

CFA/VISHNO 2016

Comparaison des réglementations acoustiques pour les locaux d'enseignements en Europe

C. Guigou Carter, S. Bailhache et S. Harnois
CSTB, 24 rue Joseph Fourier, 38400 Saint-Martin-D'Hères, France
catherine.guigou@cstb.fr



LE MANS

La campagne école de l'OQAI (Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur) a débuté en 2013 et concerne 300 écoles réparties sur le territoire français. Les investigations sont menées sur la base de mesures et de questionnaires pour évaluer le niveau d'exposition à la pollution de l'air intérieur. En complément, le confort visuel, thermique et acoustique est aussi considéré. L'évaluation du confort acoustique est basée sur les réponses des enseignants et des enquêteurs à différents questionnaires et aussi des mesures d'exposition au bruit dans les salles de classe. Quelques mesures de la performance acoustique (isolement aux bruits aériens, aux bruits d'impact, temps de réverbération et l'indice de transmission de la parole) ont aussi été réalisées dans un nombre limité d'établissements scolaires appartenant au panel retenu par l'OQAI.

En France comme dans de nombreux pays, la réglementation acoustique inclut des exigences sur la performance acoustique dans les bâtiments d'enseignement pour assurer un environnement acoustique propice à l'apprentissage. Une première partie du travail présenté consiste en une comparaison des réglementations acoustiques pour les bâtiments scolaires entre différents pays européens. Dans un nombre limité de pays, l'indice de transmission de la parole (STI) qui est un indicateur d'intelligibilité de la parole est utilisé dans la réglementation en complément du temps de réverbération. Cet indicateur est généralement imposé dans des conditions de salle de classe meublée mais en situation inoccupée (sans élève). Une deuxième partie de ce travail s'intéresse à l'évaluation dans des configurations de salle de classe représentatives de l'indice d'intelligibilité STI en prenant en compte l'impact de la présence des élèves. Les valeurs de STI en présence d'élèves pour un niveau de bruit de fond donné sont mises en perspectives vis-à-vis du temps de réverbération en classe vide.

1 Introduction

Nous passons quasiment 90% de notre temps dans des espaces fermés. Sur la base de cette observation, l'OQAI (Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur) mène des campagnes de terrain pour évaluer les niveaux d'exposition des polluants de l'air intérieur dans des bâtiments de type habitation, bureaux et écoles. Les écoles françaises sont concernées par une étude spécifique qui a débutée en 2013 et qui a pour objectif de récolter des informations sur cet environnement crucial pour le développement d'un enfant. Pour tirer le meilleur avantage de cette opportunité unique en France, d'autres aspects ont été inclus dans cette étude : notamment les aspects de confort visuel, thermique, et acoustique. En effet, tous ces paramètres environnementaux sont certainement couplés les uns aux autres comme ils dépendent des caractéristiques du bâtiment et du comportement des occupants.

Des études récentes ont mis en évidence l'importance de l'environnement acoustique dans le processus d'apprentissage à l'école. En effet, de l'exposition au bruit peut résulter une mauvaise intelligibilité de la parole, des problèmes de mémorisation et d'attention ; jusqu'à potentiellement entraîner une fatigue auditive et une détérioration du comportement. Dans l'enquête PISA de 2009 [1], presque 20% des élèves interrogés ont rapporté ne pas être capable de bien travailler à cause du bruit.

En France comme dans de nombreux pays, la réglementation acoustique inclut des exigences sur la performance acoustique dans les bâtiments d'enseignement pour assurer un environnement acoustique propice à l'apprentissage. La performance acoustique pour une salle de classe se base globalement sur l'isolement aux bruits aériens, le niveau de bruit d'impact, le niveau de bruit des équipements du bâtiment et le temps de réverbération. Des résultats préliminaires sur l'environnement acoustique dans les salles de classe en France, sur la base des investigations menées dans le cadre de l'enquête OQAI, ont été présentés en 2015 [2]. Une première partie du travail présenté dans cet article consiste en une comparaison des réglementations acoustiques pour les bâtiments scolaires entre différents pays européens. Dans certains pays, l'indice de transmission de la parole (STI) qui est un indicateur d'intelligibilité de la parole est utilisé dans la réglementation en complément du temps de réverbération.

Cet indicateur est généralement imposé dans des conditions de salle de classe meublée mais en situation inoccupée (sans élève). Une deuxième partie de ce travail s'intéresse à l'évaluation dans des configurations de salle de classe représentatives de l'indice d'intelligibilité STI en prenant en compte l'impact de la présence des élèves. Les valeurs de STI en présence d'élèves pour un niveau de bruit de fond donné sont mises en perspectives vis-à-vis du temps de réverbération en classe vide. On notera que l'"American Speech-Language-Hearing Association" (ASHA) donne aussi des recommandations en termes de niveau de bruit ambiant dans les classes inoccupées, du rapport signal sur bruit (différence entre le niveau de la voix du professeur et le niveau de bruit ambiant) en plus du temps de réverbération. Une comparaison entre l'évaluation objective des enseignants et le temps de réverbération est aussi proposée à la fin de cet article.

2 Réglementation dans les établissements d'enseignement

Un large ensemble de partenaires européens du CSTB dans le domaine acoustique a été contacté et questionné sur la réglementation acoustique des salles de classe des établissements d'enseignement. Les différentes rubriques concernant la performance acoustique sont passées en revue dans cette section.

2.1 Isolement aux bruits aériens

Le Tableau 1 compare les niveaux d'isolement aux bruits aériens à atteindre entre deux salles de classe et entre une salle de classe et une circulation. On notera tout d'abord la variété des indices utilisés. Pour 7 des 15 pays pris en compte, la présence d'une porte entre salles de classe est considérée et est accompagnée d'une diminution du niveau d'isolement à atteindre. De plus, pour un des pays (Belgique), le type d'utilisation de la circulation est même pris en compte. Un pays (Danemark) fait la différence entre transmission verticale et horizontale. On remarquera que la Suisse utilise un facteur de correction C_v en fonction du volume de réception (cette correction est la même pour les différents indicateurs et n'est donc définie qu'en dessous du Tableau 1). Les Pays-Bas ne réglementent pas l'isolement aux bruits aériens des salles de classe ; le

Tableau 1 donne les niveaux de la classe C des recommandations pour des « écoles saines ». Finalement, pour les pays utilisant le même indicateur que la France, le niveau d'isolement requis est généralement plus contraignant que celui de la France.

2.2 Niveau de bruit d'impact

Le Tableau 2 compare les niveaux de bruit d'impact à atteindre entre deux salles de classe et entre une salle de classe et une circulation. On notera que dans la majorité des pays pris en compte il n'existe pas de différence pour le niveau de bruit d'impact entre deux salles de classe ou entre la circulation et une salle de classe. Une fois encore la Belgique considère des niveaux d'exigence différents selon le type d'utilisation de la circulation. Les Pays-Bas ne

règlementent pas le niveau de bruit d'impact pour les salles de classe ; le Tableau 2 donne les niveaux de la classe C des recommandations pour des « écoles saines ». En Finlande, le niveau de bruit d'impact n'est pas inclus dans la réglementation pour les salles de classe ; la valeur donnée au Tableau 2 correspond à la Classe C recommandée. Seulement 3 pays prennent en compte le terme d'adaptation C_1 ; cependant, pour les bâtiments en béton ce terme est généralement négligeable. Comme pour l'isolement aux bruits aériens, la Suisse utilise un facteur de correction C_V en fonction du volume de réception. Finalement, pour les pays utilisant le même indicateur que la France, le niveau de bruit d'impact admis est généralement du même ordre que celui de la France (à l'exception l'Espagne et du Portugal).

Tableau 1: Isolement aux bruits aériens.

Pays	Entre salles de classe Sans porte	Entre salles de classe Avec porte	Entre circulation et salle de classe
France	$D_{nT,w}+C \geq 43$ dB	$D_{nT,w}+C \geq 40$ dB	$D_{nT,w}+C \geq 30$ dB
Belgique	$D_{nT,w}+C \geq 44$ dB	$D_{nT,w}+C \geq 40$ dB	$D_{nT,w}+C \geq 32$ dB pour circulation utilisée entre les cours $D_{nT,w}+C \geq 36$ dB pour circulation utilisée pendant les cours
Portugal	$D_{nT,w} \geq 45$ dB		Si porte $D_{nT,w} \geq 30$ dB Sinon $D_{nT,w} \geq 45$ dB
Italie	$R'_w \geq 50$ dB		
Espagne	si aucune porte ou fenêtre $D_{nT,w}+C_{100-5000} \geq 50$ dB si non la paroi séparative $R_w+C_{100-5000} \geq 50$ dB et la porte ou fenêtre $R_w+C_{100-5000} \geq 30$ dB		
Slovénie	$R'_w \geq 52$ dB		Si pas d'ouverture paroi séparative $R_w \geq 52$ dB Si non, paroi séparative $R_w \geq 47$ dB et ouverture $R_w \geq 27$ dB
Pays-Bas (Recommandation)	$D_{nT,w}+C \geq 39$ dB	$D_{nT,w}+C \geq 34$ dB	$D_{nT,w}+C \geq 25$ dB
Royaume-Uni Irlande	$D_{nT,w} \geq 45$ dB		Paroi séparative $R_w \geq 40$ dB Porte $R_w \geq 30$ dB
Finlande	$R'_w \geq 44$ dB	$R'_w \geq 34$ dB avec porte $R_w \geq 30$ dB	Si pas d'ouverture paroi séparative $R'_w \geq 44$ dB Si non, $R'_w \geq 34$ dB avec porte $R_w \geq 30$ dB
Danemark	Horizontal $R'_w \geq 48$ dB Vertical $R'_w \geq 51$ dB	$R'_w \geq 44$ dB	Si ouverture $R'_w \geq 36$ dB Sinon Horizontal $R'_w \geq 48$ dB et Vertical $R'_w \geq 51$ dB
Suède	$R'_w \geq 44$ dB	$R'_w \geq 39$ dB	$R'_w \geq 40$ dB $R'_w \geq 35$ dB si partie vitrée importante
Suisse*	$D_{nT,w}+C-C_v \geq 52$ à 62 dB		$D_{nT,w}+C-C_v \geq 42$ à 52 dB
Norvège	$R'_w \geq 48$ dB		$R'_w \geq 35$ dB
Lettonie	$R'_w \geq 53$ dB	$R'_w \geq 33$ dB	Si ouverture $R'_w \geq 31$ dB Si non $R'_w \geq 53$ dB

* $C_v=0$ si $V < 200$ m³ ; $C_v=2$ si $200 \leq V < 300$ m³ ; $C_v=3$ si $300 \leq V < 500$ m³ ; $C_v=4$ si $500 \leq V < 800$ m³ ; $C_v=5$ si $V \geq 800$ m³

Tableau 2: Niveau de bruit d'impact.

Pays	Entre salles de classe	Entre circulation et salle de classe
France	$L'_{nT,w} \leq 60$ dB	
Belgique	$L'_{nT,w} + C_1 \leq 60$ dB	$L'_{nT,w} + C_1 \leq 65$ dB pour circulation utilisée entre les cours $L'_{nT,w} + C_1 \leq 60$ dB pour circulation utilisée pendant les cours
Portugal	$L'_{nT,w} \leq 65$ dB	$L'_{nT,w} \leq 60$ dB
Italie	$L'_{n,w} \leq 58$ dB	
Espagne	$L'_{nT,w} \leq 65$ dB	
Slovénie	$L'_{n,w} \leq 58$ dB	
Pays Bas (Recommandation)	$L'_{nT,w} + C_1 \leq 59$ dB	$L'_{nT,w} + C_1 \leq 69$ dB
Royaume-Uni et Irlande	$L'_{nT,w} \leq 60$ dB	
Finlande (Recommandation)	$L'_{n,w} \leq 63$ dB	
Danemark	$L'_{n,w} \leq 55$ dB	
Suède	$L'_{nT,w} \leq 60$ dB si peu fréquenté $L'_{nT,w} \leq 56$ dB si fréquenté	
Suisse	$L'_{nT,w}+C_1+C_v \leq 53$ à 43 dB	
Norvège	$L'_{n,w} \leq 63$ dB	$L'_{n,w} \leq 58$ dB
Lettonie	$L'_{n,w} \leq 59$ dB	$L'_{n,w} \leq 57$ dB

2.3 Isolement de façade

Le Tableau 3 compare les niveaux d'isolement vis-à-vis de l'extérieur à atteindre dans une salle de classe.

On notera que certains pays utilisent un niveau de bruit intérieur dans la salle de classe comme indicateur plutôt qu'un isolement aux bruits aériens. L'utilisation d'un niveau de bruit intérieur permet d'avoir une unique exigence quel que soit le niveau de bruit auquel la façade est soumise. Pour l'Italie, il semble ne pas y avoir de prise en compte du niveau de bruit en façade ; le niveau requis d'isolement de façade est dans le même temps assez élevé. En Finlande, le niveau de bruit d'équipement n'est pas réglementé pour les salles de classe ; la valeur donnée au Tableau 3 correspond à la Classe C recommandée. Globalement, le niveau d'isolement de façade minimum requis par la France semble en ligne avec les autres pays utilisant le même type d'indicateur.

2.4 Niveau de bruit d'équipement

Le Tableau 4 compare les niveaux de bruit d'équipement à ne pas dépasser dans une salle de classe. En France, l'indicateur L_{nAT} correspond au L_{ASmax} normalisé au temps de réverbération (soit $L_{ASmax,nT}$). On notera la variabilité des indicateurs utilisés dans les différents pays considérés qui rend la comparaison difficile. Certaines données sont encore manquantes et restent à compléter. Généralement, le type de fonctionnement de l'équipement (continu ou intermittent) est pris en compte. Les Pays-Bas ne réglementent pas le niveau de bruit d'équipement pour les salles de classe ; le Tableau 4 donne les niveaux de la classe C des recommandations pour des « écoles saines ». En Finlande, le niveau de bruit d'équipement n'est pas réglementé pour les salles de classe ; la valeur donnée au Tableau 4 correspond à la Classe C recommandée.

Tableau 3: Isolement de façade.

Pays	Salle de classe Exigence normale	Salle de classe Exigence supérieure
France	$D_{nT,w}+C_{tr} \geq 30$ dB	En fonction de l'ambiance extérieure
Belgique	Minimum $D_{nT,w}+C_{tr} \geq 26$ dB en fonction de l'ambiance extérieure	Minimum $D_{nT,w}+C_{tr} \geq 30$ dB en fonction de l'ambiance extérieure
Portugal	$D_{2m,nT,w}+C_{tr} \geq 28$ dB Si surface vitrée > 60% de la façade $D_{2m,nT,w}+C \geq 28$ dB ou $D_{2m,nT,w}+C_{tr} \geq 28$ dB en fonction du type de bruit dominant	$D_{2m,nT,w}+C_{tr} \geq 33$ dB Si surface vitrée > 60% de la façade $D_{2m,nT,w}+C \geq 33$ dB ou $D_{2m,nT,w}+C_{tr} \geq 33$ dB en fonction du type de bruit dominant
Italie	$D_{nT,w} \geq 48$ dB	
Espagne	$D_{nT,w}+C_{tr100-5000} \geq 30$ dB	En fonction de l'ambiance extérieure
Slovénie	$L_{Aeq,day} \leq 35$ dB(A)	
Pays-Bas	Minimum $D_{nT,w}+C_{tr} \geq 20$ dB ou $D_{nT,w}+C_{tr} \geq$ (Niveau bruit -33 dB)	Minimum $D_{nT,w}+C_{tr} \geq 25$ dB ou $D_{nT,w}+C_{tr} \geq$ (Niveau bruit -28 dB)
Royaume-Uni Irlande	Intérieur $L_{Aeq,30min} \leq 35$ dB	
Finlande (Recommandation)	$L_{Aeq,7-22} \leq 35$ dB(A)	
Danemark	$L_{Aeq,7-22} \leq 33$ dB(A)	
Suède	$L_{Aeq} \leq 30$ dB(A) et $L_{AFmax} \leq 45$ dB(A)	
Suisse	$D_{nT,w}+C_{tr}-C_v \geq 27$ dB	$D_{nT,w}+C_{tr}-C_v \geq 35$ dB En fonction de l'ambiance extérieure
Norvège	Information non disponible	
Lettonie	$R'_{w}+C_{tr} \geq 25$ dB	En fonction de l'ambiance extérieure

Tableau 4: Bruit d'équipement.

Pays	Salle de classe Fonctionnement continu	Salle de classe Fonctionnement intermittent
France	$L_{nAT} \leq 33$ dB(A)	$L_{nAT} \leq 38$ dB(A)
Belgique	$L_{Aeq,nT,stat} \leq 35$ dB(A) "stat" pour toutes les sources en même temps	$L_{Aeq,nT,stat} \leq 35+X$ dB(A) X dépend du type d'équipement
Portugal*	$L_{Ar,nT} \leq 37$ dB(A)	$L_{Ar,nT} \leq 42$ dB(A)
Italie	$L_{Aeq} \leq 25$ dB(A)	$L_{ASmax} \leq 35$ dB(A)
Espagne	Pas d'objectif national (fixé au niveau régional ou même plus localement)	
Slovénie	$L_{AFmax} \leq 40$ dB(A)	
Pays-Bas (Recommandation)	$L_{ASmax,nT} + 5 \log(V/25) \leq 35$ dB(A)	
Royaume-Uni Irlande	$L_{Aeq,30min} \leq 35$ dB(A)	
Finlande (Recommandation)	$L_{AeqT} \leq 33$ dB(A) et $L_{Amax} \leq 38$ dB(A)	
Danemark	$L_{AeqT} \leq 30$ dB	
Suède	$L_A \leq 30$ dB(A) et $L_C \leq 50$ dB(A)	$L_A \leq 30$ dB(A) et $L_C \leq 50$ dB(A)
Suisse**	$L_{AFmax} + K_1 + K_4 + C_v \leq 28$ à 38 dB(A)	$L_{AFmax} + K_1 + K_4 + C_v \leq 28$ à 38 dB(A)
Norvège	Information non disponible	
Lettonie	-	

* $L_{Ar,nT}$ est le niveau L_{Aeq} normalisé au temps de réverbération ($-10 \log(T/T_0)$ avec $T_0 = 0.5$ s) et corrigé en fonction de la des caractéristiques tonales du bruit (+K)

** K_1 est un facteur de correction par rapport à l'absorption du local et K_4 une correction en fonction de l'équipement concerné

2.5 Temps de réverbération

Le Tableau 5 compare finalement le temps de réverbération requis dans une salle de classe. Il est à noter que dans certains pays des spécifications supplémentaires existent à l'attention des salles de classe pour les personnes ayant des problèmes d'audition. La bande de fréquence prise en compte pour l'évaluation du temps de réverbération varie en fonction des pays. Un certain nombre de pays considèrent les octaves de 500, 1000 et 2000 Hz pour évaluer le temps de réverbération. Les pays nordiques (Finlande, Danemark, Suède, Norvège) prennent en compte les octaves de 125 à 4000 Hz. La Suisse impose une fourchette pour le temps de réverbération pour chacun des tiers d'octave entre 100 et 5000 Hz. En général, les locaux sont considérés meublés et non occupés. Les Pays-Bas ne réglementent pas le temps de réverbération pour les salles de classe ; le Tableau 5 donne le niveau de la classe C des recommandations pour des « écoles saines ».

On notera aussi l'étude [3] sur l'amélioration des conditions de travail des enseignants qui propose un ajustement de l'acoustique des salles de classe et

notamment du temps de réverbération. Les valeurs recommandées pour le temps de réverbération dans une salle de classe inoccupée mais meublée sont établies entre 0.6 et 0.7 s pour un volume en dessous de 210 m³. Ces valeurs permettent d'obtenir à la fois les critères de confort vocal des enseignants et l'indice d'intelligibilité pour les élèves.

2.6 Indice d'intelligibilité

Dans les pays pris en compte, seule la Finlande considère l'indice d'intelligibilité STI dans la définition de sa classification acoustique des bâtiments d'enseignement [4] mais cette classification n'est pas réglementaire. Ainsi un STI supérieur ou égal à 0.7 est requis pour les salles de classe pour la Classe C; cette valeur passe à 0.75 lorsque les salles de classe concernent des élèves avec des problèmes d'audition et de locution. On notera cependant qu'aucun n'es réglementaire.

La Lettonie requiert un indice C80 supérieur à 2 dB et un indice RASTI (Rapid Speech Transmission Index) supérieur à 60 %.

Tableau 5: Temps de réverbération.

Pays	Salle de classe
France	Locaux meublés et inoccupés – $T_{r\ 500/1000/2000}$ Si $V \leq 250\text{ m}^3$: $0.4 \leq T_r \leq 0.8\text{ s}$ Si $V > 250\text{ m}^3$: $0.6 \leq T_r \leq 1.2\text{ s}$
Belgique	Locaux non meublés et inoccupés – $T_{r\ 500/1000/2000}$ $T_r \leq 0.35 \log(1.25 V)\text{ s}$ et $T_r \geq 0.4\text{ s}$
Portugal	Locaux meublés et inoccupés – $T_{r\ 500/1000/2000}$ $T_r \leq 0.15 V^{1/3}\text{ s}$
Italie	Locaux meublés et maximum 2 personnes $T_{r\ 250/500/1000/2000}$ $T_r \leq 1.2\text{ s}$
Espagne	$V \leq 350\text{ m}^3$ Locaux non meublés et inoccupés: $T_r \leq 0.7\text{ s}$ Locaux meublés et inoccupés: $T_r \leq 0.5\text{ s}$
Slovénie	Non réglementé Recommandation locaux meublés et occupés $T_{r\text{opt}\ 500/1000}$ $T_{r\text{opt}} = 0.32 \log V - 0.17\text{ s}$ et $0.8 \leq T_r/T_{r\text{opt}} \leq 1.2\text{ s}$
Pays-Bas (recommandation)	$T_{r\ 250/500/1000/2000}$ $T_r \leq 0.8\text{ s}$
Royaume-Uni Irlande	Locaux meublés et inoccupés – $T_{r\ 500/1000/2000}$ $T_r \leq 0.6\text{ s}$ pour les maternelles et primaires $T_r \leq 0.8\text{ s}$ pour le secondaire
Finlande	Locaux meublés et inoccupés $0.4 \leq T_r \leq 0.8\text{ s}$ pour chaque bande d'octave 125 à 4000 Hz (tolérance de +50% pour 125 Hz)
Danemark	Locaux meublés et inoccupés $T_r \leq 0.6\text{ s}$ pour chaque bande d'octave 125 à 4000 Hz (tolérance de +20% pour 125 Hz)
Suède	Locaux meublés et inoccupés $T_r = 0.5\text{ s}$ en moyenne sur bandes d'octave 125 à 4000 Hz (tolérance de 0.1 s pour chaque bande et 0.2 pour 125 Hz)
Suisse	Locaux meublés et occupés - T_r entre 100 et 5000 Hz $T_{\text{soll}} = -0.17 + 0.32 \log(V/V_0)$ pour $V \leq 500\text{ m}^3$ ($V_0 = 1\text{ m}^3$) $T_r/T_{\text{soll}} \leq 1.2\text{ s}$ sur toute la bande et $T_r/T_{\text{soll}} \geq 0.8$ entre 250 et 2000 Hz décroissance de 0.8 à 250 Hz à 0.6 à 100 Hz décroissance de 0.8 à 2000 Hz à 0.6 à 5000 Hz
Norvège	Locaux meublés et inoccupés $T_r \leq 0.5\text{ s}$ pour chaque bande d'octave 125 à 4000 Hz (tolérance de +40% pour 125 Hz)
Lettonie	Locaux meublés et occupés avec 70% des personnes attendues $T_{r\ 500/1000/2000}$ $0.4 \leq T_r \leq 0.6\text{ s}$ avec variation acceptable $\pm 5\%$

3 Evaluation de l'indice d'intelligibilité

Le STI (indice de transmission de la parole) est un indicateur d'intelligibilité de la parole, c'est à dire du degré de compréhension d'un message verbal. Les valeurs de cet indice sans unité sont comprises entre 0 (complètement inintelligible) et 1 (intelligibilité excellente). Dans le cas présent, l'intelligibilité évalue la qualité de perception par l'élève du message transmis par l'enseignant dans la salle de classe. Des mesures de STI ont pu être réalisées dans des salles vides pour quelques écoles dans le cadre de la campagne OQAI, pour des raisons pratiques de mesure.

On s'intéressera alors à évaluer dans un premier temps les valeurs de STI pour les classes vides, et les comparer aux valeurs mesurées, et dans un second temps à les évaluer en présence d'élèves. En effet on peut s'interroger sur le bienfondé des mesures pour les salles de classe inoccupées.

3.1 Modélisation

Les salles de classe sont modélisées avec le logiciel de CAO Rhino. L'enseignant est considéré comme une source acoustique mais son corps n'est pas modélisé. Le spectre d'émission de parole pris en compte correspond au niveau d'effort vocal « raised » (voie haute) de la référence [5] ; la directivité associée est déduite de la référence [6]. Les élèves, sont considérés comme de simples points de réception dans le cas des classes vides (leurs corps n'étant pas modélisés) et dans le cas des salles occupées, leurs corps sont modélisés (en termes d'absorption et de diffusion) en plus des points de réception. Les parois et les différents bureaux sont aussi pris en compte avec des caractéristiques acoustiques (absorption et diffusion). De plus, le plafond peut être absorbant ou non. Différentes dimensions de salle de classe ont été prises en compte pour un total de 12 ; elles permettent de couvrir un nombre important de situations rencontrées dans le cadre de la campagne de l'OQAI. Un spectre de bruit de fond dans le cas des salles vides correspondant à 28 dB(A) a été déduit des mesures réalisées dans des salles de classe inoccupées. Le logiciel d'acoustique des salles AcouSPACE développé par le CSTB (basé sur des méthodes de lancer de rayons/faisceaux et de tirs de particules) permet sur la base de toutes ces informations de simuler les réponses impulsionnelles entre la source et les différents « points de réceptions élèves ». Le temps de réverbération et le STI sont déduits de ces réponses impulsionnelles.

3.2 Résultats pour les salles inoccupées

Le présence ou non d'un plafond absorbant a une importance primordiale comme on pouvait s'y attendre, sur les valeurs estimées du temps de réverbération T_r et du STI. Généralement, le STI diminue et le T_r augmente avec une augmentation du volume de la salle. Les comparaisons entre les valeurs mesurées et les valeurs estimées en salles inoccupées sont relativement acceptables comme le montre le Tableau 6. Le STI est surestimé en moyenne de 0.1 et le T_r est aussi surévalué de l'ordre 0.1 s.

3.3 Résultats pour les salles occupées

Le bruit de fond associé aux élèves est pris en compte sur la base du spectre de puissance sonore moyen L_w d'un

élève « calme écoutant attentivement le professeur » [7]. Pour des questions de simplicité un nombre constant de 24 élèves est considéré. En fonction des dimensions de la salle de classe et de la présence d'un plafond absorbant ou pas le niveau de bruit de fond associé aux élèves varie globalement entre 35 et 45 dB(A).

Le Tableau 7 présente un résumé des résultats pour les salles de classe en situations extrêmes (avec et sans plafond absorbant, faibles ou grandes dimensions).

Tableau 6: Comparaison calcul-mesure - Salles inoccupées.

	STI		T_r (s)	
	Mesuré	Estimé	Mesuré	Estimé
Ecole 1	0.76	0.81	0.4	0.6
Ecole 2	0.71	0.83	0.4	0.6
	0.70	0.83	0.5	0.6
Ecole 3	0.71	0.79	0.6	0.7
Ecole 4	0.70	0.82	0.6	0.6
	0.68	0.82	0.5	0.6

Tableau 7: Résultats - Salles occupées.

	STI		T_r (s)	
	Vide	Occupé	Vide	Occupé
Salle 1	0.68	0.70	1.85	1.26
Salle 1 Plafond absorbant	0.83	0.84	0.61	0.49
Salle 2	0.64	0.65	2.39	1.82
Salle 2 Plafond absorbant	0.81	0.80	0.74	0.66

Il est à noter une très faible variation de STI (< 0.05) entre le cas salle vide et salle occupée pour une même configuration de salle. Ainsi, la diminution du temps de réverbération associée à la présence des élèves compense l'augmentation du bruit de fond sur la valeur de STI estimée : le STI reste stable que la salle soit vide ou occupée. Ce résultat est valable pour l'ensemble des salles de classe considérées.

Les conditions de bruit de fond associées à des élèves « calmes écoutant attentivement le professeur » pouvant être quelque peu conservatives, une estimation du STI a été réalisée en augmentant de 6 et 10 dB ce bruit de fond. Dans ce cas, l'effet sur le STI est plus marqué. Le STI diminue en présence d'élèves de 0.05 et de 0.1 pour une salle avec plafond absorbant pour une augmentation de 6 et 10 dB du bruit de fond respectivement. Pour une salle sans plafond absorbant, la diminution est plus faible : 0.03 et 0.06.

3.4 Relation entre T_r et STI

La Figure 1 montre pour un ensemble de salles de classe la variation de l'indice STI pour les salles de classe occupées en fonction du T_r pour les salles de classe vides (car plus facile et moins risqué à mesurer) ; l'augmentation du niveau de bruit de fond associé aux élèves pris en compte détériore comme indiqué précédemment le STI.

Il paraît ainsi possible de trouver (après avoir choisi un bruit de fond dans la salle de classe jugé pertinent) la valeur de STI en présence d'élèves dans la salle de classe après avoir mesuré ou éventuellement évalué le temps de réverbération en classe vide.

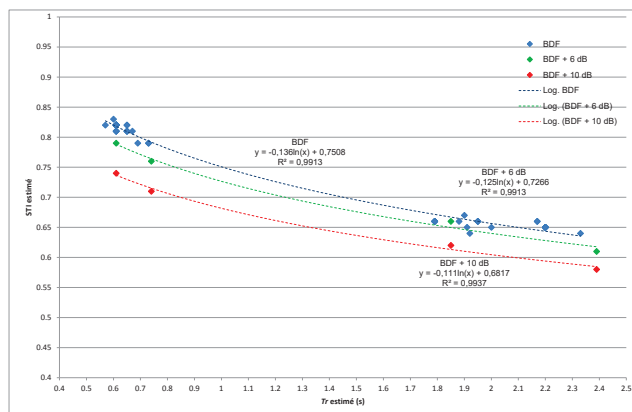


Figure 1: Variation du STI en salle occupée en fonction du T_r en salle inoccupée.

4 Perception des enseignants

La Figure 2 met en perspective la perception des enseignants par rapport au temps de réverbération estimé dans les salles de classe dont les données ont été dépouillées (soit 155 salles de classe). Même dans le cas des salles de classe pour lesquelles le temps de réverbération est supérieur à 1.2 s (et de manière prépondérante supérieur à 3 s), seulement 35 % des enseignants concernés évaluent que l'aménagement intérieur augmente le bruit de voix des élèves ; 55 % qu'il ne l'affecte pas et 10 % qu'il le réduit.

Ceci laisse penser qu'une information sur l'acoustique des classes pourrait être utile pour les enseignants, qui pourraient ainsi, en jouant sur l'aménagement de leur classe, améliorer l'ambiance sonore. En effet un temps de réverbération élevé est associé à une augmentation du niveau de bruit dans une pièce et une diminution de l'intelligibilité de la parole. Aucune relation entre le niveau de bruit et le temps de réverbération dans la salle de classe n'a pu cependant être mise en évidence.

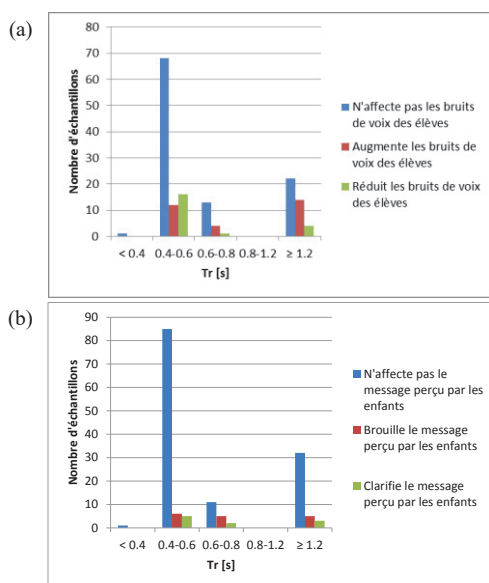


Figure 2: Evaluation de la perception des enseignants ;
(a) Effet de l'aménagement intérieur de la salle de classe et
(b) Effet de la forme architecturale de la salle de classe en fonction du temps de réverbération.

5 Conclusion

Une comparaison des réglementations acoustiques pour les bâtiments scolaires entre différents pays européens a été proposée dans une première partie. Dans un nombre limité de pays, l'indice de transmission de la parole (STI) qui est un indicateur d'intelligibilité de la parole est utilisé dans la réglementation en complément du temps de réverbération. Cet indicateur est généralement imposé dans des conditions de salle de classe meublée mais en situation inoccupée (sans élève). L'évaluation dans des configurations de salle de classe représentatives de l'indice d'intelligibilité STI permet de prendre en compte l'impact de la présence des élèves. Les valeurs de STI en présence d'élèves pour un niveau de bruit de fond donné sont mises en perspectives vis-à-vis du temps de réverbération en classe vide. Il paraît ainsi possible de trouver (après avoir choisi un bruit de fond dans la salle de classe jugé pertinent) la valeur de STI en présence d'élèves dans la salle de classe après avoir mesuré ou éventuellement évalué le temps de réverbération en classe vide. Finalement, une comparaison entre l'évaluation objective des enseignants et le temps de réverbération évalué montre qu'une information sur l'acoustique des classes pourrait être utile pour les enseignants.

Remerciements

Un chaleureux remerciement est adressé aux différents partenaires européens du CSTB dans le domaine acoustique qui ont répondu aux demandes d'information sur la réglementation acoustique des salles de classe des établissements d'enseignement. Les auteurs remercient aussi la DHUP et la Direction de la Recherche et Développement du CSTB pour le financement des travaux dans le cadre de la campagne OQAI.

Références

- [1] OECD, "PISA 2009 Results: What Makes a School Successful? – Resources, Policies and Practices (Volume IV)", (2010)
- [2] S. Bailhache, C. Guigou-Carter, Preliminary results on the acoustic environment in classroom in France, *Inter-noise 2015*, (2015).
- [3] D. Pelegrin Garcia, B. Rasmussen, J. Brunskog, Classroom acoustics design for speakers' comfort and speech intelligibility : a European perspective, *Forum Acusticum*, (2014).
- [4] SFS 5907, Acoustic classification of spaces in buildings, Finnish Standards Association (2005).
- [5] ANSI 3.5-1997, American National Standard-Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index, American National Standards Institute, (1997).
- [6] W.T. Chu, A.C.C. Warnock, Detailed Directivity of Sound Fields Around Human Talkers, NRC Institute for Research in Construction, (2002).
- [7] Building Bulletin 93 (BB93), Guidance on computer prediction models to calculate the Speech Transmission Index for BB93, Version 1.0. Department for Education and Skills, Schools Capital and Building Division, Royaume-Uni, (2004).