



INSTITUT  
TECHNOLOGIQUE



## **Méthodologie de mesure objective et subjective du confort thermique et acoustique dans les bâtiments résidentiels bois**

Ce document est relatif à la thèse réalisée par **Sylvain Boulet** au Pôle Industries Bois Construction de FCBA à Bordeaux, en collaboration avec le laboratoire du LOCIE de l'Université de Savoie, portant sur la « *Caractérisation du confort hygrothermique et acoustique dans les constructions à base de bois* ».

Cette thèse a été soutenue le 14 décembre 2009.

### **Pour contacter l'auteur de cette thèse :**

**Sylvain Boulet**  
[sylvain.boulet@fcba.fr](mailto:sylvain.boulet@fcba.fr)  
FCBA  
Pôle IBC  
Allée de Boutaut  
BP 227  
33027 Bordeaux Cedex  
Tél. : 05 56 43 64 27



INSTITUT  
TECHNOLOGIQUE



## 1 - Introduction

L'utilisation du bois répond parfaitement au respect de l'environnement et au besoin d'amélioration des performances thermiques. Le bois est très utilisé dans les nouveaux concepts de construction aussi bien dans le domaine du neuf que dans le domaine de la réhabilitation. L'un des avantages des constructions bois souvent mis en avant est la capacité de réaliser des enveloppes très performantes thermiquement, outre les faibles consommations énergétiques constatées, nombreux sont les témoignages favorables d'habitants sur le confort intérieur en général et hygrométrie en particulier.

Les différentes approches en ingénierie sont à ce jour soit thermique soit acoustique, or l'incidence de l'une sur la perception de l'autre est importante et doit être étudiée.

L'objectif de ce travail est la connaissance des paramètres affectant les composantes du confort thermique et acoustique en ambiance modérée et des grandeurs permettant de quantifier la sensation de confort thermique et acoustique qui est assez complexe. Il permettra également d'effectuer une analyse, grandeur nature, qualitative et quantitative par mesure in situ.

L'approche subjective actuelle ne permet pas de conclure de façon programmatique sur l'apport du bois vis-à-vis du confort. L'approche du confort que nous proposons doit apporter des arguments pour mieux justifier l'emploi du bois dans certaines applications.

Nous présenterons en premier lieu la méthodologie employée au niveau des mesures et des enquêtes ainsi que les moyens utilisés. Nous aborderons ensuite l'identification des typologies de construction à instrumenter à l'aide de la méthodologie des plans d'expériences. Enfin, nous analyserons les résultats à l'aide de l'approche basée sur l'analyse multicritères. Une confrontation entre les résultats de mesures et les résultats des enquêtes sera réalisée en guise de validation.

## 2 - Le confort

Selon l'institut IPSOS2, en février 2005, pour 42% des français interrogés, « *le respect de l'environnement est le critère le plus important dans l'achat d'un logement neuf* », tandis que le confort est une notion essentielle dans l'achat d'un logement pour 41% des personnes interrogées. Déterminer des conditions optimales de confort dans les espaces intérieurs s'avère délicat tant la notion même de confort se révèle difficile à définir.

S'exprimer sur le ressenti lié au confort perçu n'est pas facile, c'est pourquoi nous entendons plus souvent parler de situations inconfortables. En 1958, Hertzberg définit le confort comme l'absence d'inconfort [HER 58]. Cette définition peut être remise en cause car l'absence d'inconfort n'entraîne pas obligatoirement une situation confortable, elle correspond plus à une situation de neutralité.

La notion de confort est complexe, elle implique une interaction entre différents éléments : « *Etat plaisant d'harmonie physiologique, psychologique et physique entre un être humain et un environnement* » [SLA 86]. La sensation de confort résulte d'échanges entre l'homme et son environnement, mais elle est aussi fonction de paramètres subjectifs et affectifs.

Les ambiances résultent ainsi de la perception et de l'interprétation humaine de l'état physique de l'environnement dans lequel il se trouve.

En résumé, le confort désigne à la fois un état psychophysiologique favorable à l'épanouissement d'un être humain mais aussi un ensemble de dispositifs, d'équipements et de commodités qui répondent à l'attente d'une population donnée. Le confort à l'intérieur des bâtiments est la synthèse de perceptions multiples (lumineuse, thermique, olfactive, sonore) qui répondent à la fois aux exigences physiologiques et aux aspects d'usage et de culture [LAC 03].

### 3 - Méthodologie de mesure et moyens

Nous présentons ici l'ensemble des mesures thermiques et acoustiques réalisées dans les différents bâtiments résidentiels étudiés avec pour objectif la détermination de critères de confort significatifs pour caractériser les différentes ambiances des bâtiments étudiés. Parmi eux le PMV (Predicted Mean Vote), le PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), différents pourcentages d'insatisfaits liés aux inconforts localisés, le niveau de bruit équivalent  $L_{eq}$  et le temps de réverbération  $T_R$ .

#### 3.1 - Confort hygrothermique

##### a) Indices PMV/PPD [FAN 73]

Le confort hygrométrique de l'utilisateur dans les locaux repose sur plusieurs grandeurs physiques traduisant l'environnement intérieur. Elles sont souvent utilisées pour définir des indices de confort basés sur l'établissement du bilan thermique d'une personne placée dans une ambiance thermique donnée. Ces grandeurs, définies dans les normes [ISO 30] sont les suivantes : la température de l'air ; la vitesse de l'air ; la température de globe ; l'humidité et les températures des parois. Basé sur le calcul du bilan thermique, l'indice PMV permet de prédire l'appréciation moyenne du confort par un groupe d'individus donné dans un environnement donné.

##### b) Vêtue et activité

La résistance thermique des vêtements et le métabolisme sont évalués et présentés sous la forme de valeurs moyennes pour trois périodes de 8 heures chacune (matin, après-midi et soir) avant de mesurer les grandeurs thermiques.

Nous calculons la valeur des indices PMV et PPD à partir de l'enregistrement de la série des mesures de température radiante, température ambiante, vitesse d'air et humidité ainsi que des paramètres saisis et nécessaires : l'isolation vestimentaire et le métabolisme.

##### c) Indices PD en rapport avec les sources d'inconfort localisées

Le PPD traduit la possible absence de confort pour le corps considéré dans sa globalité, or l'inconfort thermique peut aussi se traduire sur une zone localisée et non souhaitée du corps. Nous distinguons plusieurs sources d'inconfort locales : l'asymétrie de température de rayonnement ; les courants d'air ; les sols froids ou chauds ; la différence verticale de température d'air.

d) Positions et hauteurs de mesures

Les mesures doivent être effectuées dans les zones occupées du bâtiment, aux emplacements où les occupants ont l'habitude de séjourner. Une observation rapide des personnes dans le bâtiment ainsi que les témoignages de ces derniers nous renseigneront sur leurs habitudes.

La température et la vitesse de l'air seront mesurées à des niveaux de 0,1 ; 0,6 et 1,1 m au-dessus du sol pour des occupants assis. Les mesures pour les activités debout devront être faites à des niveaux de 0,1 ; 1,1 et 1,7 m au-dessus du sol. Les indices PMV et PPD, les courants d'air et l'asymétrie de température de rayonnement devront être mesurés ou calculés à un niveau de 0,6 m pour les personnes assises et à 1,1 m pour les personnes debout.

L'ensemble des capteurs de la station de confort sont disposés à une hauteur de 0,6 m ou 1,1 m du sol suivant l'utilisation que l'utilisateur fait de la pièce.

e) Matériel (Figure 1)

Pour les mesures effectuées, nous utilisons un contrôleur d'ambiance thermique qui intègre les différents systèmes de mesures permettant de qualifier l'environnement.

La figure 1 présente le matériel utilisé, la station de contrôle d'ambiances possède une unité de commande centrale et d'enregistrement.

Plusieurs capteurs de températures indépendants de la station de confort sont utilisés pour déterminer les températures des parois et du sol, ainsi que pour mesurer la différence verticale de température de l'air. Enfin un enregistreur de température avec sonde de contact est utilisé pour mesurer la température du sol.

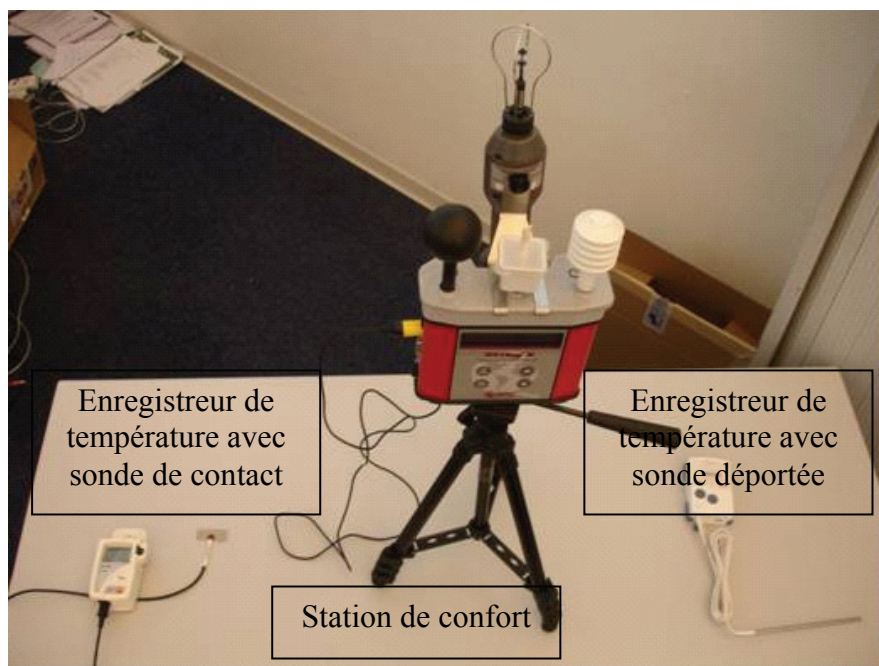


Figure 1 : Matériel pour la mesure du confort thermique

f) Conditions extérieures

Un enregistreur autonome de température et d'humidité est posé sur une façade nord-ouest ou nord-est, il est placé à une hauteur de 2 m à 2,5 m au-dessus du niveau du sol.

### 3.2 - Confort acoustique

a) Niveau de pression acoustique continu équivalent

L'exposition sonore quotidienne des usagers des bâtiments étudiés est mesurée. Nous devons déterminer le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A du bruit ambiant, en présence et, si possible, en l'absence de bruit particulier. Les mesures peuvent être effectuées de façon continue ou par intermittence pendant un intervalle d'observation, pour que les résultats puissent être considérés comme représentatifs de la situation acoustique.

- Pour la période « matin », de 6 heures à 14 heures, nous mesurons le niveau de pression équivalent pondéré A, noté  $L_{Aeq,(6-14)}$ .
- Pour la période « après-midi », de 14 heures à 22 heures, nous mesurons  $L_{Aeq,(14-22)}$ .
- Pour la période « nocturne », de 22 heures à 6 heures, nous mesurons  $L_{Aeq,(22-6)}$ .

Positions et hauteurs de mesurage

Le microphone est installé dans les zones occupées du bâtiment, aux emplacements où les occupants ont l'habitude de séjourner.

Si la localisation des personnes dans les différentes pièces du bâtiment ne peut être estimée, le microphone sera alors placé au centre de la pièce ou de la zone dont on souhaite connaître la situation sonore.

Les emplacements de mesurage se trouvent à au moins 1 m des parois et autres grandes surfaces réfléchissantes, à au moins 1,5 m des fenêtres et entre 1,2 m et 1,5 m au dessus du sol. Le microphone est placé à un niveau de 1,1 m au-dessus du sol pour des occupants assis et à 1,7 m au-dessus du sol pour des occupants debout (hauteur moyenne des oreilles). [GUE 03b ; NFS 057]

b) Temps de réverbération

Le temps de réverbération nous permet de caractériser les capacités d'absorption du bâtiment étudié. Pour mesurer le temps de réverbération on cherche à obtenir une courbe de décroissance du niveau sonore (*Energy Decay Curve*). La mesure s'effectue à l'aide d'un « clapoir » en bois produisant une impulsion permettant ainsi d'exciter la salle.

Protocole de mesurage

La norme [NFS 057] stipule que l'on décide du nombre de positions de mesurage afin de pouvoir assurer une couverture adéquate de la salle. Une distance minimale de 1,5 m devra être observée entre les différentes positions de microphone et de 2 m entre le microphone et la source sonore. De plus la distance entre le microphone et la surface réfléchissante la plus proche doit être d'au moins 1 m. Les mesurages doivent être effectués en plaçant la source sonore en deux positions espacées l'une de l'autre d'au moins 3 m.

Le temps de réverbération de la salle sera alors calculé en moyennant les valeurs des temps de réverbération obtenus pour chaque position de source et de microphone.

La figure ci-dessous montre un exemple de positionnement du microphone et de la source sonore, le microphone doit être placé sur une diagonale définie du local et aux  $2/3$  de sa longueur.

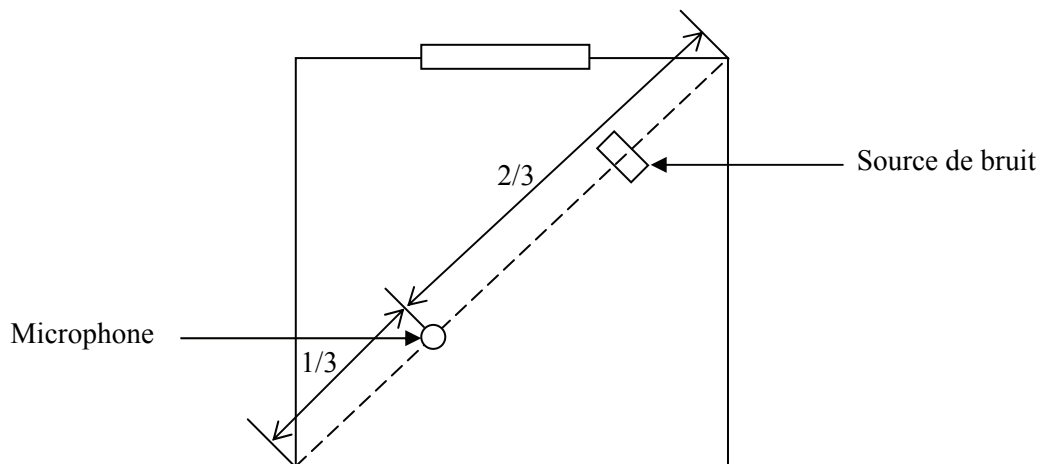


Figure 2 : Vue en plan d'une position de source et de microphone dans un local type

Il est donc important de considérer le nombre de positions de la source et du micro apte à décrire la zone examinée.

c) Matériel (Figure3)

- Les niveaux de bruit ambiant moyen sont mesurés à l'aide de microphones  $1/4$  pouce préalablement étalonnés. Ces microphones sont reliés à une carte d'acquisition puis à un logiciel de traitement, l'ordinateur joue le rôle d'analyseur et d'enregistreur, permettant ainsi de connaître la composition spatiale du signal acoustique et de conserver ces données pour un traitement ultérieur.
- La détermination du temps de réverbération nécessite l'utilisation d'une source sonore impulsionnelle, d'un microphone omnidirectionnel  $1/4$  pouce, d'un amplificateur de mesure et d'un logiciel connecté à la chaîne de mesure qui détermine automatiquement les valeurs des différents temps de réverbération pour chaque bande de tiers d'octave.

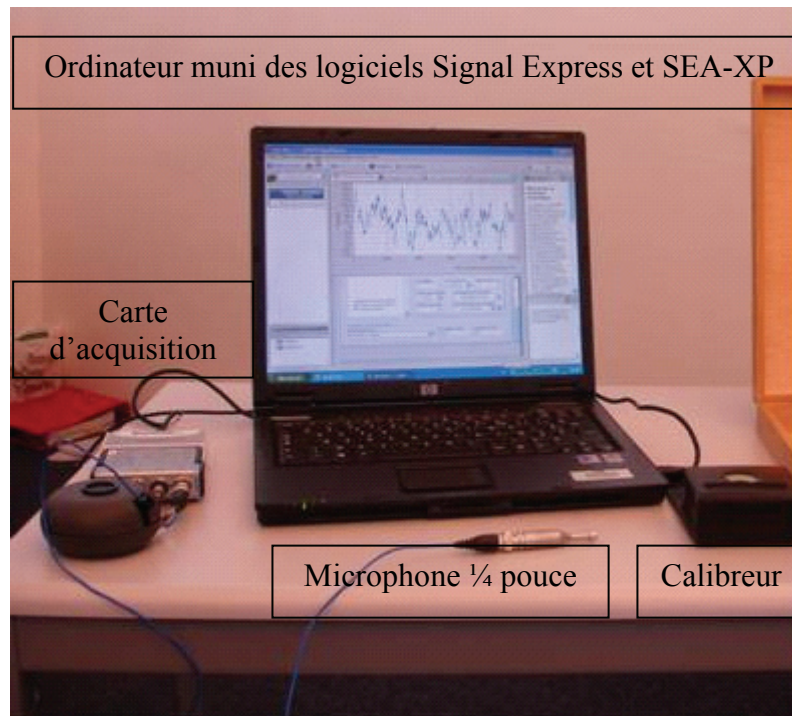


Figure 3 : Matériel pour la mesure du confort acoustique (niveau de bruit et temps de réverbération)

d) Niveau de bruit extérieur

Nous utiliserons le même principe que pour la mesure intérieure, le microphone devant être placé à 2 m en avant des parties les plus avancées de la section de façade ou de toiture correspondant à la maison testée.

### 3.3 - Confort subjectif

L'évaluation subjective de l'ambiance thermique et acoustique des bâtiments est réalisée à partir d'enquêtes auprès des habitants des bâtiments étudiés.

Les résultats des enquêtes nous permettent de calculer l'indice moyen de confort subjectif, noté C, cet indice représente la différence entre les notes obtenues entre des sensations idéalisées et les sensations réelles. Nous avons suivi les recommandations d'Aline Barlet [BAR 06] pour définir l'approche et le questionnaire appliqués dans le cadre de l'étude.

Le questionnaire fait apparaître trois types de questions :

- Evaluation de l'ambiance thermique et acoustique à l'instant t :

Utilisation d'indicateurs sémantiques.

Exemple :

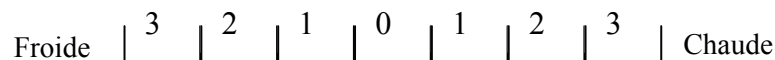
« Actuellement, vous trouvez que la température ambiante est ? : »

Froide | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | Chaude

- Evaluation de l'ambiance thermique et acoustique idéale :  
Utilisation d'indicateurs sémantiques.

Exemple :

« Pour que la température soit vraiment agréable, elle devrait être ? : »



- Hiérarchisation des critères caractérisant l'ambiance thermique et acoustique :  
Utilisation d'une échelle d'opinion.

Exemple :

« Quelle importance accordez-vous à la température ambiante pour votre bien-être ? : »

Pas du tout important	Peu important	Moyennement important	Assez important	Tout à fait important
1	2	3	4	5

Nous avons dressé une liste des différents critères qui caractérisent l'environnement thermique et acoustique des bâtiments, puis nous avons formulé les différentes questions pour qu'elles soient comprises par les usagers. En effet il est plus facile pour une personne de juger l'effet de la température ambiante sur la sensation ressentie que de juger une température de rayonnement. La liste des critères retenus est la suivante :

- La température ambiante
- L'humidité de l'air
- Les mouvements d'air (vitesse de l'air)
- La température de rayonnement
- Le niveau sonore global
- La fréquence des sons
- La réverbération sonore

Les trois types de questions cités plus haut seront appliqués à tous les critères retenus.

L'indice moyen de confort subjectif se calcule alors à l'aide de la formule suivante [BAR 06] :

$$C = \left| \left[ \frac{2}{n(n+1)} \sum_{i=1}^n x_i y_i \right] - \left[ \frac{2}{n(n+1)} \sum_{i=1}^n x_i' y_i \right] \right| \quad (1)$$

Avec :

n : nombre de critères,

$x_i$  : note moyenne obtenue par critère pour le confort idéal,

$x_i'$  : note moyenne obtenue par critère pour le confort perçu,

$y_i$  : pondération.

Plus la note de confort C se rapprochera de 0 et meilleur sera le confort ressenti par les usagers.

#### 4 - Méthode d'analyse et choix des maisons à instrumenter

##### 4.1 - La méthode des plans d'expériences Taguchi appliquée à l'étude du confort de l'habitat

L'ambiance d'une pièce est définie par plusieurs paramètres (facteurs) qui sont susceptibles d'influencer sur le confort ressenti par les usagers. Le confort, comme vu précédemment, est caractérisé par plusieurs indicateurs (réponses).

Un plan d'expériences permet de définir un ensemble d'essais organisé à l'avance afin de déterminer l'influence de différents paramètres sur une ou plusieurs réponses. Taguchi [TAG 86] a créé des tables standards qui permettent de choisir quel plan est le mieux adapté au problème donné et de réaliser les essais appropriés.

La méthode permet d'étudier l'influence d'un facteur en limitant ses variations entre deux niveaux : le niveau bas et le niveau haut. L'ensemble de toutes les valeurs que peut prendre le facteur entre le niveau bas et le niveau haut s'appelle le domaine de variation du facteur.

Pour le choix des maisons à instrumenter, après réflexion, nous avons identifié cinq facteurs auxquels nous attribuons deux niveaux :

	Facteurs	Niveau 1	Niveau 2
x <sub>1</sub>	Proportion de bois mobilier (% de la surface du mobilier)	< 50 %	> 50 %
x <sub>2</sub>	Proportion de bois parement intérieur (% de la surface totale des parois)	< 60 %	> 60 %
x <sub>3</sub>	Type de maison - Construction	« Maçonnerie »	Ossature Bois
x <sub>4</sub>	Volume (m <sup>3</sup> )	Chambre, bureau	Salon
x <sub>5</sub>	Surface vitrage (% surface vitrage par rapport à la surface du plancher)	> 20 %	< 20 %

*Tableau 1 : Facteurs du plan d'expériences pour l'évaluation de la qualité du confort thermique et acoustique*

Pour avoir toutes les combinaisons possibles des niveaux de facteurs il nous faudrait réaliser 32 essais, ce qui s'avère impossible à accomplir. Les tables de Taguchi sont notées  $L_i(j^k)$  où  $i$  est le nombre d'expériences à réaliser,  $j$  le nombre de niveaux par facteur et  $k$  le nombre de facteurs. La table d'essai  $L_8(2^5)$  nous permet de tester simultanément cinq facteurs. La matrice d'expériences, présentant les 8 essais à réaliser, est de la forme suivante :

Facteur Ambiance	Mobilier	Parement	Construction	Volume	Vitrage
	x1	x2	x3	x4	x5
A	< 50%	< 60%	Maçonnerie	Chambre	> 20%
B	< 50%	< 60%	Maçonnerie	Salon	< 20%
C	< 50%	> 60%	Bois	Chambre	> 20%
D	< 50%	> 60%	Bois	Salon	< 20%
E	> 50%	< 60%	Bois	Chambre	< 20%
F	> 50%	< 60%	Bois	Salon	> 20%
G	> 50%	> 60%	Maçonnerie	Chambre	< 20%
H	> 50%	> 60%	Maçonnerie	Salon	> 20%

Tableau 2 : Matrice d'expériences  $L_8(2^5)$  présentant les essais à réaliser

Le plan d'expériences s'applique à huit maisons présentant les caractéristiques du tableau 2, toutes situées dans le département de la Gironde dans le Sud-Ouest de la France.

Les résultats sont représentés dans les graphes des effets (figure 4) qui permettent de visualiser rapidement et simultanément l'influence de tous les facteurs.

Les mesures effectuées dans le cadre de notre étude nous permettent d'évaluer plusieurs indicateurs traduisant la qualité du confort thermique et acoustique des maisons instrumentées. Ces indices sont les suivants : Le Pourcentage Prévisible D'insatisfaits (PPD) ; les quatre Pourcentages D'insatisfaits (PD) ; le niveau de bruit équivalent,  $L_{eq}$  ; le temps de réverbération,  $T_R$  et la note de confort subjectif C, obtenue à l'aide des enquêtes auprès des habitants.

Nous présentons ici le graphe des effets de l'indice de confort subjectif C :

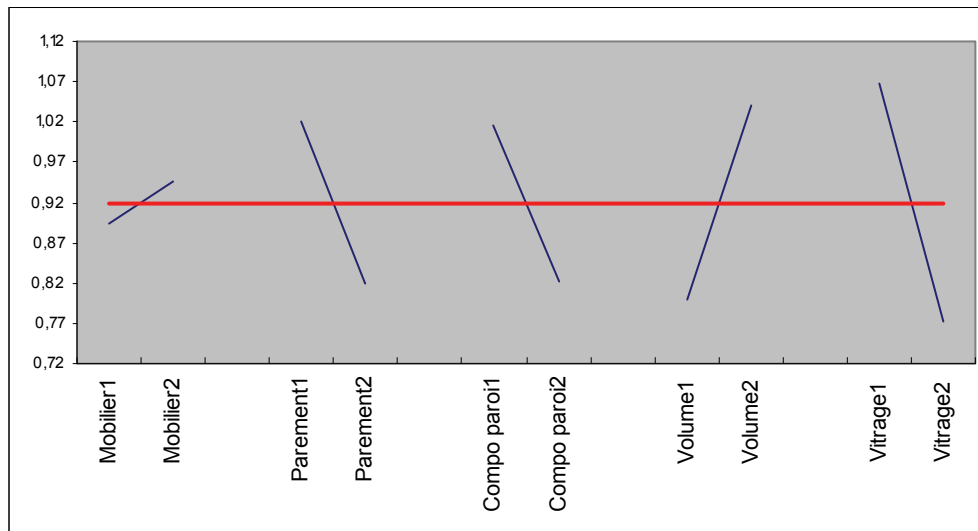


Figure 4 : Graphe des effets pour l'indice C, période estivale

En comparant les pentes des différents segments de droites, nous remarquons que les facteurs « type de parement », « type de construction », « volume » et « vitrage » sont les plus significatifs durant l'été. Le facteur « mobilier » peut être considéré comme négligeable devant les autres facteurs.

En conclusion, d'après les réponses des habitants et durant la période estivale, la meilleure configuration pour avoir un confort thermique et acoustique optimal se trouve être une chambre (volume 1) avec peu de vitrages (vitrage 2), un parement intérieur composé de bois (parement 2) dans une maison en ossature bois (compo paroi 2).

#### 4.2 - Méthode d'analyse multicritères ELECTRE II appliquée à l'étude du confort de l'habitat

Nous utilisons l'analyse multicritères comme outil d'aide à la décision. L'analyse multicritères est une technique d'optimisation permettant de choisir entre plusieurs solutions ou **actions** selon un ensemble de **critères** donnés. Elle se base sur la création d'une matrice de performance ou matrice de décision qui se présente comme un tableau à double entrée qui permettra de juger les différentes solutions sélectionnées par rapport à chacun des critères. Ces derniers sont pondérés d'un coefficient appelé poids relatif du critère.

La méthode ELECTRE II est utilisée pour des problématiques de rangement, elle vise à classer les actions des meilleures jusqu'aux moins bonnes, en tolérant les ex aequo. La méthode Electre II est basée sur l'hypothèse que toutes les actions sont comparables.

Pour l'étude du confort thermique et acoustique, il a fallu définir une famille cohérente de critères. Nous avons logiquement décidé de construire une matrice de décision avec les critères cités précédemment : PMV et indices PD en rapport avec les sources d'inconfort localisés, niveau de bruit équivalent et temps de réverbération.

Les huit pièces étudiées ont été identifiées par le plan d'expériences introduisant les facteurs pouvant varier dans une construction tels que la surface de vitrage ou le type de parement intérieur. Nous exploitons la méthode ELECTRE II pour classer les huit ambiances répertoriées.

## 5 - Résultats et analyse

Nous recueillons les données d'une station météo proche (température et humidité). Il est important que les conditions extérieures soient sensiblement les mêmes pour chaque maison étudiée, ainsi les mesures peuvent être comparées entre elles.

Les différentes grandeurs menant aux calculs des indices PPD, PD1, PD2, PD3 et PD4 (températures, humidité, vitesse de l'air) sont mesurées toutes les 10 minutes.

### Analyse des résultats à l'aide de la méthodologie multicritères Electre II

L'analyse multicritères nous permet de modéliser les préférences sur les critères. Pour cela, nous raisonnons en termes d'écart de performance par rapport à une valeur cible pour chaque critère, ce qui s'avère simple pour les différents pourcentages d'insatisfaits et pour le niveau de bruit. En effet, pour ces critères, nous recherchons les valeurs les plus petites possibles.

Pour étudier la réverbération de la pièce, Knudsen [KNU 57] propose un temps de réverbération optimal en fonction du volume  $V$  du local :

$$T_{R_{opt}} = 0.32 + 0.17 \log V \quad (2)$$

Nous raisonnerons donc en termes de différence entre le  $T_R$  mesuré et le  $T_R$  optimal. Plus la valeur de  $\Delta T_R$  est proche de 0, meilleure est la performance.

Nous avons créé un tableau de résultats pour chaque plage horaire de chaque saison, nous obtenons donc 9 tableaux.

Dans l'exemple suivant nous présentons les résultats correspondant à la saison estivale :

#### Saison estivale, période 6h-14h :

	PPD	PD1	PD2	PD3	PD4	$L_{eq}$	$\Delta T_R$
Ambiance A	10,2	8,3	0,5	5,6	0,4	34	0,02
Ambiance B	9,2	6,4	0,6	5,7	0,3	35	0,07
Ambiance C	5,9	9,0	0,7	7,2	0,2	34	0,21
Ambiance D	8,0	8,4	1,0	8,7	0,5	35	0,07
Ambiance E	6,9	10,5	0,8	5,6	0,2	36	0,15
Ambiance F	5,9	9,4	0,4	5,5	0,1	35	0,13
Ambiance G	8,1	6,8	0,6	5,8	0,1	35	0,18
Ambiance H	9,0	10,1	0,7	5,7	0,1	34	0,23

**Saison estivale, période 14h-22h :**

	PPD	PD1	PD2	PD3	PD4	$L_{eq}$	$\Delta T_R$
Ambiance A	13,2	5,3	0,6	5,8	9,3	34	0,02
Ambiance B	15,2	4,7	1,0	5,7	0,1	34	0,07
Ambiance C	12,0	5,5	0,6	6,4	3,4	34	0,21
Ambiance D	15,1	5,5	4,9	6,4	1,1	37	0,07
Ambiance E	8,1	5,4	0,6	5,5	0,2	39	0,15
Ambiance F	26,9	4,5	1,7	5,6	14,2	35	0,13
Ambiance G	9,1	5,1	0,9	5,8	0,1	34	0,18
Ambiance H	19,5	6,0	1,2	5,9	15,6	36	0,23

**Saison estivale, période 22h-6h :**

	PPD	PD1	PD2	PD3	PD4	$L_{eq}$	$\Delta T_R$
Ambiance A	13,4	7,6	0,6	5,6	0,1	33	0,02
Ambiance B	13,1	7,8	0,8	5,6	0,1	33	0,07
Ambiance C	9,2	8,8	0,7	5,9	0,2	34	0,21
Ambiance D	9,5	12,2	0,4	8,7	0,5	33	0,07
Ambiance E	9,5	4,9	0,5	5,5	0,1	34	0,15
Ambiance F	13,5	4,8	0,6	5,5	0,1	34	0,13
Ambiance G	9,9	7,5	0,8	5,5	0,1	33	0,18
Ambiance H	17,4	7,7	1,0	6,1	0,1	34	0,23

En comparant les tableaux de résultats du confort thermique pour les huit ambiances et pour les trois périodes de la journée, nous remarquons que les pourcentages d'insatisfaits les plus élevés interviennent l'après-midi, qui est donc la période de la journée la plus propice au développement de l'inconfort thermique.

Nous remarquons également que le PPD présente une variation plus importante entre les différentes périodes de la journée pour les maisons en bois, tandis que le PPD a tendance à rester assez stable pour les maisons en maçonnerie. Cela s'explique par la différence d'inertie entre les deux types de construction.

D'un point de vue du confort acoustique, nous notons que les niveaux de bruits sont sensiblement équivalents, car toutes les maisons se situent dans des zones calmes.

Afin d'obtenir un classement des ambiances à l'aide de la méthodologie d'analyse multicritères ELECTRE II, nous définissons le poids de chaque critère à l'aide des réponses données par les habitants. Pour les périodes 6h-14h et 22h-6h (matin et soir), on double le poids des critères PPD et  $L_{eq}$ , pour la période 14h-22h (après-midi), les critères PPD, PD4 (lié à l'asymétrie de rayonnement) et  $L_{eq}$  ont un poids doublé. En effet, les enquêtes ont fait ressortir le fait que l'asymétrie de rayonnement est considérée comme un critère important pour le bien-être des occupants, pour la période 14h-22h

Nous obtenons les classements suivants :

6h-14h	14h-22h	22h-06h
Rang 1 : C, F et G Rang 2 : A et H Rang 3 : D, E et B	Rang 1 : G Rang 2 : C Rang 3 : B et E Rang 4 : A Rang 5 : D Rang 6 : F et H	Rang 1 : G Rang 2 : E Rang 3 : A Rang 4 : F et D Rang 5 : B et C Rang 6 : H

Nous traduisons les résultats des enquêtes à l'aide de la note de confort subjectif C obtenue à l'aide de la formule (1). Nous obtenons les notes suivantes pour la période estivale :

	A	B	C	D	E	F	G	H
Note de confort subjectif C	1,17	0,96	0,70	0,92	0,75	1,14	0,72	1,19

#### Classements finaux pour la période estivale :

Classement objectif	Classement subjectif
Rang 1 : G Rang 2 : C et E Rang 3 : A Rang 4 : B et F Rang 6 : D Rang 7 : H	Rang 1 : C Rang 2 : G Rang 3 : E Rang 4 : D Rang 5 : B Rang 6 : F Rang 7 : A Rang 8 : H

En comparant les deux classements, la première observation est qu'une certaine cohérence d'ensemble est observable, la méthode utilisée semble valide.

Le point commun entre les trois ambiances de tête C, E et G est que les mesures ont été réalisées dans une chambre ou un bureau, nous pouvons donc penser que les petits volumes présentent des conditions de confort plus acceptables que les grands volumes en période d'été.

Les deux ambiances présentant des positions différentes notables sur les deux classements sont les ambiances A, D et F. Nous rappelons que l'ambiance F présente un parement intérieur non composé de bois dans une maison à ossature bois et que l'ambiance A présente un parement intérieur non composé de bois dans une maison en maçonnerie, contrairement à l'ambiance D qui présente un parement intérieur en bois dans une maison à ossature bois. Nous constatons que cette dernière se place à un rang supérieur d'un point de vue subjectif contrairement aux ambiances A et F qui possèdent des meilleurs classements d'un point de vue objectif. Nous pouvons alors penser que le matériau bois a joué un rôle positif dans la perception du confort thermique chez les habitants.



INSTITUT  
TECHNOLOGIQUE



## Conclusions et perspectives

D'après les réponses des enquêtes, la sensation de confort est influencée favorablement par le matériau bois. Le graphe des effets ou encore la comparaison entre les classements objectifs et subjectifs obtenus confirment cette hypothèse.

Nous notons également, d'après la pondération donnée par les habitants dans les enquêtes, que le confort thermique préoccupe davantage que le confort acoustique. Les habitants seront donc plus sensibles à un inconfort thermique qu'à un inconfort acoustique.

Enfin, et pour compléter la méthodologie des plans d'expériences appliquée au confort de l'habitat, il sera judicieux de prendre en compte un facteur « système de chauffage ». Ce facteur sera alors intégré à la matrice d'expériences uniquement pour étudier son influence durant l'hiver.

## Références

[BAR 06] BARLET A., "Perception et représentation des ambiances", Support de cours Master Ambiance et Confort pour l'Architecture et l'Urbanisme, Université de Bordeaux, année 2006-2007.

[FAN 73] FANGER P.O.- "Thermal Comfort", 1973, Mac Graw-Hill Book Company, New York.

[GUE 03b] GUERRA L., "Evaluation par des critères physiques des performances acoustiques de la salle de TD n°142 – Bât 336 – Campus d'Orsay", Atelier CAPS, Décembre 2003.

[HER 58] HERTZBERG, H.T.E, "Annotated bibliography of applied physical anthropology in human engineering", Report n° WADC-TR-56-30, *Aero-Medical Library*, 1958.

[KNU 57] KNUDSEN V.O., HARRIS C.M., "Le projet acoustique en architecture", Dunod, 1957.

[LAC 03] LACHAL, B., ROMERIO, F., "Habitat, confort et énergie", Actes de la Journée du Cuepe 2003 et du Colloque du cycle de formation du Cuepe 2002/2003 ; Genève.

[SLA 86] SLATER K., "The Assessment of Comfort", *J. Textile Inst.* 77, 157-171 (1986).

[TAG 86] TAGUCHI G., "Introduction to Quality Engineering : Designing Quality into Products and Processes", Asian Productivity Association, 1986.

## Normes :

[ISO 30] « ISO 7730 : Ergonomie des ambiances thermiques -- Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local », mars 2006.

[NFS 057] « NF S 31-057 – Vérification de la qualité acoustique des bâtiments », AFNOR, octobre 1982.