

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Immeubles de bureaux à inertie de dalle : contraintes de correction acoustique, incidence sur la performance thermique et interaction des systèmes

Pierre Chigot

Saint-Gobain ECOPHON, 19, rue Emile Zola, BP 30030, 60291 RANTIGNY, France

La performance thermique est de plus en plus une préoccupation en phase de programmation et de conception des immeubles de bureaux. Pour cela, le confort thermique peut être géré par mobilisation de l'inertie de la dalle béton, qui impose de découvrir la structure des parements de second œuvre traditionnels, comme les plafonds acoustiques. L'enjeu est de concilier cette contrainte avec les objectifs de correction acoustique des espaces de bureaux - réverbération et propagation. Pour cela, une campagne d'essais a été conduite suivant la norme EN 14240:2004. Deux configurations de traitement par éléments discrets ont été testées, couvrant environ 45% de la surface du local. Deux hauteurs de suspension sous la dalle béton ont été utilisées. L'incidence mesurée sur l'efficacité de l'échange thermique est bien inférieure au taux de couverture. Cela laisse penser que la part de l'échange liée au rayonnement - plus soumise à l'effet masquant des traitements acoustiques - est moins importante que la part liée à la convection. Aussi, plus l'élément acoustique est suspendu bas, plus la circulation de l'air autour du panneau est facilitée. Selon le même principe, plus la distance entre l'élément absorbant et la sous face de dalle est grande, meilleure est la performance d'absorption, du fait que l'énergie acoustique se répartit mieux autour du panneau. Ces mesures pointent sur la nécessité de descripteurs appropriés, tels l'Aire d'Absorption Equivalente, pour caractériser la performance des éléments flottants. Plusieurs projets réalisés confirment d'ores et déjà qu'on peut obtenir un confort acoustique satisfaisant dans les bureaux où le confort thermique est résolu par mobilisation de l'inertie de la dalle béton. Ces mêmes projets pointent aussi sur la nécessité d'une meilleure gestion de l'interaction des traitements acoustiques avec les éléments de gros-œuvre préfabriqués, l'éclairage, la ventilation ou encore l'alimentation électrique

1 Introduction

Les enjeux énergétiques dans les bureaux sont importants. Le chauffage et la climatisation représentent plus de la moitié de la consommation énergétique d'un bâtiment de bureau récemment construit. Ces dernières années ont vu la montée en puissance de labels et certifications de performance environnementale, très axés sur la consommation énergétique. Il y a donc un intérêt fort pour le maître d'ouvrage, qui va probablement se traduire par un emploi accru de techniques de régulation thermique remettant en question l'existence des éléments de second œuvre tels que le plafond suspendu. En même temps, les normes et les référentiels pour la conception acoustique des bureaux pointent vers des exigences de correction relativement aigües. Comment maintenir à un bon niveau à la fois le confort thermique et le confort acoustique ? L'objet de ce papier est de décrire et quantifier l'incidence des traitements acoustiques sur la régulation thermique par inertie, dans un contexte où les exigences acoustique concernant les bureaux se font de plus en plus précises et élevées.

2 Performance thermique des immeubles de bureaux

A ce jour, la réglementation sur la performance énergétique des immeubles de bureaux définit une cible à 50 kWh/m²/an pour la consommation énergétique totale d'un bâtiment en activité. On considère en général que la consommation énergétique d'un immeuble de bureaux se

répartit entre 40% pour les équipements de bureaux (ordinateurs, serveurs, copieurs, etc.), 40% pour l'éclairage et 20% pour la ventilation et la régulation thermique.

Une manière efficace d'atteindre cette valeur cible est de supprimer un poste gourmand en énergie : la climatisation. C'est ce que l'on voit déjà, au moins partiellement dans un certain nombre de projets, comme Mediacom3 à Saint-Denis ou encore le projet 6NERGY+ à Toulouse. On fait alors appel à l'inertie thermique du gros œuvre, c'est-à-dire de la dalle béton et des murs porteurs, pour assurer la régulation thermique d'été. Pour des raisons de physique, la surface qui a la contribution la plus forte est le plafond.

2.1 Rafraîchissement d'été : enjeu énergétique des immeubles de bureaux

L'enjeu énergétique pour les immeubles de bureaux est donc de prévenir la surchauffe d'été en s'affranchissant autant que possible de systèmes gourmands en énergie comme les climatiseurs. Le potentiel d'économie est important puisque la consommation énergétique liée au rafraîchissement d'un immeuble de bureau peut être jusqu'à trois fois supérieure à celle liée au chauffage. Une des techniques à la disposition des concepteurs est celle de la surventilation nocturne, associée à des bâtiments à forte inertie.

2.2 Surventilation et inertie thermique

Le principe est que la structure du bâtiment, et notamment la sous-face des planchers participe au rafraîchissement de l'air pendant les journées d'été. Pour

cela, on aura pendant la nuit chargé en froid les éléments constructifs à forte inertie, donc de masse volumique importante – typiquement le gros œuvre. Pour ce faire, on aura provoqué un courant d'air transversal au bâtiment grâce à l'ouverture mécanisée des ouvrants de façades principales. C'est la surventilation nocturne. Avant l'arrivée des occupants, les ouvrants se referment de façon à pouvoir bénéficier de l'effet d'inertie. Le froid emmagasiné durant la nuit est ensuite lentement restitué aux utilisateurs pendant la journée de travail, cependant que la température de l'air extérieur montera. Le transfert d'énergie entre les parois à forte inertie, dont les plafonds (sous face de planchers) se fait alors pour partie par rayonnement et pour partie par convection. La technique a ses limites et on doit ponctuellement accepter un inconfort relatif avec des températures de 26 à 28°C quelques jours par an.

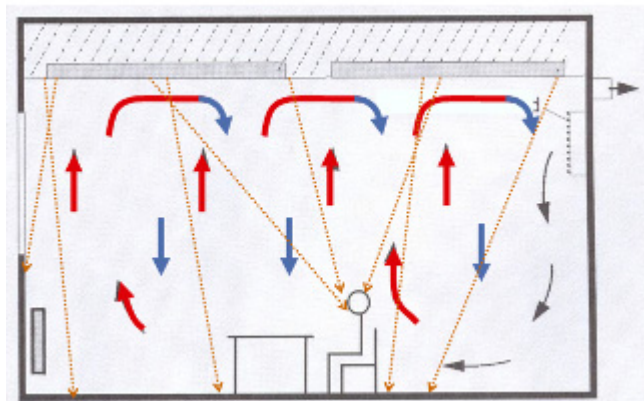


Figure 1 : Schéma de contribution de l'inertie de la dalle béton au confort thermique d'été, principalement par convection et accessoirement par rayonnement. L'air chaud (en rouge) monte, se rafraîchit au contact de la sous face de dalle béton plus froide et redescend dans la pièce. Les lignes pointillées schématisent le rayonnement.

Ce type de technique de régulation thermique ne permet pas de travailler avec des plafonds suspendus traditionnels, couvrant les pièces de mur à mur, du fait que le plafond ainsi interposé entre la dalle béton et les utilisateurs aurait un effet masquant vis-à-vis du rayonnement et annulerait toute convection.

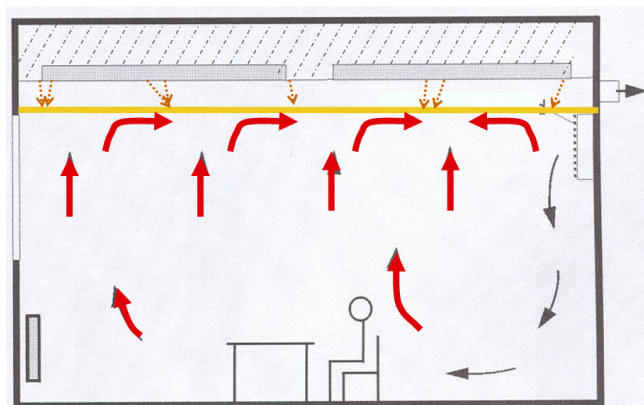


Figure 2 : Schéma de principe d'interaction entre un plafond acoustique continu et les phénomènes d'échange thermiques. Le plafond fait à la fois obstacle à l'échange par rayonnement et par convection.

3 Traitement acoustique des espaces ouverts

Parallèlement, on a vu ces dernières années une attention accrue au confort acoustique dans les bureaux. Le Code du travail ne spécifie rien de précis et pertinent en matière de correction d'acoustique dans les bureaux. En revanche deux autres documents, la Norme NF S31-080 [1] et le référentiel HQE "Bâtiments tertiaires" [2] fixent (Cible 9, Acoustique) les objectifs permettant d'assurer un confort acoustique aux utilisateurs. Ces deux référentiels de performance proposent trois valeurs de cibles à atteindre : Courant, Performant et Très Performant pour la norme et Base, Performant et Très Performant pour le référentiel HQE. S'ils restent muets quant aux moyens à mettre en œuvre pour les atteindre, ils expriment leurs exigences de manière différente.

3.1 Norme NF S31-080

La norme NF S31-080 associe des valeurs chiffrées aux principaux types de bruits et aux unités qui les mesurent. Pour la correction acoustique dans les espaces de bureaux ouverts la norme préconise une valeur de taux de décroissance spatiale par doublement de distance (DL2). Pour une pièce de 250 m³ ou plus (soit environ 100 m²), la décroissance spatiale devra être de 3 dB au moins pour un niveau Performant et de 4 dB pour un niveau Très Performant.

3.2 Référentiel HQE Bureaux

Le référentiel HQE exprime, quant à lui, une valeur d'Aire d'Absorption Equivalente ($\alpha \cdot S$), traduisant une quantité d'absorption. Pour atteindre le niveau *Base*, l'Aire d'Absorption Equivalente cumulée du sol et du plafond ($AAE_{\text{sol+plafond}}$) devra être supérieure à $0,6 \cdot \text{surface au sol}$. Pour le niveau *Performant*, $AAE_{\text{sol+plafond}}$ devra être supérieure à 0,75 fois l'aire cumulée plafond plus sol. C'est une dégradation par rapport à la précédente version du référentiel (2006), qui faisait porter la même exigence à la seule surface du plafond. Sachant que l'absorption des revêtements de sol est très faible, il faut en pratique que le plafond seul permette d'atteindre une valeur proche de ces objectifs. Ce qui pour le niveau *Performant* peut se traduire par :

- 100% de la surface du plafond couverte par un matériau de coefficient d'absorption 0,75.
- 75% de la surface du plafond couverte par un matériau absorbant de coefficient d'absorption 1.

3.3 Moins de surface pour plus de performance

Le plafond est en effet la surface la plus nue et la plus uniformément en contact avec la pièce. C'est d'autant plus vrai que l'on a affaire à un espace de bureau décloisonné et ouvert (open space). Dans ce type d'espaces, les murs ne comptent que pour une faible proportion de la surface au sol. Dans le cas de bâtiments utilisant la régulation thermique par inertie, de tels espaces ouverts seront délimités par des parois lourdes et réfléchissantes. Ce qui en complique encore le traitement du point de vue de la propagation du son. Même si des compensations vont pouvoir ponctuellement être trouvées grâce à des mobiliers revêtus de surfaces absorbantes (dos d'armoires,

cloisonnettes, écrans), le plafond reste une surface cruciale pour le traitement acoustique des espaces ouverts à inertie thermique. Le traitement acoustique des immeubles à inertie de dalle fait donc apparaître une contradiction :

- d'une part une augmentation de la quantité totale d'absorption nécessaire.
- d'autre part une réduction des surfaces disponibles pour le traitement acoustique.

La résultante théorique étant que les solutions doivent être de plus en plus performantes par unité de surface, comment quantifier leurs performances acoustiques et thermiques ?



Figure 3 : Solutions acoustiques flottantes à base de laine de verre, 1998, IMP Publ., Malmö, Suède (Photo: Ecophon)

4 Caractérisation de performance des solutions acoustiques flottantes

Depuis plus de dix ans sont développées des solutions de plafond acoustique flottant et discontinu à base de laine de verre. Elles sont disposées de manière suffisamment espacée pour ne pas entraver l'échange thermique. Si le principe est simple, il est cependant apparu nécessaire d'en décrire les performances de manière précise. Notamment à pouvoir fournir des données d'entrée aux simulations thermiques dynamiques de plus en plus fines qui sont effectuées pour prédire la consommation énergétique des immeubles en vue de leur certification environnementale. Pour cela des études ont été faites, pour :

- Quantifier l'incidence d'un plafond discontinu sur les échanges thermiques entre sous face de dalle et pièce et d'évaluer la part d'échange par rayonnement respectivement convection.
- Caractériser la performance acoustique des solutions de plafond discontinues en la corrélant à l'apport d'absorption d'un plafond acoustique déployé sur la totalité de la surface d'une pièce.

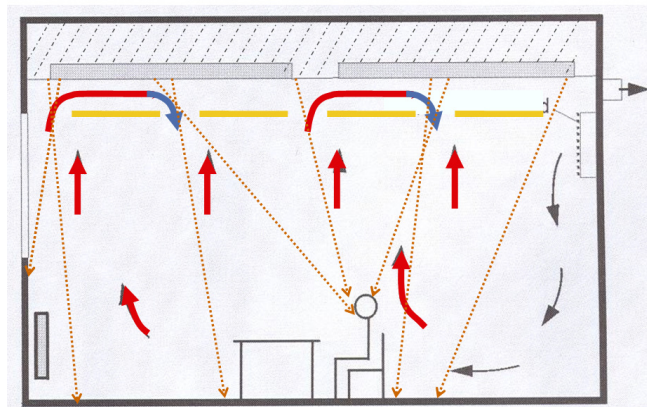


Figure 4 : Schéma de principe d'interaction entre un plafond acoustique discontinu et les phénomènes d'échange thermiques. Les éléments acoustiques flottants doivent être espacés de façon à ne pas entraver ni la convection, ni le rayonnement

4.1 Incidence sur les échanges thermiques

Pour mesurer l'efficacité d'une telle solution une campagne d'essais a été conduite à l'Institut de Recherche Suédois SP. Cette étude, intitulée "Influence des solutions acoustiques sur l'échange thermique et l'effet de rafraîchissement d'été" s'appuie sur la norme NF EN 14240:2004 - Ventilation des bâtiments - Plafonds refroidis - Essais et évaluation [3], ainsi que sur la norme NF EN 14518:2005, Ventilation des bâtiments - Poutres froides - Essais et évaluation des poutres froides passives [4]. Les mesures sont faites dans une chambre de mesures thermiques consistant en deux pièces gigognes : la pièce 2 est à l'intérieur du local 1. La pièce 2 est pourvue d'un plafond rafraîchissant métallique fonctionnant à l'eau. A partir du gradient de température entre l'eau entrante et l'eau sortante et du débit, on peut calculer l'effet « plein régime » du plafond. Cet effet « plein régime » sera ensuite plus ou moins dégradé par l'interposition de solutions acoustiques entre le plafond rafraîchissant et les capteurs situés dans la pièce.

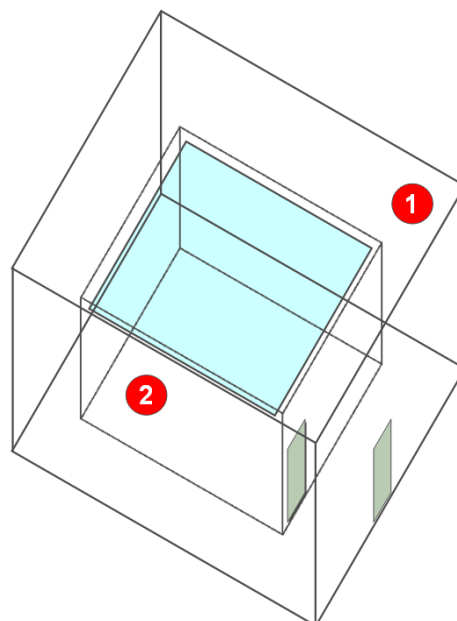


Figure 5 : Axonométrie de principe de la chambre d'essais thermique, laboratoire SP, Suède. Le rectangle bleu figure le plafond rafraîchissant.

La procédure de test consiste à rétablir pour chaque configuration la température de la petite pièce (2) obtenue dans la situation de référence (pièce (2) vide de solutions acoustiques) en abaissant la température du grand local (1). L'élément variant étant la température de l'eau sortant du plafond rafraîchissant, on calcule l'effet de rafraîchissement pour chaque configuration, pour enfin comparer avec la situation de « plein régime ». L'écart en % entre ces deux valeurs exprime alors la dégradation de l'effet de rafraîchissant potentiel du plafond dû aux solutions acoustiques.

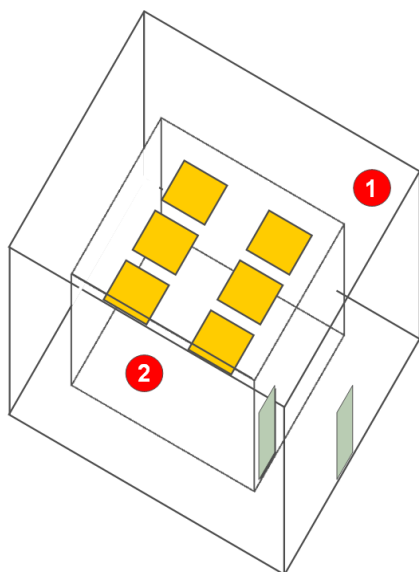


Figure 6 : Axonométrie de principe montrant une des configurations testées, à base de panneaux de 1,2 m * 1,2 m, hauteur de suspension de 0,8 m. (le plafond rafraîchissant n'est pas représenté)

Deux configurations de traitement acoustiques ont été testées 6 éléments de 1,2 m x 1,2 m, a été suspendu à deux hauteurs différentes sous la dalle béton : 200 mm et 800 mm. La surface cumulée des panneaux est de 8,5 m², ce qui représente environ 45% de la surface du local, soit la valeur médiane de l'intervalle préconisé à ce jour par les bureaux d'études thermiques, et qui va de 30% à 60% selon les projets.

4.2 Thermique : résultats et interprétation

On constate alors une dégradation de l'effet d'échange thermique du fait de la présence des éléments acoustiques de 16% lorsque les éléments sont suspendus à 200 mm et de 12 % lorsqu'ils sont suspendus à 800 mm. Plus l'élément acoustique est suspendu bas, mieux se fait le transfert d'énergie. Le paramètre de l'écart entre les panneaux et lus la convection de l'air autour du panneau est facilitée. Ce qui porte à penser que la dimension « convection » dans le transfert d'énergie entre la sous face de plafond béton et l'utilisateur pendant les chaudes journées d'été est au moins aussi importante que la dimension rayonnement.

Les valeurs de dégradation par rapport à la situation de référence « plein régime » s'avèrent d'ailleurs être plus basses que ne le laissaient penser des simulations

numériques préalables. Cet écart semble trouver son explication dans la sous-estimation des phénomènes convectifs. Cette hypothèse est confortée par le constat d'une relative instabilité de la température entre les six points de mesure répartis dans la pièce au cours du temps. Par ailleurs, une étude menée par Peutz et associés [5] conclut dans des termes similaires que « la réduction de la part rayonnement de l'échange thermique est inférieure au taux de couverture du plafond ».

4.3 Indice de caractérisation acoustique

La caractérisation de la performance acoustique des solutions acoustiques flottantes est faite au moyen de l'aire d'absorption équivalente. En effet, les solutions acoustiques flottantes sont monolithiques. Elles sont déployées dans le cadre d'un projet sous la forme d'un nombre entier d'unités, et non un nombre de m². Elles sont donc plus des objets qu'une surface. Une vingtaine de configurations ont été testées et compilées [6], combinant trois tailles de panneaux flottant, différentes hauteurs de suspension, panneaux seuls ou groupés, différents écarts entre panneaux groupés, etc. Pour chaque configuration, l'aire d'absorption équivalente par bande d'octave est présentée.

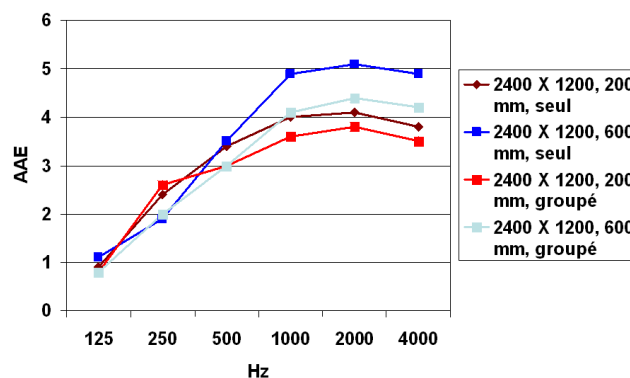


Figure 7 : Exemples de courbe d'aire d'absorption équivalente, pour des éléments acoustiques de 2,4 * 1,2 m

On constate que les deux principaux paramètres agissant sur la performance acoustique sont la hauteur de suspension des panneaux et ensuite l'écart entre panneaux. Plus la hauteur de suspension est grande, plus l'aire d'absorption équivalente est grande (jusqu'à atteindre mi hauteur de la pièce). Un panneau trop près de la dalle ne travaille que sur une face et deux panneaux trop proches l'un de l'autre se gênent puisque l'énergie acoustique ne pourra pas correctement se distribuer autour des panneaux. Selon le même principe que pour la performance thermique, plus l'énergie acoustique se répartit autour du panneau, plus la face arrière (celle qui fait face au plafond) est rendue accessible à l'énergie sonore pour y être absorbée, et plus la performance totale du panneau est élevée.

Afin de simplifier l'application de ces résultats dans le cadre de projets, la valeur moyenne de l'aire d'absorption équivalente aux bandes d'octaves 500, 1000 et 2000 Hz est calculée. Cette valeur est ensuite divisée par la surface d'une face de panneau. Le résultat est généralement proche de 1,5. On peut donc dire que 1 m² de panneau flottant amène la même quantité d'absorption à la pièce que 1,5 m² de plafond acoustique de même matériau, mais à plénum fermé. Par conséquent, en couvrant l'équivalent de 60% (1/1,5) de la surface d'une pièce avec panneaux acoustiques

flottants, on y crée des conditions d'absorption comparables à celle de la même pièce couverte entièrement d'un plafond fait du même matériau.

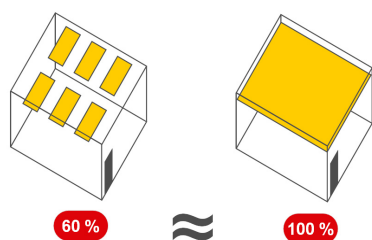


Figure 8 : Principe d'équivalence simplifiée de la contribution de panneaux acoustiques flottants et d'un plafond acoustique traditionnel fait du même matériau et couvrant 100% de la surface d'une pièce (plénum fermé).

Des travaux restent à faire concernant la performance acoustique des éléments flottants à l'atténuation de la propagation du son, préférablement sur la base du système de normalisation nord américain ASTM, basé sur la mesure de l'atténuation interzone. Nous sommes en train de constituer une base de données compilant les résultats de mesures in situ de décroissance spatiale dans des espaces de bureaux ouverts traités au moyen de solutions acoustiques flottantes. Les premières indications est que l'on obtient une bonne corrélation entre ces résultats et ce que l'on peut estimer de la décroissance spatiale sous un plafond continu. Si l'on met ces résultats en regard des valeurs cibles proposées par le Référentiel HQE et présentées plus haut ($AAE_{sol+plafond} > 0,75 \cdot \text{surface au sol pour le niveau Performant}$), il semble de fait possible de concilier confort acoustique et performance thermique par inertie de dalle.

5 Conclusion

L'influence des solutions acoustiques flottantes sur l'échange thermique est limitée. La dégradation d'effet rafraîchissant par rapport à la situation de « plein régime » sans traitement acoustique a été quantifiée de 15 à 20 %. De plus, il a été montré que la réduction de la part « rayonnement » de l'échange thermique est inférieure au taux de couverture du plafond, indiquant que la part convective est plus importante que la part rayonnante dans l'échange thermique entre la sous face de plancher béton et le local. La performance acoustique des solutions flottantes est présentée par l'aire d'absorption équivalente dans différentes configurations. L'application simplifiée de ces résultats indique qu'un taux de couverture du plafond de l'ordre de 60% permet de créer des conditions acoustiques proches de ce qu'elles seraient si on couvrait le même local avec un plafond de même nature à plénum fermé. Il semble par conséquent possible d'obtenir un confort acoustique satisfaisant (correspondant au niveau Performant du référentiel HQE) dans les bureaux à haute performance énergétique où le confort thermique est résolu, totalement ou partiellement, par mobilisation de l'inertie de la dalle béton.

Au-delà de ces principes, chaque projet de bureau reste unique. Les critères de confort devront être validés par les utilisateurs et les concepteurs d'espaces, et interprétés et traduits par les experts thermiciens et acousticiens.

Pour cela, il faut que les différents points de vue puissent être confrontés très tôt dans le projet, idéalement dès le stade de la programmation. C'est à cette condition que pourra se faire un arbitrage éclairé.

Références

- [1] Référentiel pour la qualité environnementale des bâtiments bureau/enseignement, Certivea, décembre 2008
- [2] NF S31-080, Acoustique - Bureaux et espaces associés - Niveaux et critères de performances acoustiques par type d'espace, janvier 2006
- [3] NF EN 14240:2004 - Ventilation des bâtiments Plafonds refroidis - Essais et évaluation
- [4] NF EN 14518:2005, Ventilation des bâtiments - Poutres froides - Essais et évaluation des poutres froides passives.
- [5] Peperkamp, H., Vercammen, M., Thermically activated concrete slabs and suspended ceilings, NAG-DAGA proceedings, 2009
- [6] Determination of equivalent sound absorption area in a reverberation room according to ISO 354, SP Laboratory, 2008, 38 p