de la voix du locuteur lorsque mesurée à une distance r en mètres, L_w est la puissance acoustique de la voix en dB (re: 10^{-12} Watts/m²), Q est le facteur de directivité du locuteur, et A , l'aire d'absorption équivalente du local évaluée en m².

La directivité moyenne de la voix mesurée dans un angle de 0° à 0,5, 1, 2 et 4 kHz est généralement évaluée à $Q=2,5$ pour un locuteur situé à l'avant d'une salle tel un professeur dans une classe^{12,13}. Dans les salles de classe quasi-cubiques, l'aire d'absorption équivalente s'évalue à partir de l'équation de Sabine fondée sur l'hypothèse d'un champ diffus:

$$A = \frac{0,161 V}{TR} \text{ en m}^2 \quad [2]$$

où V représente le volume de la pièce en mètres-cubes (m³) et TR , la durée de réverbération en secondes. Dans la présente étude, une valeur de 10 m² a été ajoutée à l'aire d'absorption équivalente de chaque classe pour tenir compte de l'absorption par les enfants lorsqu'ils sont dans la classe. Ce correctif est obtenu en évaluant à 25 le nombre moyen d'enfants par classe et à 0,4 m² l'aire d'absorption équivalente pour chaque enfant¹⁴. La durée de réverbération TR a été estimée à partir des mesures pour la bande d'octave centrée à 1 kHz.

Par des mesures en chambre anéchoïque où l'absorption équivalente est très grande, Pearsons et al. ¹¹ ont établi que le niveau de la voix normale mesuré à un mètre est de 58 dBA

pour un homme et de 55 dBA pour une femme, ce qui représente des puissances acoustiques respectives de 65 et 62 dBA.

Sur la base de ces données, il est possible de calculer le niveau de pression acoustique de la voix d'un enseignant en tout point de la classe.

Quant au niveau de bruit de fond moyen, il a été obtenu pour chaque classe d'après l'équation 3:

$$L_B = 10 \log \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{(L_i/10)} \cdot t_i \quad \text{en dBA} \quad [3]$$

où T représente le temps total de mesure, L_i le niveau de bruit de fond mesuré en $L_{Aeq,60s}$ durant le temps t_i .

Les rapports S/B en dBA ont donc été obtenus pour chaque classe par le calcul suivant:

$$S/B = L_S - L_B \quad [4]$$

où L_{pS} est la résultante de l'équation 1 et L_{pB} , la résultante de l'équation 3. Connaissant les rapports S/B en dBA et les durées de réverbération à 1 kHz, les pourcentages d'intelligibilité de la parole ont été calculés pour chaque classe à l'aide de l'équation 5 telle que définie par Bradley¹⁰:

$$IP = 2,26 S/B - 0,0888 S/B^2 - 13,9 TR_{1kHz} + 95 \quad \text{en \%} \quad [5]$$

dans laquelle IP représente le pourcentage d'intelligibilité de la parole, S/B est le rapport signal-bruit en dBA et TR_{1kHz} , la durée de réverbération à 1 kHz telle que mesurée dans une classe.

RESULTATS

Parmi les six écoles visitées, une seule présentait des conditions sonores conformes au critère proposé par Bradley¹⁰ en termes de niveau de bruit de fond et de durée de réverbération. L'intelligibilité de la parole pour la moyenne des classes est de l'ordre de 70% à l'école A, de 90% aux écoles B, C, D et E et elle s'avère excellente pour toutes les classes de l'école F comme le montrent les résultats présentés à la Figure 1.

Des mesures d'association ont été effectuées entre les caractéristiques physiques identifiant dans les classes (conditions d'aménagement et sources de bruit intrusif) et les conditions sonores mesurées (niveau de bruit de fond et durée de réverbération). Le Tableau II montre le résultat des tests de X^2 dans le cas des variables nominales ou ordinales décrivant le milieu visité. Trois variables nominales éventuellement importantes n'ont pas été considérées parce que décrivant des conditions à toutes fins utiles identiques pour toutes les classes visitées. Il s'agit des bruits audibles provenant d'autres classes, des bruits provenant du corridor et du bruit provenant de l'éclairage au fluorecène. Le degré d'association avec les caractéristiques physiques définies sur des échelles numériques a été évalué au moyen du coefficient de corrélation de Pearson dont les résultats sont présentés au Tableau III.

Tableau II. Résultat des tests d'association (X^2) entre les caractéristiques physiques des locaux, les niveaux de bruit de fond (L_{Aeq}) et les durées de réverbération (TR).

Caractéristiques physiques	Conditions sonores			
	L_B		TR	
	X^2	dl	X^2	dl
Présence d'animaux dans les classes	0,12	2		
Bruits de conduites d'eau	6,69	2		
Bruits des horloges	3,80	2		
Bruits des urinoires	3,23	2		
Bruits des micro-ordinateurs	1,41	2		
Bruits des autos	7,45	2		
Bruits des avions	7,44	2		
Achalandage routier	24,52*	4		
Achalandage aérien	3,12	2		
Bruits audibles de ventilation	25,04*	2		
Milieu socio-économique	43,82*	6		
Bruits audibles provenant de l'extérieur de l'école	15,83*	2		
Tapis au sol	28,64*	2	13,43*	2
Tuiles acoustiques au plafond	8,17	2	40,88*	2
Rideaux devant les fenêtres	7,54	2	5,20	2

* associations statistiquement significatives au seuil de 0,01.

Tableau III. Coefficients de corrélation linéaire entre les caractéristiques physiques de type numérique et les conditions sonores mesurées dans les classes. La probabilité "p" que la corrélation soit significativement différente de zéro est également indiquée.

Caractéristiques physiques	Conditions sonores			
	L_B		TR	
	r	p	r	p
Nombre d'enfants par école	0,005	0,49	-0,007	0,21
Age de l'école	-0,66	<u><0,01</u>	0,27	<u>0,03</u>
Volume des classes	-0,18	0,45	0,17	0,11
Distance entre locuteur et récepteurs	-0,004	0,67	-0,005	0,49

Il ressort de ces deux tableaux que les variables "achalandage routier", "bruit de ventilation", "milieu socio-économique", "bruits provenant de l'extérieur", "présence de tapis au sol" et "âge de l'école" sont significativement associées au niveau de bruit de fond alors que la dernière de ces variables ainsi que les variables "tapis au sol" et "tuiles acoustiques au plafond" sont associées à la réverbération.

De nombreux liens de colinéarité pouvant exister entre ces différentes variables, il fut nécessaire d'isoler les facteurs confondants. En effet, le milieu socio-économique faible était confondu avec la présence de bruit de ventilation et d'un achalandage routier important. Les bruits provenant de l'extérieur de l'école n'étaient audibles qu'en l'absence de bruit de ventilation. Le tapis au sol était confondu avec la présence de bruit de ventilation et n'était présent que dans les écoles à aires ouvertes. L'âge de l'école était systématiquement associé aux variables milieu socio-économique et présence de bruit de ventilation.

Nous avons donc introduit une nouvelle variable, soit "l'ouverture des aires", permettant de distinguer les classes en aires ouvertes des locaux en aires fermées. Après épurement de l'analyse, les variables statistiquement associées aux conditions sonores dans les classes étaient les suivantes: l'achalandage routier, le bruit de ventilation, les tuiles acoustiques au plafond et l'ouverture des aires.

A partir de ces caractéristiques physiques, nous avons tenté de définir un modèle prédictif des conditions sonores dans les 50 classes visitées au moyen d'analyses de régression multiple.

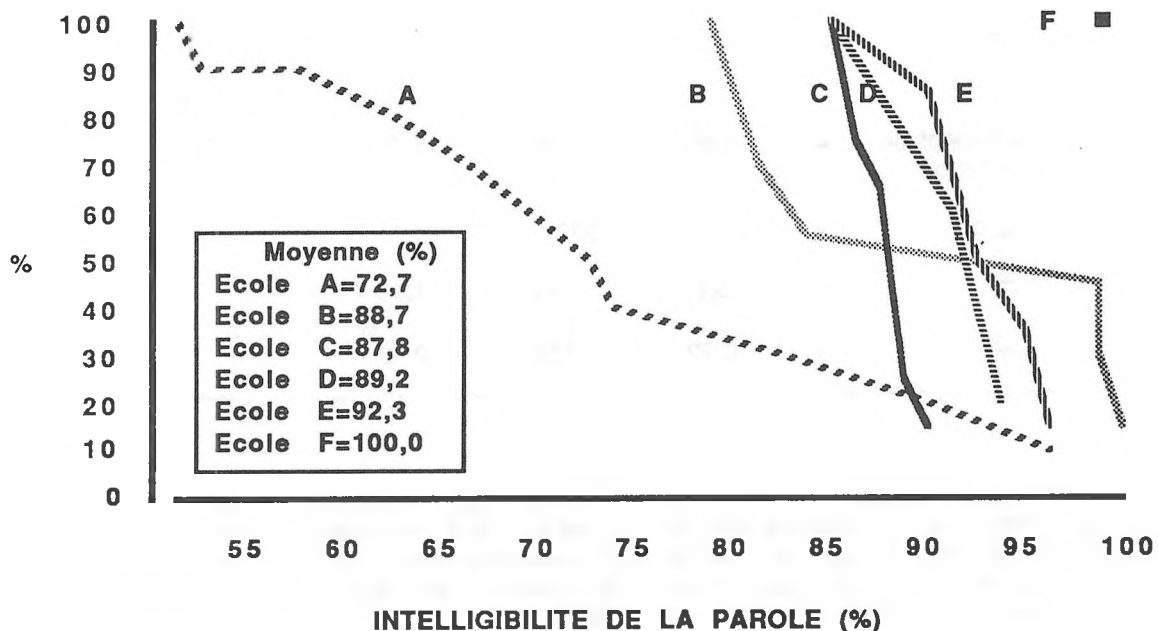


Figure 1 : Distribution cumulative des indices d'intelligibilité de la parole calculés dans chacune des écoles.

Tableau IV. Résultats des analyses de régression multiple permettant la prédiction des conditions sonores dans les locaux de classes. Les variables prédictrices ont été traitées comme variables factices ("dummy"). Les rapport F, les degrés de liberté correspondant (dl) et le coefficient de détermination R² sont indiqués pour chacune des trois régressions.

Conditions sonores	Variables				Ordonnée à l'origine
		Ventilation	tuiles acoust.	ouverture des aires	
L _B	Coefficient de régression	= 7,86	-2,64	3,79	40,24
	Rapport F	= 61,4	35,0	26,6	
	Degrés de liberté	= 1,48	2,47	3,46	
	R ²	= 0,56	0,60	0,63	
TR	Coefficient de régression	=	- 0,85		1,35
	Rapport F	=	288,5		
	dl	=	1,48		
	R ²	=	0,86		
IP	Coefficient de régression	= -9,96	10,19	- 16,76	89,77
	Rapport F	= 25,0	30,0	46,7	
	dl	= 3,46	2,47	1,48	
	R ²	= 0,62	0,56	0,49	

Les résultats présentés au Tableau IV montrent que l'ouverture des aires contribue à l'augmentation du niveau de bruit de fond et par le fait même, à une diminution de l'intelligibilité de la parole dans les classes. Dans les écoles à aires ouvertes, les classes sont séparées les unes des autres par des cloisons partielles, situation qui favorise la propagation des bruits et des voix entre les aires et l'élévation du niveau de bruit de fond.

De même, le bruit produit par les systèmes de ventilation contribue à réduire l'intelligibilité de la parole dans les classes. Ce bruit est généralement introduit de façon intentionnelle dans les écoles à aires ouvertes dans le but de masquer les bruits des activités adjacentes pouvant interférer avec l'enseignement. Les données de la présente étude montrent au contraire que le bruit de ventilation mesuré dans les classes visitées est nuisible à l'intelligibilité de la parole.

En dernier lieu, la présence de tuiles acoustiques au plafond permet, comme on pouvait s'y attendre, de réduire la réverbération et ainsi d'améliorer l'intelligibilité de la parole dans les classes.

Il est à noter que la contribution de la variable achalandage routier à la prédiction des conditions sonores s'est avérée non-significative lorsque les autres variables étaient prises en compte simultanément.

DISCUSSION

Au minimum, trois conditions devraient être respectées afin d'offrir des conditions optimales d'intelligibilité de la parole dans les classes visitées, soient l'absence de bruit de ventilation, des locaux à aires fermées et un plafond recouvert de tuiles acoustiques.

Il convient toutefois d'apporter des réserves à la généralisation de ces résultats en raison du modèle empirique utilisé. L'application du modèle de Bradley¹⁰ comporte en effet certaines limites, notamment les suivantes:

1- L'équation de prédiction de l'intelligibilité de la parole à partir des conditions sonores a été établie pour des enfants de 12-13 ans. Puisque des enfants de niveau primaire (6-12 ans) ont besoin de conditions sonores encore plus favorables, les valeurs d'intelligibilité de la parole de la présente étude ont probablement été surestimées.

2- Aucune école à aire ouverte n'était comprise dans l'échantillon de Bradley alors que le nôtre en comptait deux. En appliquant le modèle de Sabine dans ces écoles, le volume total de l'aire dans laquelle la durée de réverbération était mesurée a été pris en compte dans le calcul de l'absorption équivalente. La valeur de l'absorption sonore équivalente a donc d'être surestimée. L'influence de ce facteur est toutefois peu importante pour le calcul de l'intelligibilité de la parole.

3- Pour les classes ayant une durée de réverbération inférieure à celle recommandée (0,4-0,5 secondes), aucun terme correctif n'a été introduit ne connaissant pas l'influence exacte de telles conditions; cependant, dans ces conditions, l'intelligibilité de la parole risque d'être diminuée.

4- Le modèle empirique ne prend pas en compte le caractère perturbateur des divers bruits perçus dans les classes. Puisque les bruits porteurs d'information masquent davantage la parole que d'autres bruits non-significatifs¹⁵, il est plausible que les voix provenant d'autres classes soient très perturbatrices pour l'enseignement, en particulier en situation d'aires ouvertes.

Pour généraliser l'application du modèle prédictif de l'intelligibilité de la parole dans les salles de classe, celui-ci devrait, à notre avis, prendre en compte l'âge des enfants, la nuisance des divers bruits pour l'enseignement ainsi que les effets éventuels de durées de réverbération à 1kHz inférieures à 0,4 seconde.

La portée des résultats de la présente étude est par ailleurs limitée par les conditions spécifiques dans lesquelles les données ont été recueillies. Ainsi, les résultats obtenus sont valables pour la saison d'hiver, au Québec, alors que les fenêtres des classes fermées limitent la contribution des bruits provenant de l'extérieur de l'école. Les pourcentages d'intelligibilité de la parole ont de plus été obtenus pour des conditions optimales, sans considérer le bruit généré par la présence des enfants dans les classes. Enfin, la contribution éventuelle de variables telles que

la circulation urbaine, aérienne ou ferroviaire et les bruits provenant des autres classes ou du corridor ne peut être exclue même si nos résultats n'ont pu en dégager l'influence sur le niveau de bruit de fond mesuré dans les classes.

Un élargissement de notre échantillon ou la redéfinition de certaines de ces variables aurait éventuellement permis d'expliquer une portion additionnelle de la variance des conditions sonores et des estimations de l'intelligibilité. Il y aurait lieu notamment d'éprouver d'autres descripteurs du bruit généré par la circulation urbaine au voisinage de l'école et de la transmission sonore entre les locaux de classe, lesquels descripteurs ne seraient pas issus de mesures acoustiques. Ceux-ci pourraient être, pour l'un, la fréquence et la proximité des véhicules automobiles circulant à proximité de l'école en un temps donné et, pour l'autre, la description des matériaux composant les parois entre les classes de façon à estimer leurs propriétés insonorisantes.

CONCLUSION

La présente étude montre qu'il est possible pour un non-acousticien d'évaluer la **qualité de l'intelligibilité** verbale des locaux de classe à partir de caractéristiques physiques du milieu. **Dans la majorité** des écoles recrutées, nous avons identifié des conditions inadéquates **d'intelligibilité de la parole**. Bien que les résultats de cette recherche ne soient pas généralisables à l'ensemble des écoles primaires du milieu urbain québécois ou canadien en raison du faible échantillon considéré, il est peu probable que nous ayons rejoint les seules écoles réunissant les conditions sonores les plus défavorables. Nos résultats sont dans ce sens une bonne indication à l'effet que l'intelligibilité de la parole n'est pas optimale dans plusieurs écoles. Ils démontrent la nécessité d'entreprendre une vaste enquête conduisant à une description représentative des conditions d'intelligibilité de la parole dans le milieu scolaire.

REFERENCES

1. Mills J.H. (1975). Noise and children: a Review of literature, J.Acoust.Soc.Am., 58 (4), 767-779.
2. Dejoy D.M. (1983). Environmental noise and children: review of recent findings, J. Audit. Res., 23, 181-194.
3. Gelfand S.A., Hochberg I. (1976). Binaural and monaural speech discrimination under reverberation, Audiology, 15, 72-84.
4. Finitzo-Hieber T., Tillman T.W. (1978). Room acoustics effects on monosyllabic word discrimination ability for normal and hearing-impaired children, J.Speech.Hear.Res., 21,440-458.
5. O.M.S. (1980). Critères d'hygiène de l'environnement-12: Le Bruit. Genève, pp. 51-57.
6. Webster J.C. (1978). Speech interference aspects of noise, in: Harris, C.(ed.), Handbook of noise control, 2nd ed., Mc Graw-Hill, ch. 14, 14, 1-14,9.
7. A.N.S.I. 83-5 (1969). Methods for the calculation of the articulation index. New-York, 24 p.

8. Bradley J.S. (1986). Predictors of SI in rooms, J.Acoust.Soc.Am., 80 (3), 837-845.
9. Houtgast T., Steeneken H.J.M., Plump R. (1980). Predicting speech intelligibility in rooms from the modulation transfert function 1. General room acoustics, Acustica, 46 (1), 60-72.
10. Bradley J.S. (1986). Speech intelligibility studies in classrooms, J.Acoust.Soc.Am., 80 (3), 846-854.
11. Pearsons K.S. et al. (1977). Speech levels in various noise environments, Environmental Protection Agency, Washington D.C., Office of Health and Ecological effects, 19 p.
12. Klein W. (1971). Articulation Loss of Consonants as a basis for the design and judgement of sound reinforcement systems, J. Engin. Soc., 19 (11), 920-922.
13. Niemoeller A.F. (1981). Physical concepts of speech communication in classrooms for the deaf, in Bess F.H. et al. , Amplification in education, A.G. Bell Assoc. for the deaf, Washington, 164-179.
14. Smith B.J. (1971). Acoustics. Longman: London, 46-49.
15. Carhart R., Johnson C., Goodman I. (1975). Perceptual masking of spondees by a combinaison of talkers, J.Acoust.Soc.Am., 58, S35 (A).