

## **Combiner la technologie de refroidissement active et une contrainte acoustique élevée : résultats de mesures acoustiques et thermiques sur un exemple réel**

Y. Le Muet<sup>a</sup> et M. Asselineau<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Saint-Gobain Ecophon, 19 rue Emile Zola, 60290 Rantigny, France

<sup>b</sup>PEUTZ & Associés, 10 B rue des Messageries, F95200 Paris, France  
yoan.le-muet@saint-gobain.com

Les nouveaux bâtiments de bureaux utilisent la capacité calorifique de la structure pour apporter un confort thermique. Cette technique procure des conditions thermiques stables et est perçue comme étant une solution à long terme économe d'énergie. A priori, ce type de technique n'est pas compatible avec les plafonds suspendus traditionnels qui couvrent une salle de mur à mur. Cela est dû au fait que le plafond, positionné entre le soffite et les utilisateurs, constituerait un masque pour le rayonnement thermique et empêcherait la convection. Comment peut-on alors quantifier leur impact acoustique et thermique sur la capacité de rayonnement de la dalle ? En vue de mieux connaître le sujet nous avons réalisé des mesures dynamiques en période d'été de juin à août 2012 dans l'immeuble Woopa à Lyon. Le but de cette recherche était de quantifier la réduction de la capacité de refroidissement due à la présence d'un plafond suspendu en laine de verre en mesurant l'augmentation de température dans la pièce. Le but de cet article est de montrer les essais acoustiques et thermiques qui ont été menés, les conditions d'essais, le mode opératoire utilisé, et également de présenter des exemples de projets et de fournir des données pour encourager le dialogue et la coordination entre l'acousticien et les autres disciplines de l'ingénierie du bâtiment.

## 1 Introduction

### 1.1 Tendances en Europe

Les performances thermiques sont de plus en plus souvent prises en compte lors de la programmation et de la conception des bâtiments européens de bureau. Avec des inquiétudes quant aux changements climatiques, une législation plus sévère et une pression politique pour atteindre les objectifs de développement durable, la tendance à concevoir des bâtiments économes en énergie continue à croître. Une façon populaire de concevoir des bâtiments économes en énergie consiste à faire appel à un système de bâtiment thermiquement activé (TABS). TABS crée un système de refroidissement efficace en utilisant la masse thermique du bâtiment, le béton gardant la chaleur à l'extérieur pendant la journée, maintenant un intérieur frais. C'est une approche qui est de plus en plus utilisée pour les nouveaux bâtiments en France, Allemagne, Suisse, Royaume-Uni et Benelux.

Beaucoup de ces bureaux utilisent la capacité thermique de la masse structurelle pour fournir un confort thermique. Les enjeux thermiques requièrent que la structure (typiquement en béton) demeure exposée à l'environnement de la pièce. Les aménagements traditionnels, tels que les plafonds suspendus de mur à mur, ont la réputation d'être inadaptés. Le challenge est de combiner cette contrainte avec les contraintes acoustiques pour les espaces de bureaux, qui sont décrites par la durée de réverbération (TR) et la décroissance spatiale (D2s) qui caractérise la propagation. Les projets faisant appel à l'inertie mettent en évidence l'importance de l'interaction des traitements acoustiques avec les éléments en béton (préfabriqués), l'éclairage, la ventilation, et la gestion du câblage. Ils mettent finalement l'emphase sur la nécessité d'un dialogue et d'une coordination entre l'acousticien et les autres spécialistes de l'ingénierie du bâtiment.

Actuellement, la plupart des réglementations relatives aux performances thermiques des bâtiments de bureaux fixent des objectifs ambitieux d'environ 50 kWhPE/m<sup>2</sup>/an pour la consommation totale d'énergie du bâtiment en fonctionnement. En général, la consommation d'énergie d'un bâtiment de bureaux est partagée à raison de 40% pour les

équipements (ordinateurs, serveurs, copieurs, etc.), 40% pour l'éclairage et 20% pour la ventilation et le conditionnement d'air. Une manière efficace d'atteindre cet objectif est d'éviter le conditionnement d'air, qui est gros consommateur d'énergie. La solution est d'utiliser la masse thermique de l'âme béton, dénudant les murs, soffites, etc. pour le refroidissement d'été. Pour des raisons physiques, la surface supposée contribuer le plus au confort est supposé être le plafond [1]. De ce fait, la dalle devrait être exposée à la pièce autant que possible de manière à faciliter les échanges énergétiques. Le principe est que la structure du bâtiment, et particulièrement la dalle, contribuent au refroidissement de l'air pendant les journées d'été. Les transferts énergétiques entre éléments à haute masse thermique et la pièce s'effectuent par convection et par rayonnement.

Cependant alors que TABS est une approche reconnue pour faire face aux exigences de la réglementation thermique, elle crée ses propres challenges en termes de propagation sonore et de confort acoustique. Le béton nécessaire au refroidissement réfléchit l'énergie acoustique au lieu de l'absorber et se comporte comme un miroir acoustique. Les échos, les sons amplifiés, et même la voix normale, se propagent plus loin dans les espaces ouverts. La concentration est affectée et il devient difficile de communiquer sans déranger les autres. Bien que ces enjeux aient déjà été mis en évidence dans les bureaux avec un traitement acoustique insuffisant, d'autres enjeux risquent de survenir au fur et à mesure de l'extension du concept TABS à d'autres secteurs comme l'éducation et la santé.

### Mesurages antérieurs

En 2008, au SP, l'Institut Suédois de Recherche Technique, nous avons réalisé des essais en vue d'estimer l'influence de dalles de plafond sur la capacité de refroidissement en se référant à la Norme Européenne EN 14240:2004 - Ventilation des bâtiments [2].

Les mesurages ont été effectués dans une « boîte dans la boîte » (Cf. Illustration 1). La pièce intérieure a été équipée d'un plafond à refroidissement liquide. Au moyen de la différence de température entre l'arrivée et le départ de l'eau,

ainsi que du débit, on peut calculer le « plein régime » de l'effet de refroidissement sur la surface du plafond. Cet effet de plein régime est alors plus ou moins dégradé en positionnant des éléments suspendus horizontalement entre le plafond refroidi et les dispositifs de mesure de température placés dans la pièce.

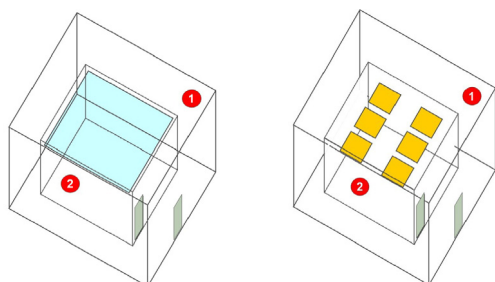


Illustration 1: Vue axonométrique du système de mesure au SP, Institut Suédois de Recherche Technique. En bleu, le plafond refroidi par eau. En jaune, les dalles de laine de verre. 1 hors de la pièce ; 2 dans la pièce.

La procédure d'essais implique que la température de la pièce (2) soit maintenue constante en modulant la température de la pièce (1). Comme le paramètre variable est la température de l'eau en sortie du plafond refroidi, il est possible de calculer l'effet de refroidissement effectif du plafond dans la pièce pour chaque configuration de panneaux suspendus horizontalement. La comparaison avec la situation de plein régime est exprimée en %. Par exemple, une diminution de 20% (avec des éléments suspendus horizontalement) signifie que l'effet de refroidissement effectif dans la pièce est 80% de celui obtenu avec l'effet de plain régime (pièce vide sans éléments suspendus) [3]. Pour un taux de couverture de 45%, la chute de l'effet de refroidissement aurait dû être de 45%. Au contraire, les résultats des essais tendent à montrer que, pour le refroidissement par le plafond, la convection constitue un mode de transfert d'énergie plus important que le rayonnement. L'instabilité de la température aux six points de mesure dans la pièce consolide cette hypothèse. Finalement, une étude séparée, menée par la firme Peutz [4] a conclu de manière similaire que « la réduction de la part de rayonnement de la capacité thermique est moins que le pourcentage de couverture du béton par le plafond suspendu ». D'un autre côté, l'aire d'absorption équivalente des éléments de plafond suspendu, aux fréquences moyennes et hautes, est plus efficace que son pourcentage de couverture. En basses fréquences, le plafond non fermé perd de ses performances d'absorption. Pour des situations où la parole est dominante, les moyennes et hautes fréquences prévalent [5].

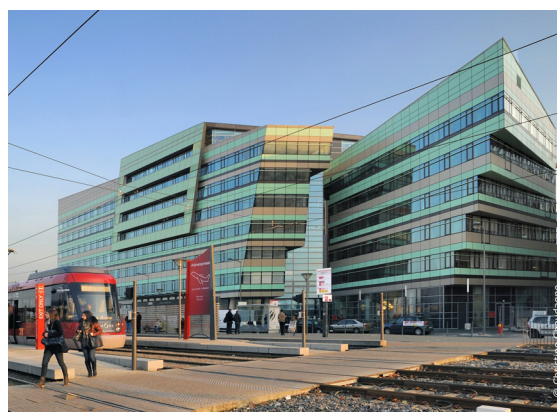
## 1.1 Mesures in situ immeuble «Woopa» à Vaulx-en-Velin (France)

L'utilisation de TABS représente un véritable intérêt sur une longue période de temps. Pour mieux comprendre l'effet à long terme de la couverture par le plafond sur la capacité de refroidissement, des mesurages dynamiques ont été effectués en période estivale entre juin et août 2012. Sur site, des mesurages thermiques et acoustiques ont été réalisés dans l'immeuble de bureaux WOOPA à Vaulx en Velin, avec divers pourcentages de couverture par les unités de plafond suspendu. Les mesurages ont été réalisés dans un petit espace paysager (6 postes de travail) ainsi que dans deux petits bureaux (2 postes de travail). Un résumé de ces mesurages est présenté en table 1.

Table 1 – Liste des mesurages

Configuration	Therm.	Acoust.	Taux
Espace ouvert	Non	Oui	0%;56%
Petit bureau ref.	Oui	Non	0%
Petit bureau test.	Oui	Oui	0%;50%;70%

Des mesurages acoustiques ont été effectués pour voir la capacité à améliorer le ressenti acoustique des bâtiments TABS répondant aux normes nationales et internationales. Ces demandes se sont traduites en termes de propagation sonore, réverbération, niveau de bruit, et distance de confort. Le but des mesures thermiques était de déterminer la différence de température dans les pièces avec des dalles de béton thermiquement activées (TABS) du fait de la présence des éléments de plafond suspendus en laine de verre. Le bâtiment possède des éléments béton à âme activée (au moyen de tuyaux d'eau inclus dans le béton) combinés à des ouvertures de ventilation dans le plafond en béton. Pour améliorer l'acoustique, des éléments d'absorption acoustique sont installés sous le plancher béton. On s'attend à ce que leur présence réduise la capacité de refroidissement des éléments béton à âme activée. Deux pièces appelées « test » et « référence » ont été utilisées pour les mesurages ; ces pièces étaient similaires en termes de dimensions et d'orientation dans le bâtiment.



Photographie 1 – Vue extérieure de l'immeuble  
WOOPA conçu par Thomas Rau.

## 2 MESURAGES

### 2.1 Mesurages acoustiques

Les mesurages acoustiques ont été réalisés dans un petit espace paysager et dans un petit bureau. Le petit bureau "test" a été créé en installant une cloison amovible à l'intérieur du volume de l'espace paysager.

#### 2.1.1 Mesurages en espace paysager

Pour les mesurages acoustiques en espace paysager, les écrans de bureaux ont été recouverts avec des panneaux absorbants (laine de verre haute densité de 4 cm d'épaisseur, hauteur 55 cm) comme illustré sur la photographie 2 (en haut à droite). Les panneaux absorbants suspendus étaient de type Ecophon Solo Square, de dimensions 1200 x 1200 mm et d'épaisseur 40 mm (photographie 2, en bas à droite). La hauteur sous les panneaux était 2.52 m. Les mesurages ont été réalisés avec deux taux de couverture : 56% et 0%. Ces mesurages étaient effectués avec ou sans traitement de la paroi à l'extrémité de la pièce (respectivement « w » et « wo »). Les panneaux absorbants sur la paroi du fond étaient en laine de verre haute densité et en panneaux muraux surfacés tissu.



Photographie 2: en haut à gauche: Vue générale de l'espace paysager – taux de couverture du plafond 0%; en haut à droite : panneaux absorbants à base de laine de verre haute densité de 4 cm ; en bas à gauche : combinaison de deux panneaux absorbants contre le mur ; en bas à droite : unités suspendues - Ecophon Solo square. Longueur moyenne 13.7m, largeur moyenne 4.15m, hauteur sous dalle 2.78m. Surface 54m<sup>2</sup>, volume 150m<sup>3</sup>.

Les mesurages suivants ont été menés avec différents chemins de mesure, selon ISO3382-3 : calibration de la source sonore, niveau de pression acoustique du bruit rose émis par bande d'octave, niveau de pression acoustique du bruit de fond par bande d'octave, et distance à la source sonore.

A partir de ces mesures, il est possible d'obtenir les critères suivants : distribution spatiale du niveau de pression acoustique  $L_{p,S}$  pondéré A de la parole, taux de décroissance spatiale de la parole  $DL_{2,S}$ ,

niveau de pression acoustique  $L_{p,A,S,4m}$  pondéré A de la parole à une distance de 4 m, et distance de confort rC. Les mesurages ont été menés selon deux chemins de mesure, référencés "a" et "b" présentés sur les illustrations 2 et 3.

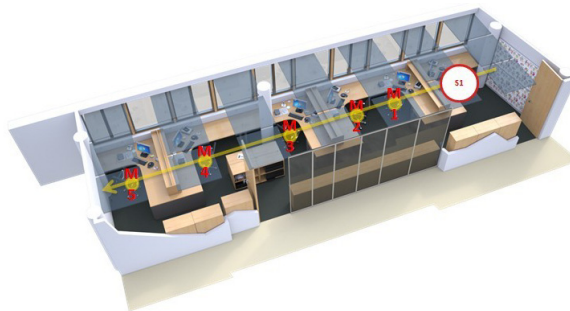


Illustration 2: Cheminement "a": Source en S1 (poste de travail situé à droite), chemin de mesure de droite à gauche.

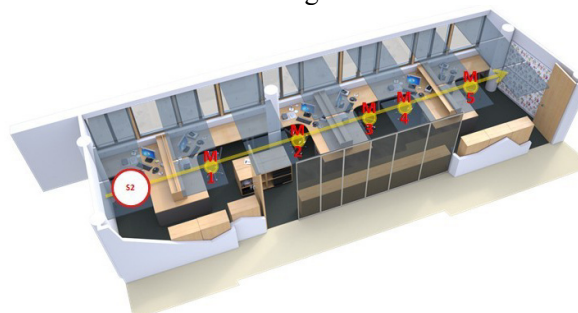


Illustration 3: Cheminement "b": Source en S2 (poste de travail situé à gauche), chemin de mesure de gauche à droite.

Des considérations spécifiques concernant le calcul de certains critères acoustiques sont données ci-après:

Taux de décroissance spatiale de la parole  $D_{2S}$  : selon ISO 3382-3,  $D_{2S}$  devrait être évalué à partir de positions de mesure à des distances comprises entre 4 et 24 m de la source sonore, et la dernière position doit être ignorée si elle est proche d'un mur réfléchissant. De ce fait, la première position (notée M1) et la dernière (notée M5) auraient dû être exclues de la détermination de  $DL_{2S}$ . Mais il a été noté que les résultats calculés avec seulement trois positions (M2 à M4) étaient imprécis et inconsistants. Il semble que le plafond inhomogène (à base de panneaux absorbants avec de grands espaces réfléchissants entre eux) crée de fortes réflexions à certains points alors qu'il n'y en a pas à d'autre, ce qui se traduit par de fortes variations des résultats de mesure en fonction de la position respective de la source sonore et du microphone par rapport aux panneaux de plafond suspendu.

En vue d'obtenir des résultats plus homogènes, il a été décidé d'inclure la dernière position (notée M5) dans la détermination de  $D_{2S}$ , même si elle ne satisfait pas complètement la norme 3382-3. Il a également été noté que la conséquence d'inclure M5 dans la détermination de  $DL_{2,S}$  est que les résultats sont affectés par la nature absorbante ou réfléchissante de la paroi à proximité de M5.

Niveau de pression acoustique pondéré A de la parole à une distance de 4 m  $L_{p,A,S,4m}$  : La détermination du critère  $L_{p,A,S,4m}$  est dérivée du calcul de D2S. En conséquence, les mêmes commentaires sur le choix des positions de mesure incluses dans le calcul et leurs conséquences sont applicables ici.

Distance de confort rC : Un critère appelé distance de confort (en m) a été proposé dans un article de Canto Leyton & Nilson [6] comme indicateur du confort acoustique dans les bureaux. La formule correspondante est présentée ci-après (1) :

$$r_c = 4 \times 10^{0,3(L_{p,A,S,4m} - L_c) / D_{2,s}} \quad (1)$$

Où D2S est le taux de décroissance spatiale du niveau de pression acoustique pondéré A de la parole selon ISO3382-3,  $L_{p,A,S,4m}$  est le niveau de pression acoustique pondéré A de la parole à 4 m selon ISO3382-3, et  $L_c$  le niveau sonore de confort défini comme le niveau de parole acceptable à certains postes de travail.

Table 3 – Liste des configurations de mesure en espace paysager

Configuration de référence	Taux de couverture du plafond	chemin	Traitement du mur
56%aw	56%	A	Avec
56%bw	56%	B	Avec
56%bwo	56%	B	Sans
0%aw	0%	A	Avec
0%bw	0%	B	Avec
0%bwo	0%	B	Sans

### 2.1.2 Mesurages dans le petit bureau:

Le petit bureau a été obtenu par mise en œuvre d'un cloison amovible dans le volume de l'espace paysager (illustrations 4 et 5). Les panneaux absorbants suspendus étaient de type Ecophon Solo d'épaisseur 40 mm. La hauteur sous les panneaux était 2.52 m, et la hauteur entre panneaux suspendus et plafond béton était de 22 cm. Les panneaux de plafond proches de la façade ont été découpés pour faciliter les mouvements d'air. Les mesurages ont été réalisés avec trois taux de couverture : 70%, 50% et 0%. Pour les mesurages acoustiques dans ce petit bureau, il n'y avait pas de panneau absorbant ajouté sur les écrans de bureaux ou sur les murs. Les mesurages de durée de réverbération ont été réalisés selon ISO3382-2.

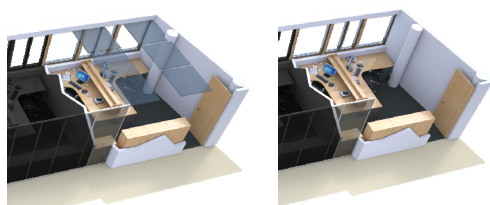


Illustration 4 – Représentation du petit bureau (à gauche 50% de couverture du plafond, à droite 0%).

Dimensions: longueur moyenne 4.3 m, largeur moyenne 4.20 m, hauteur sous dalle 2.78 m, surface : environ 18 m<sup>2</sup>, volume environ 150 m<sup>3</sup>.

## 2.2 Mesurages thermiques

Deux pièces appelées “test” et “référence” ont été utilisées pour les mesurages ; les pièces étaient similaires en ce qui concerne leurs dimensions et leur orientation dans le bâtiment (illustration 5). Dans la pièce référence il n'y avait pas de plafond suspendu pendant tous les mesurages. La pièce test a été utilisée pour faire des recherches sur différentes configurations de plafond. La température du globe noir a été initialement mesurée sans plafond acoustique et ces températures ont été enregistrées. Les mesures initiales ont confirmé que le comportement des pièces était identique du point de vue thermique. La charge calorifique interne a été simulée au moyen d'éléments électriques chauffants comme décrit dans la norme DIN EN 14240.

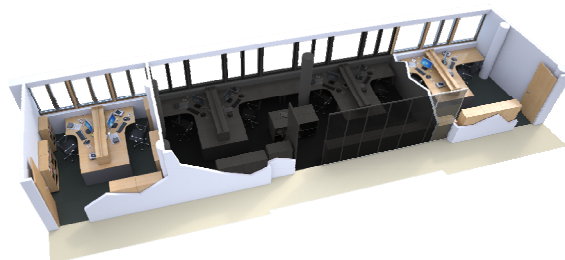


Illustration 5 – pièces de référence (gauche) et de test (droite).

Dans la pièce de test des panneaux de plafond en laine de verre de 40 mm ont été montés avec une cavité d'environ 22 cm entre eux et le plafond béton. Sur la photographie 3 sont présentées les configurations de plafond associées au pourcentage de couverture.



Photographie 3 – Panneaux de plafond couvrant 50% (gauche) et environ 70% (droite).

Dans les deux pièces, la température du globe noir a

été mesurée à une hauteur de 1.1 m (correspondant à la nuque d'une personne assise) près du centre de la pièce. A proximité du globe noir une sonde de température d'air a été placée. Les températures de surface du béton et du plafond suspendu ont été mesurées en plaçant des thermocouples sur la dalle béton ou sur d'autres éléments.

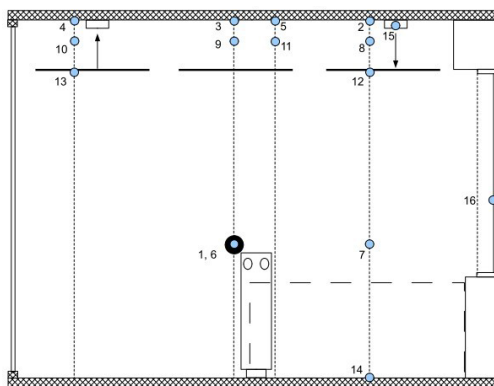


Illustration 6: Coupe de la pièce test direction sud-est, dimensions env. l x w x h = 4 x 4 x 2.8. m3.

De plus, des sondes de température d'air ont été placées entre le plafond suspendu et le plafond en béton. Les températures de l'air, du mur et du plancher ont simultanément été relevées, ainsi que les paramètres d'installation. Au début des essais, des éléments de plafond acoustique ont été installés dans la pièce test et les températures de globe noir ont été mesurées dans les deux pièces. La différence a été calculée et comparée avec la différence de température sans plafond acoustique. Ceci a été fait pour la température maximale journalière de globe noir, la température minimale journalière de globe noir, et la moyenne entre 09j et 17h.

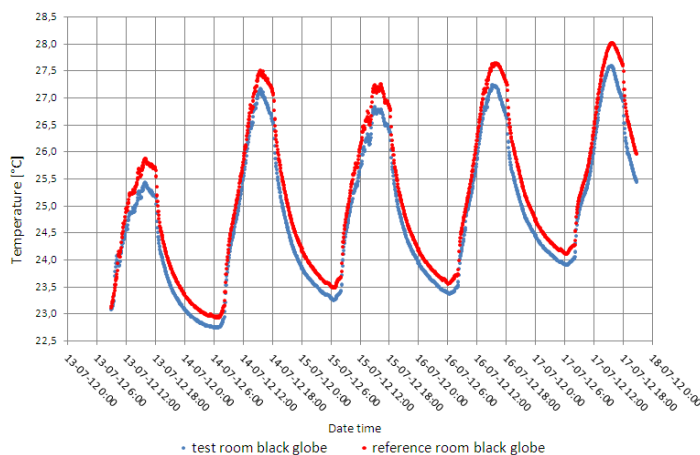


Figure 2: Graphe des températures de globe noir de la pièce test et de la pièce de référence pendant une période de mesure avec un taux de couverture de 50% dans la pièce test. Ces valeurs ont été comparées avec celles obtenues sans plafond lors des mesures initiales.

Le type de journée (semaine/ weekend) et la température maximale de globe noir de la pièce de référence ce jour-là ont été pris en compte pour comparer la température de globe noir de journées spécifiques.

Puisque la température pendant la période de mesurage n'est pas identique chaque jour, les journées avec des températures intérieures comparables ont été appariées. Pour les résultats de mesure la valeur moyenne ainsi que l'écart type (en utilisant la méthode n-1) sont donnés.

### 3 RESULTATS ET INTERPRETATIONS

#### 3.1 Mesures acoustiques

##### 3.1.1 Mesures dans l'espace paysager :

Le paramètre D2s a été fortement affecté par la présence ou l'absence du plafond. De plus, D2s décroît considérablement quand le plafond acoustique est retiré. En fait, les résultats ont été de 5.1 jusqu'à 2.3 dB(A) par doublement de distance. Si nous comparons ces résultats aux recommandations [7] stipulées dans ISO3382-3 nous avons seulement pu aller au-delà de 7 dB dans le chemin bw. Cela peut s'interpréter par la réduction de niveau de pression acoustique à la dernière position de mesure, qui accroît la pente de la courbe de régression.

Table 4 – Taux de décroissance spatial de la parole D2s [dB/doubl.]

Pourcentage de couverture du plafond	chemin aw	chemin bw	chemin bwo
56%	5,1	7,6	5,1
0%	2,3	3,8	2,2

En vue d'exprimer des améliorations subjectives, nous avons décidé de dériver les mesures à partir de rC au lieu de rD. En fait, à l'intérieur du bâtiment la valeur du niveau de pression acoustique était basse, le débit d'entrée d'air est réduit puisque le refroidissement est intégré à la dalle. Une valeur d'environ 35 dB(A) a été trouvée. D'après la littérature, rD dépend fortement du niveau de pression acoustique [8]. Dans les calculs de distance de confort, le niveau sonore de confort a été fixé à 48 dB(A), de manière à illustrer la distance nécessaire pour que la perception de la personne à l'écoute soit réduite de moitié, le niveau de la parole étant défini dans ISO3382-3 comme 57.4 dB(A) à une distance de 1 m en champ libre en considérant une source sonore omnidirectionnelle, et la théorie indique que le ressenti est deux fois moins bruyant pour un niveau inférieur de 9 à 10 dB [9]

La valeur que nous obtenons pour Lp,A,S,4m étaient supérieures à la recommandation de ISO3382-3 et sont présentées dans la table 5.

Table 5 – Niveau de pression acoustique pondéré A de la parole à une distance de 4 m, en dB – Lp,A,S,4m

Pourcentage de	chemin aw	chemin bw	chemin bwo

couverture du plafond			
56%	50,8	52,1	51,2
0%	52,3	54,1	52,8

A partir des calculs de distance de confort avec un taux de couverture de 56%, on peut voir que la distance de confort va de 14.6 à 5.8 m pour le chemin aw, et de 12.1 m à 5.8 m pour le chemin bw, et de 18.1 m à 6.2 m pour le chemin bwo (Cf. table 6). La distance nécessaire pour réduire de moitié la perception de la personne écoutant a été divisée par deux avec un taux de couverture de plafond de 56%

.Table 6 – Distance de confort [m] – rC

Couverture du plafond	chemin aw	chemin bw	chemin bwo
56%	5,8	5,8	6,2
0%	14,6	12,1	18,1

L'objectif principal de la norme Française NF S31-080 est de permettre l'absence d'inconfort entre postes de travail voisins et aussi de garantir un niveau de confort pour les conversations dans le voisinage [10]. Dans cette norme, le niveau Très Performant recommande une durée de réverbération inférieure à 0.6 s (moyenne 500, 1000 et 2000 Hz). Les résultats de mesures de durée de réverbération font l'objet de la figure 4. Ces mesures montrent la réduction de réverbération sous les exigences de la norme. On voit qu'avec une couverture de plafond de 56% il est possible d'obtenir une durée de réverbération de moins de 0.4 s.

### 3.1.2 Mesures dans le petit bureau :

Les résultats des mesures acoustiques dans le petit bureau sont présentés sur la figure 5. En l'absence de plafond suspendu, la valeur de la durée de réverbération dépasse l'objectif de 0.6 s (moyenne 500 1000 et 2000 Hz) de la norme Française NF S 31-080. En raison du petit volume et de la faible diffusion il s'avère que les résultats pour 50% et 70% de taux de couverture de plafond ne sont pas différents. Avec ce petit bureau, une augmentation du taux d'absorption au-delà de 50% ne réduit pas la durée de réverbération.

## 3.2 Mesures thermiques

Couverture de plafond de 50% - La différence moyenne de température du globe noir dans la pièce test – par rapport à la température du globe noir dans la pièce de référence – entre les situations entre 50% et sans plafond suspendu, est d'environ 0.30 K avec une déviation moyenne de 0.06 K. La différence de température moyenne de la température moyenne du globe noir dans la pièce test entre les situations entre 50% et sans plafond suspendu, est d'environ 0.29 K avec une déviation moyenne de 0.05 K.

Dans la figure 6, l'accroissement de température moyenne du globe noir pour plusieurs journées en

raison de la présence du plafond suspendu (50%) est indiquée

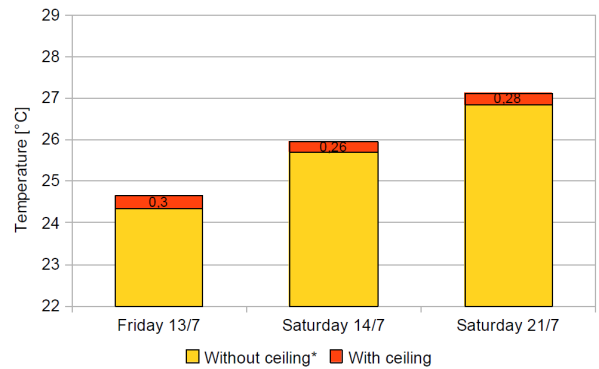


Figure 6: Mesures thermiques avec 50% de plafond suspendu et calculé sans.

Pendant la nuit, la différence de température du fait de la présence du plafond suspendu est plus faible (environ 0.1K).

Couverture de plafond de 70% - Pour ces mesures, 6 panneaux additionnels, plus petits, ont été mis en œuvre. Ces panneaux couvrent environ 70% du plafond. En moyenne, la différence de température, du fait de la présence d'un plafond suspendu couvrant environ 70% du béton, des températures maximales de globe noir, est de 0.96K avec un écart type de 0.14 K. La différence moyenne de température du globe noir dans la pièce test entre les situations avec 70% de couverture par le plafond et celle sans plafond est d'environ 0.82 K avec un écart type de 0.07 K. Sur la figure 7, l'augmentation de température moyenne du globe noir pendant plusieurs journées du fait de la présence du plafond (couverture 70%) est indiquée.

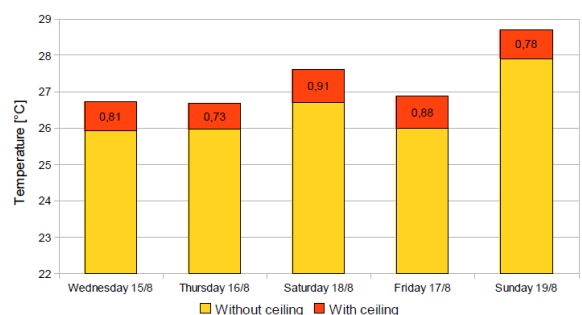


Figure 7: Mesures thermiques avec environ 70% de plafond suspendu et calcul sans plafond.

Pendant les nuits la différence de température minimale de globe noir du fait du plafond (couverture 70%) est d'environ 0.29 K avec un écart type de 0.03 K.

En mettant en œuvre un plafond suspendu en laine de verre, une augmentation de la température de globe noir au centre de la pièce été observée, fonction du taux de couverture du plafond suspendu. Les résultats sont résumés sur la figure 8.

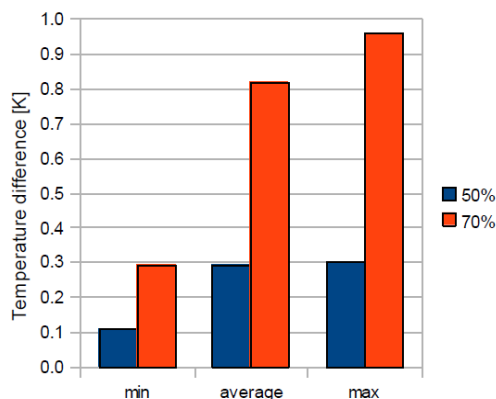


Figure 8 – Augmentation de la température du globe noir du fait du plafond suspendu.

## 4 CONCLUSIONS

L'impact d'un plafond suspendu sur le confort thermique et acoustique dans un bâtiment réel a été étudié. Pour l'acoustique, cette étude montre qu'avec un taux de couverture d'environ 50% il n'y a pas de difficulté pour réduire la durée de réverbération. Pour le petit bureau, une augmentation de l'absorption du plafond n'est pas une nécessité. Pour l'espace paysager il est clair que la réduction de distance de confort en couvrant seulement 56% de la surface de plafond n'est pas suffisante. En fait, pour atteindre les recommandations de la norme ISO3382-3 la propagation sonore doit être optimisée. D'autres mesurages doivent être réalisés en ajoutant des solutions de traitement acoustique vertical : solutions murales ou écrans. Concernant le confort thermique, cette étude a tout d'abord montré que la présence d'un plafond suspendu a un faible impact sur le confort thermique. Il est donc très difficile de quantifier précisément cet effet. Dans le bâtiment utilisé, les pièces de test et de référence ont un comportement thermique similaire mais pas parfaitement identique. Pour surmonter cette difficulté, nous n'avons pas directement comparé la pièce test (avec différentes couvertures de plafond) à la pièce de référence (sans plafond). On a appairé différentes journées qui ont été considérées comme équivalentes. En utilisant cette méthode, on a conclu qu'une couverture de 50% mène à une augmentation moyenne de la température de globe noir de 0.30 K avec un écart type de 0.06 K. Avec une couverture de 70% c'est 0.8-1.0 K.

Ce travail sera poursuivi par une nouvelle série d'expérimentations et par le développement d'un modèle numérique caractérisant l'incidence d'éléments acoustiques suspendus sur l'ambiance thermique d'un local fermé. Grâce à ce modèle, on pourrait déterminer la configuration la plus favorable, notamment pour ce qui est de la position relative des éléments acoustiques de plafond. On pourrait aussi optimiser les propriétés physiques des éléments acoustiques, par exemple l'émissivité de leur face inférieure et supérieure. L'objectif est d'encore mieux associer confort thermique et confort acoustique, en offrant aux communautés thermiques

et acoustiques les outils, méthodes et logiciels qui leur permettent ensemble d'assurer le confort de l'utilisateur final.

## REMERCIEMENTS

Nous voudrions remercier Saint Gobain Recherche pour avoir su croire à notre projet et pour avoir financé cette recherche. Nous voudrions également profiter de cette opportunité pour remercier Sylvain Guitton and Alexis Delajot, avec qui nous avons eu le privilège de travailler. Nous voudrions également exprimer notre gratitude à Pierre Lombard et Pierre Chigot pour toutes les informations qu'ils nous ont communiqué. Enfin, il est impératif que nous remercions Georges Mandica, président de COGECI, de nous avoir permis d'utiliser ses bureaux.

## REFERENCES

- [1] Prof. B.W. Olesen, "Geotabs – Technology, boundary conditions and comfort", International Centre for Indoor Environment and Energy Department of Civil Engineering & Technical University of Denmark, 2013.
- [2] CEN European Standard 14240:2004 - Ventilation for buildings. Chilled ceilings. Testing.
- [3] Y. Le Muet & R. Machner, "Impact of the new French thermal regulation on office indoor environment: combine innovative cooling technology and high acoustic demand" Euronoise Prague 2012.
- [4] Peperkamp, H., Vercammen, M., Thermically activated concrete slabs and suspended ceilings, Proceedings of NAG-DAGA International Conference on Acoustics, Rotterdam.
- [5] M. Vercammen, T. Scheers, Absorption of open ceilings, proc. ICA Madrid 2007.
- [6] R. Canto Leyton, E. Nilson: Acoustic Design of Open Plan Offices – Subjective judgment. Euronoise Prague 2012
- [7] ISO 3382-3 Annex A, "Examples of target values for evaluation of measurement data", Acoustics Measurement of room acoustic parameters - Part 3: Open plan spaces.
- [8] CRM. Passero, PHT Zannin, "Technical Note - Study of the Acoustic Suitability of an Open Plan Office Based on STI and DL2 Simulations", Laboratory of Environmental and Industrial Acoustics and Acoustic Comfort – LAAICA - Federal University of Parana, Centro Politecnico.
- [9] L. Cremer and H.A. Müller, (1982). Vol. 1, Chapter III.1.2. "Principles and Applications of Room Acoustics", Applied Science Publishers.
- [10] NF S31-080, Acoustics - Offices and associated areas - Acoustic performance levels and criteria by type of area, janvier 2006 (in English)