

CFA '18 LE HAVRE ■ 23-27 avril 2018
14^{ème} Congrès Français d'Acoustique



**Évaluation du confort acoustique en logement résidentiel:
Description du système de reproduction sonore adapté aux
expériences perceptives envisagées**

R. Dedieu^a, C. Lavandier^b, C. Camier^c et S. Berger^d

^aLaboratoire ETIS, UMR 8051, Université Paris Seine, Université Cergy-Pontoise, Site de Saint-Martin, 2 rue Adolphe Chauvin, 95302 Cergy-Pontoise Cedex, France

^bETIS, UMR 8051, ENSEA, CNRS, Univ. Paris Seine, Univ. Cergy-Pontoise, 95000 Cergy-Pontoise, France

^cSaint Gobain Recherche, 39, quai Lucien Lefranc, 93303 Aubervilliers, France

^dSaint Gobain Recherche, 39, quai Lucien-Lefranc, 93303 Aubervilliers, France
romain.dedieu@saint-gobain.com

Dans le cadre d'une thèse Cifre entre l'industriel Saint-Gobain Recherche (SGR) et l'Université de Cergy-Pontoise (UCP), un laboratoire de restitution sonore écologiquement valide a été installé dans les locaux récents de la maison de la recherche à Neuville sur Oise (UCP) afin de reproduire les ambiances sonores spatialisées intérieures, typiques des logements résidentiels en ville. Ce laboratoire se situe naturellement dans un environnement très calme et dispose d'une forte isolation acoustique. L'environnement intérieur à reproduire est celui d'un salon et le système d'écoute consiste en un ensemble de 16 haut-parleurs et d'un caisson de basse contrôlés par un processeur numérique. A travers ce système d'écoute à géométrie modulable, des environnements sonores conçus pourront être restitués spatialement par la méthode VBAP ou par Ambisonie d'ordre 1 ou 2 notamment. Des tests d'écoute se dérouleront dans ce laboratoire pendant toute l'année 2018 pour répondre à la problématique du confort acoustique dans le logement résidentiel. Ils visent à rendre compte de l'influence de deux facteurs distincts sur la perception du confort sonore au domicile. Le premier facteur est lié aux différents types de sources sonores qui pénètrent le logement, et le second facteur représente les performances acoustiques des systèmes constructifs du bâti. Pour le premier facteur, les provenances spatiales seront maîtrisées: le bruit des voisins (venant du plafond ou latéralement), des parties communes, et de l'extérieur via la fenêtre. Pour le second facteur, un filtrage multicanal sera appliqué pour simuler l'isolement des dispositions constructives choisies. Pour répondre à cette problématique, 60 participants suivront une série de trois tests perceptifs distincts. Les deux premiers tests respecteront une approche psycho-acoustique par une écoute active des participants tandis que le dernier test demandera aux participants de s'impliquer dans une tâche cognitive.

1. Introduction

L'étude du confort acoustique suscite un intérêt croissant pour l'évaluation de la qualité environnementale d'un bâtiment. Les effets produits par des nuisances sonores ou par un environnement inconfortable se manifestent notamment sur la santé (trouble de santé psychologique pour des habitations domestiques, stress au travail pour des bâtiments à visée professionnelle...), le bien-être ou la productivité. Ces répercussions sont importantes et le coût qu'engendre une mauvaise gestion du bruit dans nos sociétés a récemment été estimé à 57 milliards d'euros par an [1]. La production de publications scientifiques est croissante sur le sujet du confort acoustique dans le bâtiment [2] et malgré le besoin d'un consensus sur la définition et sur les critères du confort acoustique [3], les réglementations acoustiques des différents pays européens varient considérablement sur les objectifs à atteindre en termes de descripteurs, de gammes de fréquences considérées et de niveaux [4]. Le problème ne fait pas l'objet d'un consensus européen et les termes du confort acoustique restent encore à définir. Dans cette perspective, Saint-Gobain Recherche cherche à mieux circonscrire les paramètres prépondérants du confort d'une construction donnée, notamment suivant l'activité principale des lieux.

Pour répondre à cette problématique, il s'agit de construire une méthodologie permettant de mesurer l'impact des différents facteurs acoustiques et non acoustiques sur la perception du confort sonore dans le logement résidentiel.

La perception de l'environnement sonore au domicile dépend des liens entre sources de bruit (provenant de l'espace public, des espaces communs et l'espace privé), des performances acoustiques des systèmes constructifs et d'autres facteurs non acoustiques tels que les aspects sociaux démographiques, la sensibilité au bruit, etc.

Ces travaux de recherche suivent une approche psychocognitive originale. En effet, alors qu'une méthode psycho-acoustique sollicite une écoute attentive et focalisée dans un contexte maîtrisé de laboratoire permettant d'établir plus facilement des corrélations entre grandeurs physiques contrôlées et sensations, la méthode cognitive repose sur une mise en conditions proches de conditions réelles (validité écologique) dans lesquelles l'expérience perceptive contextualisée permet de corriger le biais

introduit par une situation d'écoute peu représentative de la réalité [5]. L'approche proposée [6] reposera ainsi sur des jugements d'agrément et de confort formulés dans un contexte d'écoute active ou passive en environnement écologiquement valide.

Elle sera possible par la mise en place d'un simulateur d'environnement sonore spatialisé en laboratoire qui permettra d'étudier l'effet des performances acoustiques d'éléments de construction sur le confort acoustique perçu. L'étude proposée repose au préalable sur l'analyse de l'influence des facteurs non acoustiques. Un jury sélectionné sur critères sociaux démographiques sera l'objet de trois tests et vise à mieux connaître leur goût et leur sensibilité au bruit. Plus précisément, le premier test a pour objectif de révéler les sources de bruit jugées agréables (ou désagréables), s'il existe des consensus dans l'évaluation perceptive du jury ou bien si des différences apparaissent en raison des facteurs non-acoustiques identifiés. Lors du second test, une tâche similaire de jugement d'agrément sera demandée, portant cette fois sur des combinaisons de sources de bruit aux provenances variées (voisin, extérieur, partie commune). Il permettra d'identifier individuellement les environnements sonores confortables et inconfortables de référence qui serviront au troisième test. Le dernier test permettra finalement d'évaluer l'effet d'isollements plus ou moins performants sur la gêne ressentie par le panel.

Cet article s'organise en deux parties. La première partie s'intéresse à la présentation des caractéristiques techniques de la salle de restitution sonore spatialisée avec son système amplifié d'écoute. Dans la seconde partie, les méthodologies envisagées pour la réalisation des tests d'écoute seront présentées. Ces tests devraient commencer en été 2018.

2. Laboratoire de restitution sonore spatialisée

L'environnement écologiquement valide à reproduire, celui du salon de logement résidentiel, est visible sur la Figure 1 ci-dessous. Il correspond à un vrai appartement de la Maison Internationale de la Recherche (MIR) de l'Université de Cergy-Pontoise. Ce logement destiné initialement à l'accueil des professeurs invités a été transformé en lieu d'expérimentation pour étudier non

seulement la qualité des ambiances sonores à l'intérieur des logements mais aussi les interactions multimodales (visuelles, auditives et tactiles) entre un humain (ou plusieurs humains) et un robot (équipe Neurocybernétique du laboratoire ETIS).



Figure 1: Photographie du laboratoire de restitution sonore spatialisée (La MIR, Neuville sur Oise)

2.1. Caractérisation acoustique

L'objet de cette caractérisation acoustique est de mesurer les propriétés acoustiques pertinentes pour s'assurer des bonnes conditions d'écoute pour la réalisation de tests perceptifs.

Le laboratoire se situe dans un environnement très calme proche de l'Oise et bénéficie donc d'un niveau sonore ambiant faible de 27 dB(A). Il se situe au dernier étage d'un immeuble de deux étages et est adjacent à deux autres espaces : un logement et un laboratoire comme indiqué Figure 2.

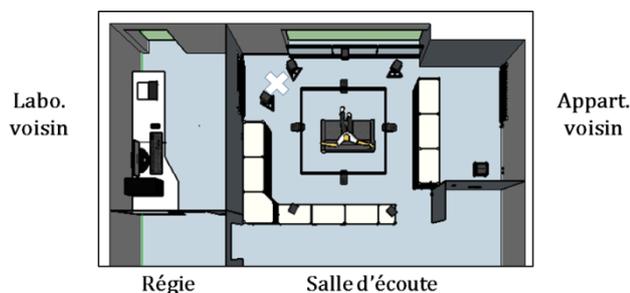
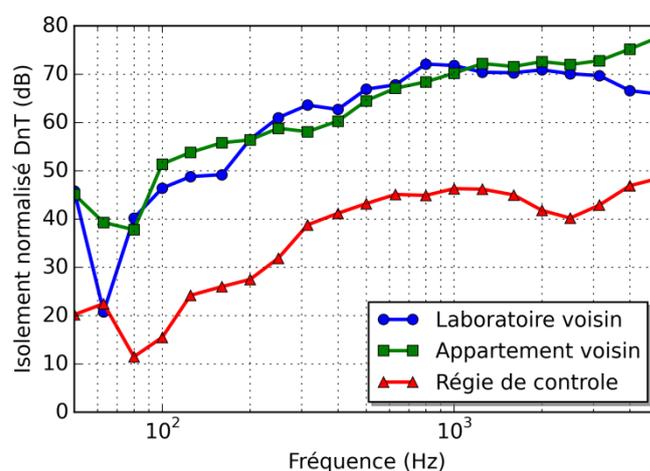


Figure 2: Modélisation du laboratoire de restitution sonore spatialisée. La croix correspond à la position de la source omnidirectionnelle utilisée pour mesurer la réponse de la salle au centre de l'espace d'écoute.

Ce faible niveau de bruit de fond intérieur est obtenu à la fois grâce à des conditions sonores extérieures calmes mais aussi grâce aux performances acoustiques élevées des éléments de construction du bâtiment. Les isolements in situ normalisés D_nT mesurés selon la norme ISO 16283-1 [8] sont présentés sous la forme d'un spectre de tiers d'octaves [50 et 5000] Hz en Figure 3. Ces mesures ont été effectuées pour caractériser les performances d'isolement de trois séparatifs du laboratoire.

Les résultats montrent que les isolements acoustiques entre, d'une part, la régie et le laboratoire voisin, et d'autre part, entre la salle d'écoute et l'appartement voisin sont tous deux supérieurs aux exigences réglementaires [7].

L'isolement entre la salle d'écoute et la régie son est plus faible mais reste satisfaisant pour un isolement intérieur à un logement (Figure 3).



	Régie	Laboratoire voisin	Appartement voisin
$D_{nT,w}(C;C_{tr})$ [dB]	41(-2 ; -8)	68 (-2 ; -7)	68 (-1;-5)

Figure 3: Isolements acoustiques mesurés selon la norme ISO 16283-1 [8] et indicateurs globaux calculés selon la norme ISO 717-1[9] : Entre la salle d'écoute et l'appartement voisin [carré vert], entre la salle d'écoute et la régie [triangle rouge], et entre la régie et le laboratoire voisin [cercle Bleu].

Des mesures de temps de réverbération (TR) effectuées selon la norme ISO 3382-2 [10] participent à la caractérisation de la salle d'écoute. Les résultats sont présentés Figure 4.

Le temps de réverbération dans la salle d'écoute dépasse 0.6s dans certaines bandes de tiers d'octaves (voir Figure 4). Ce critère de salle n'est donc pas encore satisfait vis-à-vis des recommandations de l'AES pour une salle d'écoute sonorisée [11]. L'ajout d'environ 11 m² d'absorbant devrait suffire à réduire le TR autour de 0,5s, valeur moyenne du temps de réverbération d'un salon d'appartement classique.

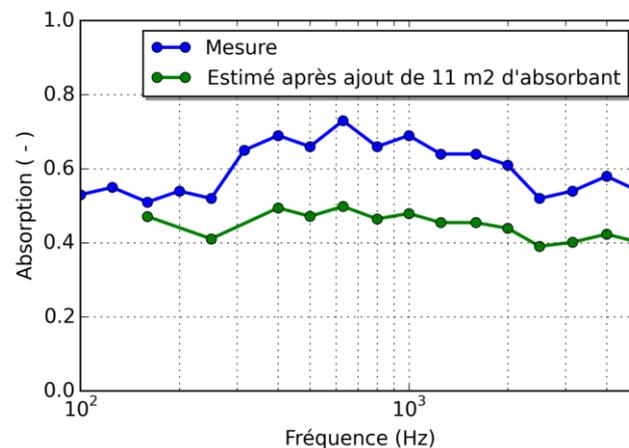


Figure 4: Temps de réverbération mesuré dans la salle d'écoute et simulé après pose de panneaux absorbants.

Afin de caractériser les chemins acoustiques émis par le réseau de haut-parleurs, modifiés par l'acoustique de la

salle et reçus dans la zone centrale d'écoute, les réponses impulsionnelles et fonctions de transferts correspondantes ont été mesurées.

Ces grandeurs ont été obtenues en suivant la méthode de Farina [12]. Elles ont été mesurées en positionnant une source omnidirectionnelle 01-dB DO12 entre deux des haut-parleurs voisins du réseau de haut-parleurs (voir Figure 2) et en positionnant le récepteur au point central d'écoute. Le sinus glissant utilisé balaye l'intervalle [20 – 20000] Hz sur 60 secondes.

La figure 5 montre un exemple de réponse impulsionnelle temporelle et de fonction de transfert obtenues. On observe des effets modaux à la fois sur la mesure de la réponse impulsionnelle et sur la fonction de transfert normalisée. Les premières réflexions franches sont bien visibles sur la réponse impulsionnelle et les effets modaux avec quelques pics et creux d'amplitude apparaissent sur la fonction de transfert entre 200 et 1200 Hz.

La pose des panneaux absorbants dans la salle d'écoute devrait permettre de les réduire.

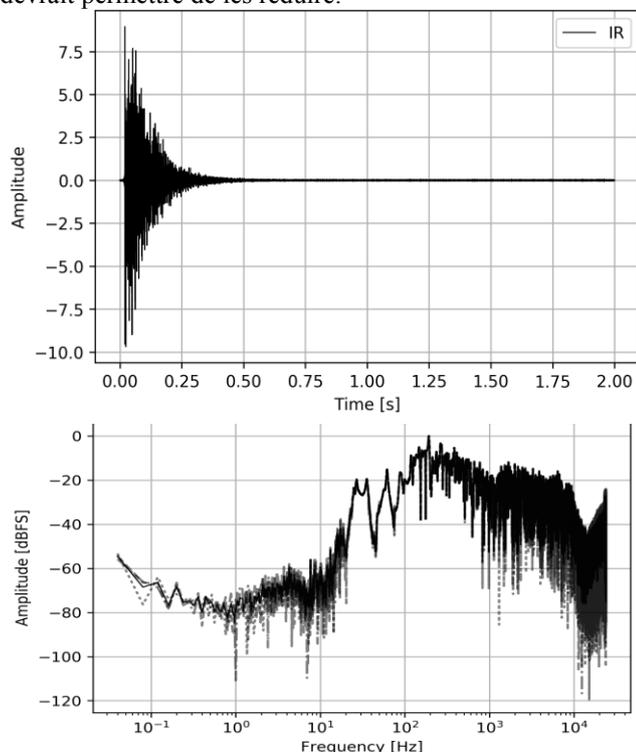


Figure 5: Mesures au point d'écoute central de la salle de restitution sonore: Réponse impulsionnelle temporelle (en haut) ; Fonction de transfert normalisée (en bas).

2.2. Le système de restitution sonore

2.2.1. Description

Le système de reproduction sonore est composé de :

- 16 haut-parleurs Yamaha HS7-I Blancs préamplifiés
- 1 caisson de basses Genelec 7070A
- 1 station DELL Précision T7810 avec carte son PC AIC128-D Dante
- 1 processeur audio DME 64N composé de:
 - 2 cartes MY8-DA96
 - 1 carte MY8-ADA96

- 1 carte DANTEMY16AUD2

Les 16 haut-parleurs sont répartis pour former un maillage en 3D dans la salle d'écoute. Ce maillage peut varier en fonction des environnements sonores à reproduire et la présence d'étagères formant une bibliothèque tout autour du point central d'écoute permet un positionnement modulable des haut-parleurs. Dans sa configuration standard, la salle d'écoute comprend 4 haut-parleurs au sol, 8 à 1.20m du sol dans un plan horizontal. Ces 12 haut-parleurs sont tous à égale distance du point central d'écoute.

Les 4 derniers haut-parleurs sont à environ 2.4m de hauteur du sol et sont positionnés sur une structure carrée de 2m de côté.

2.2.2. Les modèles de restitution

Afin de reproduire à la fois des sources étendues et/ou localisées, nous envisageons, grâce à la modularité de notre géométrie de haut-parleurs, d'utiliser notamment deux stratégies de reproduction :

- Le modèle d'ambisonie (aux ordres 1 ou 2) initié par Gerzon en 1975 [13]
- Le modèle Vector Based Amplitude Panning (VBAP) développé par Pulkki en 1997 [14]

Ces stratégies de reproductions seront conçues et commandées via MAX/MSP.

3 Les tests d'écoute psycho-cognitifs

L'objectif des premiers tests qui doivent se dérouler dans cet espace de restitution sonore est de comprendre comment les résidents perçoivent l'équilibre des sources qui composent leur environnement sonore au quotidien, et comment cet équilibre participe à la notion de confort acoustique. Les deux premiers doivent permettre de connaître les préférences des auditeurs et leurs stratégies d'écoute afin de caractériser perceptivement les environnements sonores qui seront évalués au cours du troisième test. Celui-ci devrait permettre de mieux comprendre comment le confort acoustique est apprécié et évalué lors d'une activité de repos. 60 participants viendront donc à trois reprises dans le laboratoire pour effectuer les trois expériences. Chaque test durera approximativement une heure. Ces sources proviennent donc de l'espace extérieur au logement mais aussi de l'intérieur.

3.1. Choix du panel

Des critères sociodémographiques doivent être pris en compte afin d'obtenir un panel diversifié. Au total, quatre catégories ont été définies correspondant à deux catégories d'âge croisées avec deux catégories de sensibilité au bruit:

- Etudiants entre 18-30 ans ne vivant plus chez leurs parents, vivant actuellement en appartement en milieu urbain ou péri-urbain, et ayant grandi dans un environnement urbain ou péri-urbain (30 personnes) ;
- Actifs actuellement en activité, âgés entre 30 et 50 ans, vivant depuis plus de 10 ans dans leur appartement, et ayant grandi en environnement urbain ou péri-urbain ; puisqu'en 2014, 48% des habitants en Ile de France étaient propriétaires de

leur logement [15], il serait souhaitable de conserver cette répartition pour les tests. (30 personnes).

Il est pressenti que la sensibilité au bruit soit un facteur non acoustique très influent sur le confort acoustique ressenti par les participants. Le panel des auditeurs devra donc respecter une segmentation en deux sous-groupes : 50 % d'individus sensibles voire très sensibles au bruit et 50 % de participants peu sensibles voire pas sensibles au bruit. L'évaluation de la sensibilité au bruit sera effectuée lors de la première expérience et s'appuiera sur le questionnaire de Zimmer (forme courte) [16]. De plus un audiogramme complet sera proposé aux participants pour vérifier l'absence de troubles auditifs.

3.2. Premier test : les sources sonores

3.2.1. Description

Il existe une diversité de sources sonores perceptibles importante dans un logement résidentiel en environnement urbain, et le contenu sémantique de chacune des typologies de sources influe sur le ressenti des individus. Ce test a pour objectif de caractériser l'effet de chacune de ces catégories de sources sur l'agrément, d'identifier les goûts des participants, et d'en déduire des préférences diversifiées

potentielles. Les bandes sonores dédiées à chaque type de source auront préalablement été composées avant d'être spatialisées. Elles seront restituées au point d'écoute à sonie constante (mais réaliste), de façon à ce que seul le contenu sémantique de chacun de ces environnements soit évalué. Pour chaque extrait, Il sera demandé au participant d'attentivement écouter l'exemple sonore et de juger sur une échelle sémantique de l'agrément sonore.

3.2.2. Choix des sources

Le choix des sources sonores à restituer pour ce test s'appuie sur une étude bibliographique [17] recensant à la fois les processus cognitifs de catégorisations des types de sources intérieures [18] et extérieures [19] et les résultats quantifiant la gêne due au bruit du domicile [20] [21]. Ces sources se distinguent à la fois en fonction de leur provenance et de la catégorie sémantique auxquelles elles appartiennent. Le Tableau 1 ci-dessous décrit l'ensemble des sources sonores qui pourraient être étudiées mais pour le premier test, seules les sources propagées par voie aérienne seront retenues. Ainsi, les vibrations provoquées par le claquement des portes ou les bruits de pas ne seront pas abordées dans le cadre de ce travail.

Tableau 1 : Sources sonores sélectionnées pour l'évaluation perceptive de l'agrément sonore

Provenance	Intérieur au logement	Issus des logements voisins (adjacent et du dessus)	Issu des parties communes	Extérieures au logement
Désignation des sources de bruit	Ventilation type « VMC »	<u>Equipements :</u> Chutes d'eau dans les canalisations Machine à laver / Sécher le linge Aspirateur <u>Liés à l'activité du voisin :</u> Voix/ Eclats de voix / Cris /Pleurs Pas Claquement de portes Musique / Télévision Chute d'objets	Claquement de portes Voix Ascenseur Pas	Trafic routier continu sur grand axe routier Passages de véhicules isolés à faible vitesse (30-50 km/h) Dominance activités humaines (passants, commerces...) Dominance nature (chants d'oiseaux, cours d'eau...) Mélange de ces divers types de sources (routier, présence humaine et nature)

3.2.3. Choix des systèmes constructifs

Afin de restituer des environnements sonores réalistes au point d'écoute, l'isolement au bruit aérien du bâtiment sera simulé par un filtrage appliqué aux signaux des sources sonores grâce à un protocole d'auralisation prenant en compte la localisation, le mouvement et l'étendue des sources ainsi que l'effet de la salle d'écoute. Le choix du bâti correspond à des éléments constructifs ayant de faibles performances acoustiques afin que le contenu sémantique ne soit pas trop diminué. Les éléments de bâti à simuler sont typiques des logements construits dans les années 1960 en France. Ils sont répertoriés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Performances en isolation acoustique des éléments constructifs choisis pour le premier test d'écoute Indicateur global R_w calculé selon la norme ISO 717/1.

	Façade		Plancher	Séparatif logement voisin
	Béton 12 cm	Simple Vitrage 4 mm	Dalle béton alvéolaire	Cloison alvéolaire 72
R_w (dB)	52	22	56	29

3.3. Second test : Mixage de sources

Pour cette seconde étape, l'objectif est de caractériser l'agrément sonore des mélanges de sources perceptibles dans son logement. Pour y parvenir, le test a été élaboré pour révéler les stratégies de masquage individuelles ou collective de certaines sources de bruits jugées désagréables par d'autres sources plus agréables pour améliorer le ressenti global. La connaissance des préférences exprimées par chacun des participants et révélées lors du premier test rendra possible cette analyse.

3.3.1. Protocole

Afin de révéler ces stratégies de masquage, l'interface envisagée permettra aux participants de mixer l'environnement sonore constitué de trois sources en diminuant ou en augmentant les niveaux sonores relatifs des pistes tout en gardant constant le niveau sonore global (en dB(A)). Cette méthodologie a déjà été utilisée pour étudier l'équilibre des sources industrielles [22]. Un exemple d'interface est présenté en Figure 6.

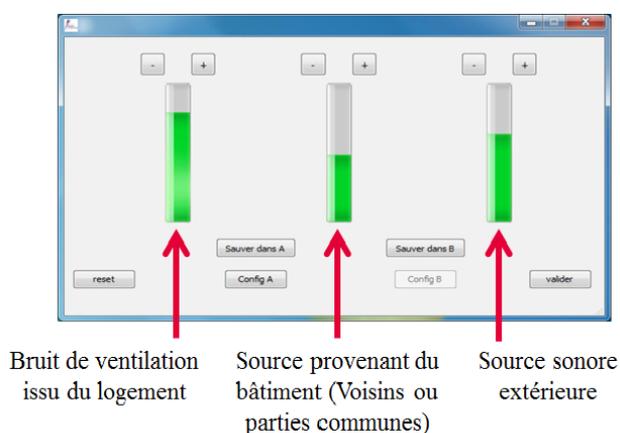


Figure 6 : Exemple d'interface utilisée pour le test de masquage des sources. Il reprend la visualisation utilisée dans [22].

Les pistes à mixer sont divisées par catégories de provenance :

1. La première piste représente une source de bruit intérieure au logement, il s'agit d'un bruit de ventilation ;
2. La seconde piste représente quelques sources de bruit provenant du logement voisin adjacent, du voisin du dessus, ou bien provenant des parties communes ;
3. La troisième piste correspond à quelques sources sonores extérieures au bâtiment provenant de la baie vitrée.

30 combinaisons fixes de sources seront proposées à chaque participant et leur tâche sera d'ajuster les niveaux de façon à obtenir dans un premier temps l'environnement sonore le plus agréable, et dans un second temps l'environnement sonore le plus désagréable.

3.3.2. Choix des sources

Le choix des sources sera déterminé par les résultats du premier test. L'objectif est de sélectionner les sources de bruits les plus typiques et couvrant une gamme de notes

d'agrément suffisamment large. La méthode de filtrage de bâti définie au paragraphe 3.2.3 sera appliquée sur les sources considérées.

3.4. Troisième test : Evaluer l'influence des performances acoustiques des éléments constructifs

La connaissance des stratégies de masquage (individuelles ou collective) ainsi que les notes d'agréments des scènes sonores composées lors de la seconde expérience devraient révéler les facteurs non acoustiques influents. L'effet seul des performances acoustiques du bâtiment sur la perception du confort acoustique par la réalisation du troisième test devient alors atteignable puisque les autres facteurs non acoustiques auront au préalable été caractérisés.

Alors que les deux premiers tests nécessitent une écoute attentive du participant pour juger de l'agrément des environnements sonores, lors de ce dernier test l'approche cognitive a été privilégiée avec la mise en situation du participant dans une écoute distraite. Quatre à cinq scénarios sonores seront ainsi perceptivement évalués sur une échelle de gêne/confort (et non plus d'agrément/désagrément) et chaque condition sonore durera 10 minutes. Chaque scénario correspondra à une configuration de bâti qui aura été préalablement simulée, spatialisée et restituée au point d'écoute.

3.4.1. Choix des systèmes constructifs

Le choix des configurations de bâti n'est pas encore arrêté. Toutefois, on se place ici dans un contexte de rénovation de bâtiment ancien typique des années 1960 dans lequel chaque nouvelle condition sonore correspond à l'amélioration de l'un des éléments constructifs.

La configuration définie au paragraphe 3.2.3 correspondant au cas de mauvaises performances d'isolation et sera la situation de départ à améliorer. Un changement de vitrage, un ajout de doublage, ou un changement de séparatif avec le voisin seront virtuellement simulés pour restituer l'environnement sonore ainsi modifié.

3.4.2. Choix des sources sonores typiques

Le choix des sources sonores sera déterminé par les résultats obtenus lors du second test. Cependant, dans l'hypothèse où un consensus serait mis en évidence pour caractériser l'environnement sonore le plus désagréable lors du second test, celui-ci serait utilisé comme environnement sonore à restituer pour le troisième. L'environnement sonore visé pour ce dernier test est de proposer une situation défavorable avec un potentiel de pollution sonore fort pour rendre compte ensuite des améliorations possibles des performances acoustiques des éléments de construction.

3.4.3. Définition du contexte d'écoute

Pour se rapprocher d'un contexte naturel de repos dans un salon de logement résidentiel, une activité de lecture libre sera proposée aux participants. Dans ce contexte, notre hypothèse est que le confort dépend de la perturbation cognitive engendrée par le stimulus sonore sur l'activité de lecture. Pour mesurer la gêne ressentie une question sera posée à la fin de chacune des conditions sonores: « Dans quelle mesure cet environnement sonore vous a-t-il gêné

dans l'accomplissement de votre tâche de lecture ?». Une échelle continue est envisagée et permettra aux sujets de quantifier la gêne ressentie à l'aide d'un curseur.

4. Conclusion

Un nouveau laboratoire de restitution d'environnements sonores intérieurs a été mis en place au sein de la MIR (Maison internationale de la Recherche) de l'université de Cergy-Pontoise. Cet outil va permettre la réalisation de trois tests d'écoute visant à déployer une méthodologie permettant d'identifier et de quantifier l'influence des différents facteurs sur la perception de confort acoustique dans le logement résidentiel. Le premier test vise à révéler l'effet des typologies de sources sur l'agrément sonore. Le second vise à rendre compte des effets de masquage lorsque plusieurs sources de bruits coexistent dans un logement (bruit extérieur et issu du voisin) et enfin la dernière expérience vise à révéler l'effet de l'amélioration des performances acoustiques dans un contexte de rénovation sur la perception de confort sonore. Ces tests se dérouleront jusqu'à la fin de l'année 2018 grâce à la participation de 60 sujets rémunérés pour réaliser ces tests.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ANRT pour avoir accepté de subventionner ce projet de thèse.

Références

- [1] EY. Le coût social du bruit – Analyse bibliographique des travaux français et européens (2016), CNB/ADEME
- [2] Al horr Y., Arif M., Katafygiotou M., Mazroe A., Kaushik A. et Elsarrag E. (2016), Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature, Int Jour of Sustainable Built Environment, Vol. 5, p. 1-11, 2016
- [3] Cost Action TU901 (2011), Towards a common framework in building acoustics, Cost Office 2011
- [4] Rasmussen B. (2010), Sound classification schemes in Europe-quality classes intended for renovated housing. COST Action TU701, May 2010
- [5] Guastavino C. (2003), Etude sémantique et acoustique de la perception des basses fréquences dans l'environnement sonore urbain, Thèse de doctorat, Université de Paris 6
- [6] Lavandier C. (1989), Validation perceptive d'un modèle objectif de caractérisation de la qualité de l'acoustique des salles, Thèse de doctorat, université du Maine
- [7] Arrêté du 30 juin 1999 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation, Lien URL : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000211449>.
- [8] ISO 16283-1:2014 Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation
- [9] ISO 717-1:2013 Acoustique - Évaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction -- Partie 1: Isolement aux bruits aériens
- [10] ISO3382-2:2008Acoustique - Mesurage des paramètres acoustiques des salles - Partie 2: Durée de réverbération des salles ordinaires
- [11] Hirata, Yoshimutsu and Matsudaira, T. K. and Nakajima, H. (1981), Optimum Reverberation Times of Monitor Rooms and Listening Rooms, Audio Engineering Society Convention 68
- [12] Farina, A. (2000), Simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept-sine technique, 110th AES Convention
- [13] Gerzon, M. A. (1975), The design of precisely coincident microphone arrays for stereo and surround sound. In Audio Engineering Society Convention 50
- [14] Ville, P. (1997), Virtual Sound Source Positioning using Vector Base Amplitude Panning. Audio engineering society, 1997
- [15] INSEE (2015), Comparateur de territoire - Région d'Île-de-France.INSEE.
- [16] Zimmer, K.; Ellermeier, W. (1998), Ein Kurzfragebogen zur Erfassung der individuellen Lärmempfindlichkeit [Short form of a questionnaire measuring individual noise sensitivity]. *Umweltpsychologie*, Vol. 2, p. 54-63
- [17] Dedieu, R. et al. (2017), Les sources sonores dans deux contextes: les bureaux ouverts et le logement résidentiel - Analyse bibliographique
- [18] Gygi, B., Kidd, G. P. K., and Watson, C. S. (2007), Similarity and categorization of environmental sounds. *Perception and Psychophysics*, Vol. 69(6), p. 839–855, 2007
- [19] Lafay, G. (2016), Simulation de scènes sonores environnementales, Application à l'analyse sensorielle et à l'analyse sémantique, Thesis
- [20] Bedeau, L., Piquandet, J., Duhautois, and Jönssonnumber, E. (2010), Les français et les nuisances sonores - enquête tns ofres
- [21] Ljunggren, F., Simmons, C., and Hagberg, K. (2013), Findings from the akulite project : Correlation between measured vibro-acoustic parameters and subjective perception in lightweight buildings. In *Internoise INNSBRUCK AUSTRIA*
- [22] Brocolini, L., Lavandier, C., Schmich-Yamane, I., Alayrac, Marion (2017), How to reduce energy production plant noise annoyance using a sound design approach. résumé dans le *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 141(5), p. 4025, 2017