

Acoustique des espaces ouverts : Science et pratique

Petite étude de la littérature disponible sur l'acoustique des bureaux en *open space*

Pierre Chigot

Saint-Gobain Ecophon
19, rue Émile Zola
BP 30030
60291 Rantigny
Tél : 03 44 73 84 15
Fax : 03 44 73 65 38
pierre.chigot@saint-gobain.com

Erling Nilsson

Saint-Gobain Ecophon AB
Box 500
SE-260 61 Hyllinge
Suède
Tél : +46 42 17 97 34

Dans un certain nombre de locaux, les méthodes traditionnelles de l'acoustique des pièces basées sur la théorie des champs diffus ne sont pas applicables. C'est par exemple le cas des grandes halles industrielles, des couloirs ou encore des bureaux ouverts. Nous allons dans cet article nous intéresser aux bureaux ouverts.

Dans les bureaux ouverts, la propagation et le comportement du son dans la pièce sont très différents de ce qu'ils sont dans des conditions de champ diffus. Les paramètres « globaux », comme le temps de réverbération, ne sont pas applicables pour décrire la perception acoustique dans sa complexité.

Pour un grand nombre de pièces, comme les salles de classe, ou les salles de concert, le temps de réverbération est utilisé comme paramètre principal de l'étude acoustique. Dans les bureaux ouverts, ce paramètre n'est pas toujours indépendant de la position de mesure dans la pièce ; c'est pourquoi, il est peu indiqué comme paramètre global. La relation entre la puissance acoustique d'une source et le niveau de pression acoustique dans la pièce peut, dans des conditions de champ diffus, être prédite au moyen de modèles simples. Ces modèles sont utiles pour le professionnel du contrôle de l'exposition au bruit des travailleurs, par exemple. Dans les bureaux ouverts, les phénomènes de distribution spatiale du son sont plus complexes et dépendent, au-delà de la distance à la source, de plusieurs facteurs comme la capacité d'absorption du plafond, la présence d'écrans ou de cloisons mi-hauteur, la disposition des postes de travail les uns par rapport aux autres, l'ameublement ou encore la présence d'objets volumineux dans la pièce.

Exemple d'espace ouvert. Les postes de travail sont organisés en file indienne le long de la fenêtre. Ils sont séparés par des éléments de rangement individuels (photo Patrick Klemm)



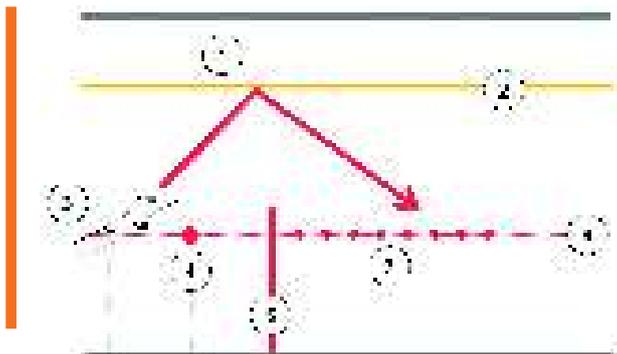


Fig. 1 : Schéma de la procédure de test ASTM 1111 dit d'« atténuation interzone », portant sur la performance des plafonds acoustiques en espaces ouverts. Cette procédure simule de manière aussi fidèle que possible la configuration traditionnelle du « cubicle ».

L'expérience Nord Américaine des espaces ouverts

De nombreux travaux ont été réalisés sur l'acoustique des bureaux en espace ouvert et sur les mesures à prescrire pour de tels environnements. La pratique de l'*open space* étant très répandue aux US, une grande partie de ces travaux y a été effectuée. Ceci a donné lieu à la mise en



place de plusieurs normes, créées à l'initiative de l'ASTM, (American Society for Testing and Materials). L'ASTM a, au cours des quatre dernières décennies, proposé une série de méthodes de test pour évaluer les caractéristiques acoustiques d'un *open space*. La méthode de test principale s'attache à ce qui a été baptisé « l'atténuation interzone ». Il peut s'agir de l'atténuation interzone du plafond, ou de celle du mobilier utilisé en tant qu'écran acoustique ou encore de celle du son réfléchi par les parois verticales du local et par les meubles [1-3].

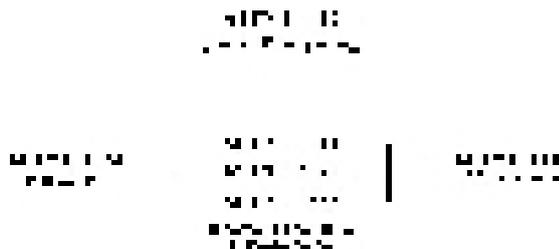


Fig. 2 : Schéma d'organisation des normes ASTM concernant l'acoustique des espaces ouverts. ASTM E 1130 est le pendant *in situ* des cinq autres, qui traitent essentiellement de mesures de performance en laboratoire

Au sein du système ASTM [4-6], ces normes constituent un cadre visant à créer des conditions acoustiques acceptables dans les espaces ouverts. Les équivalents européens de ces normes n'existent pas à ce jour, alors que les espaces ouverts se banalisent, notamment en France. Des efforts sont nécessaires pour fournir aux professionnels des méthodologies et des mesures pertinentes dans le cadre de la conception acoustique des espaces ouverts.



Exemple de bureau ouvert aménagé selon le principe du « cubicle », c'est-à-dire de postes de travail entourés d'écrans plus ou moins hauts

La principale source de gêne dans les espaces ouverts est la voix provenant des postes de travail voisins [7]. C'est pourquoi, la prise en considération des propriétés de la voix est essentielle. Les niveaux ainsi que la directivité de la voix du locuteur ont été étudiés par Warnock et Chu [8,9].

Si plusieurs indices de mesure de l'intelligibilité du discours existent à ce jour, leur trait commun est que la bande de fréquence entre 500 et 5 000 Hz est d'une importance prépondérante.

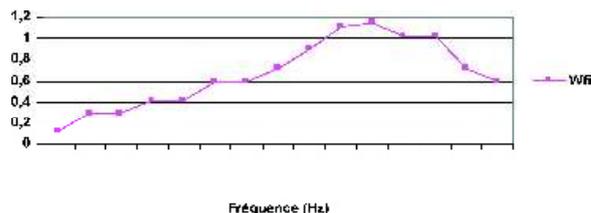


Fig. 3 : Courbe de pondération en fonction de la fréquence du son, pour le calcul de l'indice d'articulation AI. À chaque tiers d'octave est associée une valeur de pondération W_{fi} . On peut noter que les fréquences correspondant aux consonnes contribuant le plus à l'intelligibilité (fricatives, sifflantes et chuintantes), autour de 2000 Hz, sont affectées d'un coefficient de pondération élevé

L'Index d'Articulation (AI) [10] a longtemps été utilisé comme indice simple d'intelligibilité du discours. Aujourd'hui et de plus en plus, il est remplacé par le Speech Intelligibility Index (SII) [11]. En Europe, le Speech Transmission Index (STI) et sa forme simplifiée le Rapid Speech Transmission Index (RASTI) sont souvent utilisés comme indices pratiques et efficaces de l'intelligibilité du discours [12].

Discrétion, confidentialité et intelligibilité

De bonnes conditions acoustiques dans un espace ouvert impliquent généralement une discrétion suffisante entre postes de travail voisins. Par exemple, la norme NF S31-080 [13] établit une distinction entre la discrétion et la confidentialité. La première est définie comme «*situation obtenue lorsqu'un effort est requis pour comprendre le contenu d'une conversation émise d'un poste de travail voisin. Dans ces conditions, la conversation n'est pas une source de distraction*». La confidentialité est, quant à elle, définie comme «*situation obtenue lorsque même avec un effort pour comprendre une conversation émise d'un poste de travail voisin, celle-ci reste incompréhensible*». Le prin-

cipe retenu dans la norme française étant que la discrétion peut être obtenue dans un espace ouvert, alors que la confidentialité s'applique à la situation de postes de travail situés dans des pièces séparées.

Aux Etats-Unis, l'Index d'Articulation associé à ce que la norme française définit comme confidentialité est de 0,05 (*confidential privacy*). Le principe sous-jacent est que pour s'assurer d'une certaine confidentialité entre postes, on vise une mauvaise intelligibilité (AI varie entre 0 (intelligibilité nulle), et 1 (excellente intelligibilité)). L'ASTM 1130 [14] présente un indice simple dérivé de l'Index d'Articulation, appelé Privacy Index (PI). De ce fait, la confidentialité correspond à une valeur de PI de 95% ou plus. La mise en œuvre du PI a été discutée dans un article précédent [15]. L'expérience montre que l'indice plus récent de Speech Intelligibility Index tend à donner des valeurs proches de celles que donnait l'Index d'Articulation. La différence est qu'il inclut des données nouvelles importantes pour l'intelligibilité. En revanche, l'application du SII aux problématiques de discrétion, au même titre qu'on a pu le faire avec l'Index d'Articulation, ne fait pas à ce jour l'unanimité.

Que dit la science ? Que dit la pratique ?

Les études de cas

On se reporte ici à un certain nombre d'études publiées sur le sujet de l'acoustique des espaces ouverts. Des mesures d'Index d'Articulation ont été effectuées, afin d'établir un certain nombre de recommandations générales pour les bureaux ouverts [16,17]. D'autres études se sont intéressées à l'influence de différentes situations de travail de bureau sur la discrétion, que ce soit la présence de bruits masquants, l'incidence de l'effort vocal, la présence d'écrans, l'orientation du locuteur et l'absorption du plafond [18-21].



La discrétion est le degré d'isolement maximal entre postes de travail qui peut être obtenu en espace ouvert. La confidentialité est réservée, au mieux, à une configuration de bureaux individuels séparés par des cloisons toute hauteur

Les modèles numériques

Afin d'optimiser la conception acoustique des espaces ouverts, des modèles numériques peuvent s'avérer pratiques, notamment du fait de leur généralité. Dans une série d'articles [22-25], Wang et Bradley ont présenté un modèle mathématique pour prédire le Speech Intelligibility Index derrière un simple écran et entre deux postes de travail rectangulaires (aussi dénommés *cubicles*) dans un espace ouvert. Le modèle est basé sur la méthode dite de l'image source, à partir de laquelle les réflexions significatives sont calculées pour ce qui est du plafond, du sol et des panneaux à proximité du poste de travail. La diffraction des écrans est prise en considération par un modèle basé sur le travail de Maekawa [26]. Le modèle de Wang et Bradley est utilisé pour étudier l'impact de diverses variables de l'aménagement des espaces ouverts sur la discrétion. Des calculs ont été effectués de façon à évaluer l'effet de la hauteur des écrans de séparation, de l'absorption du plafond, des panneaux à proximité du poste et du sol ainsi que de la taille du poste de travail. Un facteur de correction empirique concernant l'absorption du plafond a été développé, de façon à prendre en compte la présence de luminaires intégrés au plafond, qui couvrent généralement entre 10 et 15% de la surface théorique du plafond. Le modèle a aussi été utilisé par Bradley [27] pour prédire l'effet de différentes caractéristiques inhérentes aux espaces ouverts sur la discrétion ; il en conclut que les facteurs primordiaux pour atteindre un niveau de discrétion « acceptable » sont :

- l'absorption du plafond
- la hauteur des écrans entre postes de travail, et
- la taille des postes de travail (distance entre postes).

L'absorption de l'écran, la transmission des panneaux, l'absorption du sol, la hauteur sous plafond et le type de grille et de capotage des luminaires intégrés sont considérés comme des facteurs secondaires mais non négligeables.

Les calculs indiquent que la valeur de chacun des paramètres doit être proche de l'optimale de manière à créer des conditions de discrétion acceptables dans des espaces ouverts traditionnels.



Fig. 4 : Copie d'écran du site de l'Institut Finlandais de Santé au Travail pour la prévision simplifiée de l'acoustique des bureaux ouverts. En paramétrant les caractéristiques de la pièce, l'outil calcule la valeur d'indices simples comme le rayon de discrétion. L'outil est disponible en finnois, anglais et français. <http://www.ttl.fi/internet/english/advisory+services/acoustiquebureauxouverts.htm#>

Un modèle moins élaboré mais validé par des mesures contradictoires en site et destiné à prédire la valeur de Speech Transmission Index (STI) entre postes de travaux adjacents est présenté par Hongisto, Keränen and Larm [28]. Les calculs sont basés sur des modèles conventionnels d'acoustique de pièce, intégrant des schémas de propagation simples à proximité des postes de travail. Ce modèle est à la base d'un Outil de prévision acoustique pour bureaux ouverts disponible en ligne [31].

Le plafond, composant critique de l'espace ouvert

Cette revue bibliographique converge sur le fait qu'une condition nécessaire à la réussite de l'acoustique d'un espace ouvert est un plafond acoustique à haute performance. En plus de cela, les différents articles pointent sur le besoin de méthodes simples et d'indices d'évaluation uniques décrivant l'efficacité du plafond quant à son absorption et son influence sur la propagation du son. À ce propos, la norme ISO 14257 [29] donne des recommandations concernant la mesure et la caractérisation de la propagation du son dans les grandes salles au moyen du taux de décroissance spatiale par doublement de distance (couramment appelé décroissance spatiale et noté DL2) ainsi que l'excès de pression acoustique par rapport à une source de référence.

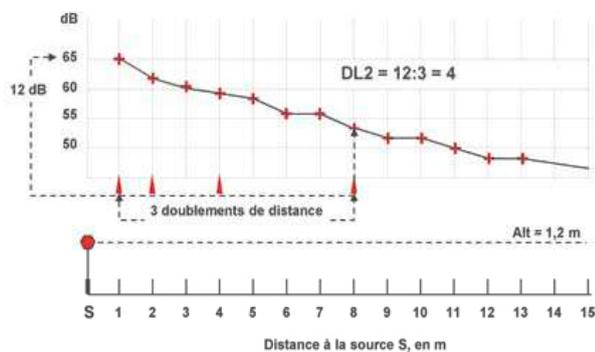


Fig. 5 : Principe schématique de mesure et de calcul du taux de décroissance spatiale DL2. On reporte le niveau de pression acoustique mesuré à chaque mètre le long d'une ligne tracée à partir d'une source. On peut alors calculer de combien le son décroît dans la pièce à chaque fois que l'on double la distance à la source

Projet de norme française sur les espaces ouverts

Ces recommandations sont en passe d'être affinées dans le cadre de la rédaction de la norme ISO 3382-3 sur la mesure des paramètres de l'acoustique des espaces ouverts. De plus, l'AFNOR a entrepris au travers de la commission S30D (Acoustique des lieux de travail) la rédaction du document normatif NF S30-199, complémentaire à la NF S 31-080. La commission S30D se donne pour champ d'application les espaces ouverts aménagés ou en cours d'aménagement. Le principal élément différenciant étant l'activité qui s'y déroule, selon qu'elle implique un grand nombre de sources simultanées, selon le degré d'interaction entre ces sources.



La propagation du son dans les espaces ouverts est réduite en combinant plafond acoustique et meuble de rangement (h = 1,4 m) entre postes de travail. ITT Flygt, Stockholm. Architecte : Strategisk Arkitektur. Photo : Åke E:son Lindman

Conclusion

Le sujet de l'acoustique des espaces de bureaux ouverts n'est pas nouveau. Certaines connaissances ont plus de quarante ans. Les méthodes et les outils existent et ne demandent qu'à être validés dans des contextes différents. Cependant, le sujet est complexe et demande à être approfondi. Les avancées technologiques, tant dans le domaine de la mesure en site que dans celui de la caractérisation de performance, ouvrent de nouvelles perspectives pour encore mieux comprendre, cerner et surtout répondre à une question qui concerne un nombre croissant d'entre nous : le confort acoustique en open space.

Références bibliographiques

- [1] The American Society for Testing and Materials, «Standard Test Method for Measuring the Interzone Attenuation of Ceiling Systems», dans ASTM E 1111, 2002.
- [2] The American Society for Testing and Materials, «Standard Test Method for Measuring the Interzone Attenuation of Furniture Panels used as Acoustical Barriers», dans ASTM E 1375, 2002.
- [3] The American Society for Testing and Materials, «Standard Test Method for Measuring the Interzone Attenuation of Sound Reflected by Wall Finishes and Furniture Panels» dans ASTM E 1376, 2002.
- [4] The American Society for Testing and Materials, «Standard Guide for Open Office Acoustics and Applicable ASTM Standards» dans ASTM 1374, 2002.
- [5] The American Society for Testing and Materials, «Standard Test Method for Objective Measurement of Speech Privacy in Open Offices using Articulation Class» dans ASTM 1130, 2002.
- [6] The American Society for Testing and Materials, «Standard Classification for Determination of Articulation Class», dans ASTM E1110, 2001.
- [7] J. Nemecek, E. Grandjean: Results of an ergonomic investigation of large-space offices. *Human Factors* 15 (1973) 111-124.
- [8] Warnock ACC, Chu WT. Speech levels in open-plan offices. *Canadian Acoustics*, Vol.30, No.3, 2002.
- [9] Warnock ACC, Chu WT and Guy J-C. Directivity of human talkers. *Canadian Acoustics*, Vol.30, No.3, 2002.
- [10] ANSI S3.5 :1969. American National Standard Methods for the calculation of the Articulation Index, Acoustical Society of America, New York, USA.
- [11] ANSI S3.5 :1997. American National Standard Methods for Calculation of Speech Intelligibility Index, Acoustical Society of America, New York, USA.
- [12] ISO 9921 :2003. Ergonomie - Évaluation de la communication parlée
- [13] NF S31-080 :2006. Acoustique - Bureaux et espaces associés - Niveaux et critères de performances acoustiques par type d'espace
- [14] The American Society for Testing and Materials, «Standard Test Method for Objective Measurement of Speech Privacy in Open Offices using Articulation Class» appendixes X2, in ASTM 1130, 2002.
- [15] Andersson N-Å, Chigot P. Is the Privacy Index a good indicator for acoustic comfort in an open plan area. *Inter-noise 2004*, Prague, 2004.
- [16] Warnock ACC. Acoustical privacy in the landscape office. *Journal of the Acoustical Society of America* 1973; 53(6): 1535-43.
- [17] Herbert RK. Use of the Articulation Index to evaluate acoustical privacy in the open office. *Noise Control Engineering Journal* 1978; september-october: 64-7.
- [18] Warnock ACC. Studies of acoustical parameters in open-plan offices. *Journal of the Acoustical Society of America* 1978; 64(3): 832-40.
- [19] Pirn R. Acoustical variables in open planning. *Journal of the Acoustical Society of America* 1971; 49(5): 1339-45.
- [20] Chan KK, To WM. Improving speech privacy in an open plan office. *Inter-noise96*, Liverpool, 1996. Institute of Acoustics, St. Albans, UK. P.1855-8.
- [21] Moreland JB. Role of the screen on speech privacy in open plan offices. *Noise Control Engineering Journal* 1988; 30(2): 43-56.
- [22] Wang C, Bradley JS. A mathematical model for a single screen barrier in open-plan offices. *Applied Acoustics* 2002; 63(8): 849-66.
- [23] Wang C, Bradley JS. Prediction of the speech intelligibility index behind a single screen in an open-plan office. *Applied Acoustics* 2002; 63(8): 867-83.
- [24] Wang C, Bradley JS. Sound propagation between two adjacent rectangular workstations in an open-plan office - part I: mathematical modeling. *Applied Acoustics* 2002; 63(12): 1335-52.
- [25] Wang C, Bradley JS. Sound propagation between two adjacent rectangular workstations in an open-plan office - part II: 2002; 63(12): 1353-1374.
- [26] Maekawa Z. Noise reduction by screens. *Applied Acoustics* 1968; 1: 157-73.
- [27] Bradley JS. The Acoustical design of conventional open-plan offices. *Canadian Acoustics*. Vol.31, No.2, 2003.
- [28] Hongisto V, Keränen J and Larm P. Simple Model for the Acoustical Design of Open-Plan Offices. *Acta Acustica united with Acustica*. 2004, Vol.90, 481-495.
- [29] ISO 14257 :2001. Acoustics - Measurement and parametric description of spatial sound distribution curves in workrooms for evaluation of their acoustical performance.
- [30] ISO 3382:3. Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 3: Open plan spaces
- [31] <http://www.ttl.fi/internet/english/advisory+services/acoustiquebureauxouverts.htm>