

## Qualité acoustique et inertie thermique : étude d'un compromis

Christophe Rougier<sup>1</sup>, Catherine Guigou-Carter<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université Paris-Est, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), 24 Rue Joseph Fourier, F-38400 Saint Martin D'Hères  
christophe.rougier@cstb.fr, catherine.guigou@cstb.fr

Actuellement, les bâtiments neufs ou réhabilités sont principalement dimensionnés d'un point de vue énergétique afin de réduire les pertes par l'enveloppe et favoriser l'inertie thermique du bâtiment. L'inertie thermique favorise la récupération des apports solaires l'hiver et permet d'écrêter les pics de chaleur l'été à l'intérieur des locaux, contribuant ainsi à la réduction des consommations d'énergie. Cependant cette mise en avant des solutions thermiques peut se faire au détriment de la qualité acoustique des locaux concernés si on n'y porte pas une attention particulière. Cet article présente une étude de cas de bureau individuel pour lequel des simulations en thermique et en acoustique ont été menées. Trois traitements du bureau sont considérés : un optimal d'un point de vue thermique, un optimal d'un point de vue acoustique, et un compromis respectant les contraintes de la thermique du confort d'été tout en recherchant la meilleure qualité acoustique. Les résultats des simulations acoustiques des trois cas sont présentés et commentés.

### 1 Introduction

Face aux enjeux énergétiques actuels, les constructions actuelles favorisent un bon dimensionnement thermique des bâtiments neufs ou en réhabilitation. Si on ne porte pas d'attention particulière, cette mise en avant des solutions thermiques peut se faire au détriment de la qualité acoustique des locaux concernés. Ce travail aborde des solutions pratiques cherchant à concilier la problématique de l'inertie thermique (confort d'été) et le confort acoustique des locaux tertiaires. En effet d'un point de vue de l'acoustique, il faudrait équiper tous locaux tertiaires de faux plafonds acoustiques, mais d'un point de vue thermique il faudrait laisser la dalle nue afin de favoriser les échanges thermiques entre les pièces. Dans cet article, le cas d'étude est un local de type bureau. Nous proposons d'étudier 3 cas de traitement acoustique dans ce local : traitement optimum du local d'un point de vue thermique, traitement optimum du local d'un point de vue acoustique, local doté d'un traitement acoustique faisant un compromis entre confort acoustique et échanges thermiques.

L'étude acoustique sera faite dans un premier temps avec le logiciel ACOUBAT pour obtenir des ordres de grandeur de temps de réverbération. Ensuite, des simulations seront menées avec le logiciel ICARE (lancer de rayons), utilisé notamment pour simuler le comportement acoustique des volumes intérieurs. Cette dernière étape de simulation permettra d'obtenir des paramètres supplémentaires de qualité acoustique.

### 2 Présentation du cas d'étude

Le cas d'étude retenu est un local de type tertiaire, situé en niveau intermédiaire d'un bâtiment, positionné en milieu de façade (position permettant de bonnes hypothèses du point de vue de la thermique). La géométrie du local décrite à la Figure 1 est la suivante :

Surface : 15 m<sup>2</sup> (2.7 m de largeur, 5.7 m de profondeur, 2.8m de hauteur sous plafond)  
Surface plancher et plafond : 15 m<sup>2</sup>

Surface cloison=37.6 m<sup>2</sup>  
Surface porte=0.9\*2.1=1.9 m<sup>2</sup>  
Surface fenêtre= 1.35\*1.980\*2=5.35m<sup>2</sup>  
Surface façade=2.21m<sup>2</sup>

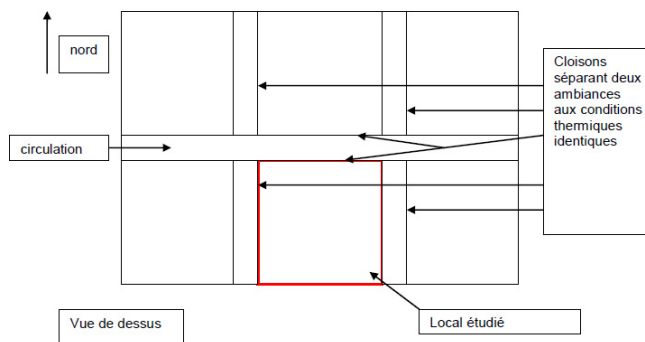


Figure 1 : Géométrie du local étudié

Les cloisons entre bureaux et entre bureaux et circulation sont montées de dalle à dalle. Lorsqu'un faux plafond est installé, on considère qu'il est constitué d'une plaque de plâtre de 1.25 cm surmonté de 3 cm de laine de verre. Le modèle a été construit à partir de ces données pour son exploitation dans ICARE, voir Figure 2.

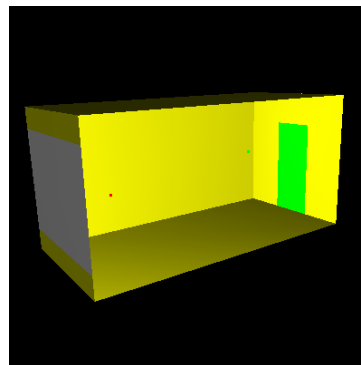


Figure 2 : Visualisation du modèle ICARE du local étudié

Chaque surface (ici de couleurs différentes) est affectée à une propriété de matériaux. La Table 1 donne la liste des coefficients d'absorption utilisés pour les matériaux du local [1].

Fréquence (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Dalle Béton	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05
Sol (moquette fine)	0.02	0.04	0.08	0.20	0.35	0.40	0.40
Faux plafond	0.49	0.53	0.53	0.75	0.92	0.99	0.99
Cloison	0.26	0.97	0.99	0.66	0.34	0.14	0.44
Façade	0.05	0.16	0.44	0.79	0.90	0.91	0.91
Fenêtre	0.10	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
Porte	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

Table 1 : Propriétés absorbantes des matériaux utilisés dans les simulations

### 3 Local optimal suivant le point de vue...

#### 3.1 Local optimal du point de vue thermique

Pour la thermique de confort d'été, le cas le plus favorable est celui où la dalle est nue, voir Figure 3. Les échanges thermiques entre l'air de la pièce et la dalle peuvent alors se faire librement.

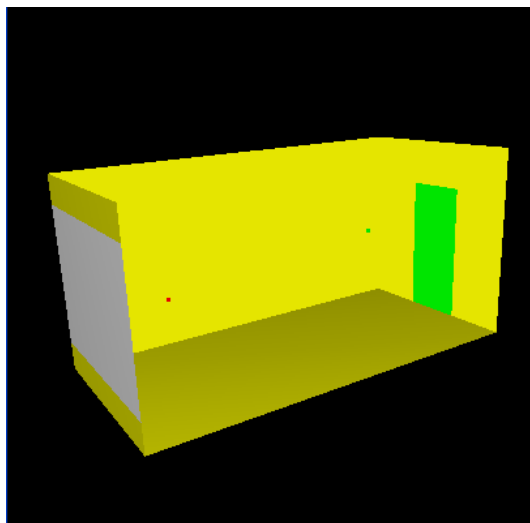


Figure 3 : Local sans faux plafond

#### 3.2 Local optimal du point de vue acoustique

D'un point de vue acoustique, une dalle nue en béton réfléchit énormément d'énergie sonore dans la pièce. C'est pourquoi la solution optimale en acoustique consiste à placer un faux plafond jointant avec tous les murs et cloisons, voir Figure 4. Cependant, cette solution a l'inconvénient de bloquer toute circulation d'air entre la pièce et la dalle, et donc tout échange thermique.

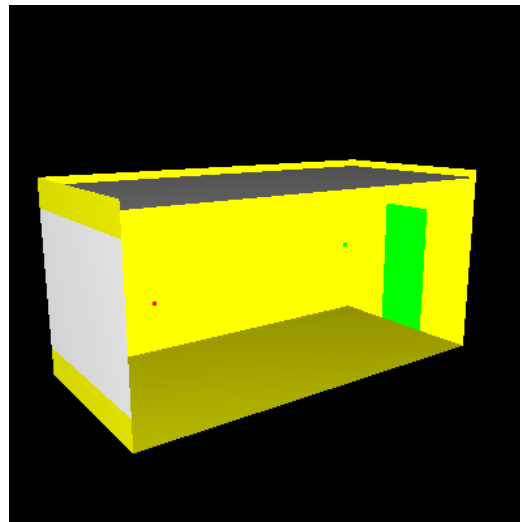


Figure 4 : Local avec un faux plafond « plein »

#### 3.2 Simulation de la durée de réverbération avec ACOUBAT

A partir des éléments fournis dans le paragraphe précédent, nous avons créé sous ACOUBAT la géométrie présentée en Figure 5.

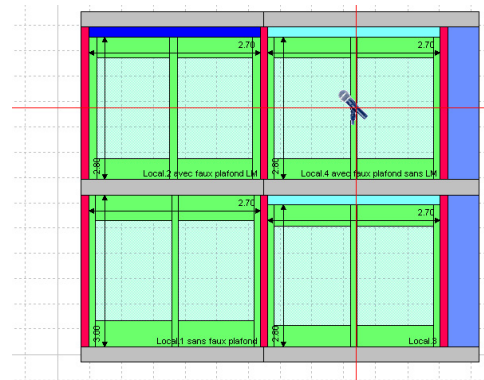
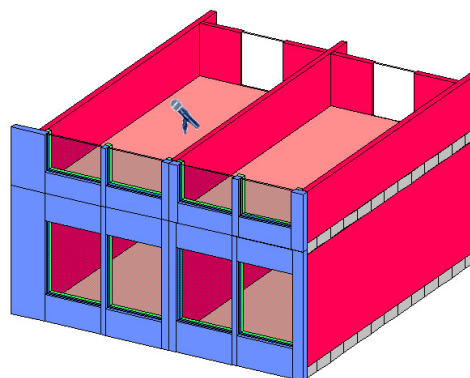


Figure 5 : Modèle ACOUBAT du local étudié

Concernant les fenêtres le logiciel impose une surface opaque minimum pour la façade cela implique que les fenêtres sont maximum de 1,2 m de large. Nous avons créé quatre locaux identiques en taille, et trois variantes :

- Un local sans faux plafond.
- Un local avec un faux plafond composé d'une plaque de plâtre et d'un vide d'air d'épaisseur totale 100 mm.

- Un local avec un faux plafond composé d'une plaque de plâtre, d'une couche de laine minérale et d'un vide d'air, d'épaisseur totale 100 mm.

Dans le local nous calculons l'Aire d'absorption définie par l'expression:  $A = \alpha S$  où  $\alpha$  est le coefficient d'absorption pour un matériau de surface  $S$  donné. Dans cette partie, des coefficients d'absorption similaires, mais légèrement différents de ceux présentés à la Table 2 ont été utilisés.

La durée de réverbération TR [2] est ensuite déduite à partir de l'expression (1).

$$TR = 0,16 \frac{V}{A} \quad (1)$$

	A sans faux plafond	Tr sans faux plafond	A avec faux plafond sans LM	Tr avec faux plafond sans LM	A avec faux plafond avec LM	Tr avec faux plafond avec LM
100	9.6	0.8	10.3	0.7	14.9	0.5
125	9.9	0.7	10.6	0.6	15.2	0.4
160	8	0.9	8.8	0.8	14.9	0.5
200	7.1	1	8.7	0.8	17.2	0.4
250	5.6	1.3	8.9	0.8	17.3	0.4
315	4.8	1.5	9.7	0.7	18.1	0.4
400	4.1	1.8	11.2	0.6	17.3	0.4
500	4.2	1.8	12.8	0.5	17.4	0.4
630	3.6	2	12.3	0.6	15.4	0.4
800	4.4	1.7	13.1	0.5	13.9	0.5
1000	5.2	1.4	12.5	0.5	14	0.5
1250	6.8	1.1	12.5	0.5	14	0.5
1600	8.4	0.9	12.4	0.6	14	0.5
2000	10.2	0.7	14.3	0.5	14.3	0.5
2500	11.7	0.6	15.8	0.4	15.8	0.4
3150	12.6	0.6	16.6	0.4	16.6	0.4
4000	12.7	0.6	16.8	0.4	16.8	0.4
5000	12.7	0.6	16.8	0.4	16.8	0.4

Table 2 : TR des simulations ACOUBAT, sans et avec faux plafond plein

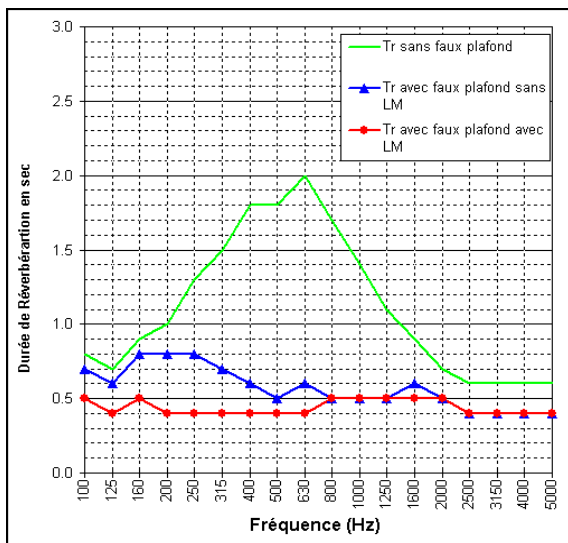


Figure 6 : TR du local sans faux plafond (vert), avec faux plafond sans laine minérale (bleu), et avec faux plafond avec laine minérale (rouge)

Cette première partie nous montre que :

- si le TR est trop élevé, les réflexions sonores sont trop nombreuses et les messages ne sont pas intelligibles correctement.
- au contraire, si le TR est trop faible l'absence d'échos peut être désagréable pour l'utilisateur.

La durée de réverbération est ici calculée entre 100Hz et 5000Hz sur les tiers d'octave normalisés, ce qui est représentatif des fréquences ayant un impact sur la qualité acoustique pour l'utilisateur du local.

On observe tout d'abord que le TR du local sans faux plafond (courbe verte, Figure 6) est beaucoup plus grand que pour les cas avec faux plafond, et que pour la majorité des fréquences, le TR est supérieur à la limite de 0,8s que l'on se fixe communément pour ce type de locaux – dans les locaux tertiaires, le TR optimal est de l'ordre de 0,5-0,8s [4]. On s'aperçoit également que la durée de réverbération n'est pas similaire selon les fréquences, avec un maximum aux moyennes fréquences. La pose d'un faux plafond augmente très largement la surface d'absorption équivalente. En conséquence, la durée de réverbération diminue notamment dans les moyennes fréquences (courbe bleue, Figure 6) ce qui est directement dû aux caractéristiques d'absorption du faux plafond. Dans un second temps l'ajout de laine minérale entre la dalle et le faux-plafond permet d'améliorer l'absorption en basses fréquences (courbe rouge, Figure 6). Après pose d'un faux-plafond en plaque de plâtre avec de laine minérale d'environ 100mm d'épaisseur la durée de réverbération (TR) est quasiment égale à 0,5 s pour toutes les fréquences. Cette valeur est une première indication d'une bonne qualité acoustique.

#### 4 Compromis entre thermique et acoustique

Le compromis est choisi pour satisfaire au mieux à la fois les problématiques de la thermique et de l'acoustique. Puisque qu'il est nécessaire d'avoir de l'air au contact de la dalle béton pour un bon comportement thermique, et d'avoir une quantité suffisante d'absorbant pour une réverbération limitée dans la pièce, une solution consiste à créer des espaces dans le faux plafond. On crée ainsi un faux plafond « ajouré », comme représenté à la Figure 7.

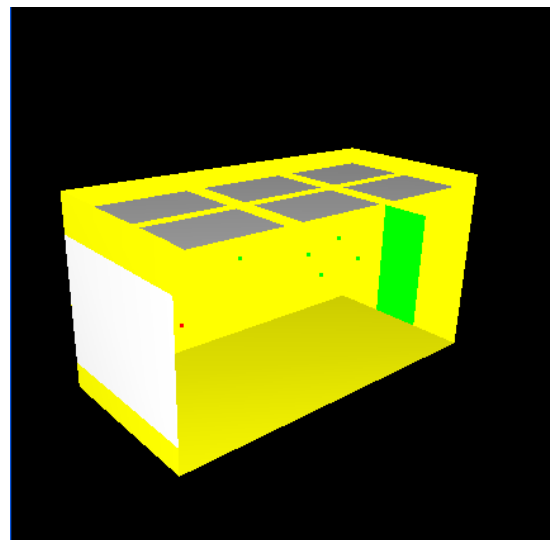


Figure 7 : Local avec un faux plafond « ajouré »

Le faux plafond est constitué de 6 panneaux de 1m x 1m50 soit 9 m<sup>2</sup> d'absorbants acoustiques pour une surface totale de plafond de 15 m<sup>2</sup>, ce qui représente une couverture de 60% de la surface au sol. L'intérêt de cette technique réside aussi dans le fait que les panneaux permettent d'absorber l'énergie acoustique des 2 côtés, ce qui double la surface d'absorption équivalente de ces panneaux.

Dans la Table 3 sont donnés les résultats de durée de réverbération simulée avec ICARE, par bande d'octave. Les résultats proviennent d'une moyenne des résultats en 4 points récepteurs ponctuels placés dans le local, pour un point source ponctuel à l'émission (voir Figure 7).

	Sans faux plafond	Faux plafond plein	Faux plafond ajouré 60%
125	1.90	0.80	0.78
250	1.96	0.63	0.67
500	2.07	0.55	0.52
1000	1.38	0.32	0.29
2000	0.97	0.16	0.16
4000	0.73	0.14	0.13
8000	1.90	0.80	0.78

Table 3 : Durée de réverbération (TR) des simulations ICARE pour les 3 configurations du local

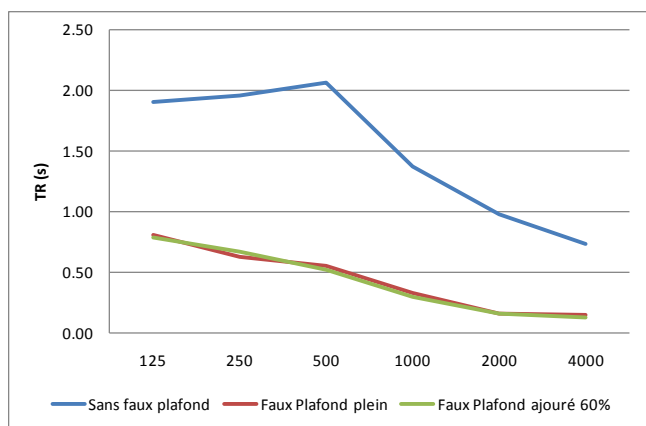


Figure 8 : Durées de réverbération calculées sous Icare pour les 3 différentes configurations du local

Le critère STI (Speech Transmission Index, ou indice de transmission de la parole) [3] permet de représenter la qualité de transmission de la parole dans un souci d'intelligibilité. Ce paramètre est couramment utilisé dans des grandes salles. Dans le cas d'une pièce de type bureau, assez petite, ce paramètre peut toutefois rendre compte de l'amélioration ou non de la compréhension de la parole entre 2 locuteurs.

	Sans faux plafond	Faux plafond plein	Faux plafond ajouré 60%
STI	0,52	0,84	0,86

Table 4 : Speech Transmission Index (STI) simulé dans ICARE pour les 3 configurations du local

Dans la simulation Icare, les durées de réverbération du local sans faux plafond (dalle de béton nue) sont légèrement différentes des simulations ACOUBAT selon les fréquences, les différences étant dues à des propriétés de matériaux légèrement différents entre les deux calculs. Néanmoins ces durées de réverbération sont semblables : le TR sans traitement acoustique est d'environ 2s à 500Hz et de 1,4s à 1000Hz.

La Figure 6 représente les durées de réverbération en fonction de la fréquence pour les 3 cas de traitement du local (local sans traitement, avec traitement acoustique « plein », et avec traitement acoustique « ajouré » recouvrant le plafond à 60%). Cette simulation confirme que le TR est supérieur à 1s pour une large bande de fréquence (125Hz à 2000Hz), ce qui n'est pas satisfaisant pour une bonne qualité acoustique dans une pièce de type bureau. La valeur de STI à 0,52 nous indique que l'intelligibilité n'est toutefois pas très mauvaise [4].

Le faux plafond plein (sans laine de verre cette fois-ci) permet d'obtenir un TR de l'ordre de 0,5 s, ce qui est satisfaisant d'un point de vue acoustique. Le STI passe quand à lui à 0,84. L'intelligibilité est donc améliorée après pose du faux plafond, ce à quoi on pouvait s'attendre.

Le faux plafond « ajouré » permet d'obtenir des performances d'absorption similaire, voire légèrement supérieure au faux plafond plein (voir courbes rouge et verte en Figure 6). On a en effet ouvert le faux plafond, ce qui diminue la surface visible d'absorption. Mais cette ouverture permet d'utiliser la face arrière des panneaux absorbant est ainsi d'avoir une surface équivalente de 9m<sup>2</sup>x2=18m<sup>2</sup> d'absorbants, alors que 15m<sup>2</sup> d'absorbants sont visibles lorsque le faux plafond est plein. C'est pourquoi le TR peut être parfois même moins élevé avec un faux plafond ajouré qu'avec un faux plafond plein. Concernant l'intelligibilité, le STI reste quasi constant (0,86) ce qui montre là encore que les performances acoustiques de cette solution de faux plafond « ajouré » sont tout à fait satisfaisantes.

## 5 Conclusion

Un modèle de simulation d'un local type de bâtiment tertiaire (bureau) a été mis en place avec trois configurations différentes : local sans traitement, avec traitement acoustique « plein », et avec traitement acoustique « ajouré » recouvrant le plafond à 60%.

Les calculs présentés dans ce document confirme que le fait que laisser la dalle nue, cas optimal pour la thermique, n'est pas satisfaisante du point de vue acoustique, la réverbération à l'intérieur de la pièce étant beaucoup trop importante. Si un faux plafond jointant les murs est installé sur toute la surface du plafond, une bonne qualité acoustique est obtenue dans la pièce. Cependant dans ce cas la problématique de l'inertie thermique pour le confort d'été n'est pas résolue d'un point de vue thermique.

La dernière solution étudiée « faux plafond ajouré » cherche à faire un compromis entre les 2 problématiques thermique et acoustique. Ce type de faux plafond permet en fait d'augmenter les surfaces absorbantes dans le local comparé au faux plafond plein. Les calculs montrent que cette solution semble viable d'un point de vue du confort acoustique intérieur au local. Il faut insister sur le fait que seule la qualité acoustique intérieure a été étudiée dans ce travail. Les perturbations acoustiques provenant de

l'extérieur n'ont pas été prise en compte, notamment celles provenant des éventuels locaux au-dessus du local étudié (isolation aux bruit de chocs). Un faux plafond « plein » participant à l'isolation aux bruit de chocs provenant de l'étage supérieur, c'est un point qu'il semble judicieux d'étudier dans une prochaine phase de ce travail sur la compatibilité entre thermique et acoustique pour la problématique du confort d'été.

## Références

- [1] M. Vorländer, "Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modeling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality", *RWTHedition*, (2008).
- [2] "Mesurage de la durée de réverbération des salles en référence à d'autres paramètres acoustiques", *NF EN ISO 3382*, (2000).
- [3] "Evaluation objective de l'intelligibilité de la parole au moyen de l'indice de transmission de la parole", *Norme NF EN 60268-16*, (2004)
- [4] J.P. Vian, "*Introduction à l'acoustique des auditoriums*", Techniques de l'Ingénieur, BR1 100, (2007)