La terre crue à l'épreuve des ambiances sonores. : Un dialogue entre la mesure physique et les expériences sensibles

Marta Miranda Santos

▶ **To cite this version:**

Marta Miranda Santos. La terre crue à l'épreuve des ambiances sonores. : Un dialogue entre la mesure physique et les expériences sensibles. Génie civil. École centrale de Nantes; Universitat politècnica de Catalunya - BarcelonaTech, 2022. Français. NNT : 2022ECDN0064 . tel-04221760v2

HAL Id: tel-04221760
https://theses.hal.science/tel-04221760v2

Submitted on 28 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE DE DOCTORAT DE

L'ÉCOLE CENTRALE DE NANTES
ET L'UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ECOLE DOCTORALE N° 602
Sciences pour l'Ingénieur
Spécialité : Architecture et Études Urbaines

Par
Marta MIRANDA SANTOS

La terre crue à l'épreuve des ambiances sonores
Un dialogue entre la mesure physique et les expériences sensibles.

Thèse présentée et soutenue à l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes
le 14 décembre 2022

Unité de recherche : UMR 1563, Laboratoire Ambiances Architectures Urbanités (AAU)

Rapporteurs avant soutenance :

Denis BRUNEAU Professeur des universités, École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Bordeaux.
Ana Inés FERNANDEZ RENNA Full professor, Universitat de Barcelona, Espagne.

Composition du Jury :

Présidente : Inmaculada RODRIGUEZ CANTALAPIEDRA Full professor, Universitat Politècnica de Catalunya, Espagne.

Examinateurs :
Philippe GLÉ Ingénieur IDTPE, CEREMA Strasbourg.
Mahfoud TAHLAITI Responsable activités Génie civil & BTP, ICAM Nantes.

Dir. de thèse : Laurent LESCOP Professeur HDR, Ecole nationale supérieure d'architecture de Nantes.
Dir. de thèse : Antonia NAVARRO EZQUERRA Professor, Universitat Politècnica de Catalunya, Espagne.
Co-encadrant : Erwan HAMARD Ingénieur de recherche, Université Gustave Eiffel, Bouguenais.

Remerciements

Depuis le début de cette aventure en janvier 2019, j'ai eu la chance d'avoir le soutien et la collaboration d'un grand nombre de personnes. En rédigeant ces lignes, je tiens à adresser mes plus sincères remerciements à ceux que je nommerai par la suite mais aussi au grand nombre des personnes qui m'ont soutenue et adressée des messages chaleureux et encourageants tout au long de cette thèse. Cela m'emplit de bonheur de savoir l'intérêt que ma thèse a pu susciter dans le domaine de la recherche mais aussi dans le monde professionnel de la construction en terre crue. Merci beaucoup à chacun d'entre vous.

La liste est longue, mais j'aimerais commencer ces remerciements en adressant mon plus personnel remerciement à Michaël Petit pour m'avoir soutenu inconditionnellement tout au long de cette aventure. Merci d'avoir cru en moi et merci encore pour les heures, les jours, les semaines, les mois passés dans les relectures de ce manuscrit. Tes précieuses corrections m'ont permis de rendre les idées et les concepts ici exposés plus clairs.

Je tiens également à remercier très chaleureusement l'ensemble de l'encadrement de cette thèse, Laurent Lescop, Antonia Navarro et Erwan Hamard, merci infiniment de m'avoir guidée et accompagnée dans ce travail. Votre complémentarité mais également vos apports ont rendu ce travail bien riche et qualitatif.

Je remercie l'ensemble des membres du jury pour l'intérêt porté à mon travail, l'analyse approfondie partagée et les encouragements et les félicitations reçus lors de la soutenance. Merci à Denis Bruneau et Inés Fernández, rapporteurs pour l'école Centrale de Nantes. À Philippe Glé pour son rôle d'expert externe pour l'Université Polytechnique de Catalogne mais également pour son aide et les éclaircissements apportés sur l'acoustique au cours de ma thèse. Merci à Inmaculada Rodriguez, examinatrice et présidente du jury de thèse pour ses apports et pour avoir assumé avec courage et détermination le rôle de présidente. Enfin, merci à Mahfoud Tahlaiti pour son rôle d'examinateur et ses riches apports.

Je tiens à remercier très fortement Bruno Suner comme membre invité dans mon jury mais surtout au professionnel qui m'a guidé et fait découvrir la complexité de l'acoustique architecturale ainsi que la façon de l'étudier et de la tester. Merci de m'avoir accompagnée et formée dans mes premières mesures in situ mais aussi tout au long de cette thèse. Ta compréhension de l'acoustique architecturelle m'a fortement aidée à aborder les différentes notions de l'acoustique et explorer le potentiel de la terre crue dans ce champ d'étude.

Le travail en cotutelle et la richesse d'encadrement m'a offert la possibilité de collaboration entre trois établissements de recherche qui ont soutenu ma recherche à plusieurs niveaux. Dans un premier temps je tiens à remercier le Centre de Recherche Nantais Architectures Urbanités

(CRENAU) et l'ensemble de ses membres, merci d'avoir mis à disposition de mes travaux vos moyens logistiques, matériels et financiers. Merci aussi à l'ensemble de ses membres pour l'accueil reçu tout au long de ces dernières années. Deuxièmement, je remercie chaleureusement l'ensemble de l'équipe des laboratoires de matériaux et d'acoustique de l'EPSEB de l'Université Polytechnique de Catalogne et plus particulièrement Ana Lacasta, Judit Ramirez, Marc Tous, Belén González et Inma Rodriguez. Merci aussi pour les moyens matériels et financiers mis à ma disposition et de m'avoir donné l'opportunité de participer au projet de recherche « Soluciones bio-sostenibles para la mejora acústica y al fuego de envolventes de edificios (BioSAFE) » du gouvernement espagnol qui a permis de financier une partie du matériel de mesure utilisé. Finalement, je tiens à remercier l'Université Gustave Eiffel pour le support matériel et financier également apporté à ma thèse et qui m'a permis l'achat de plusieurs équipements de mesure et de matériel nécessaire pour le déroulement de ma thèse. Parmi l'ensemble des laboratoires de l'Université Gustave Eiffel du site de Bouguenais, je tiens à porter un remerciement plus particulier à l'ensemble de l'équipe du laboratoire MAST-GPEM et ses techniciens, merci à Alexis Cothenet et Annick L'Alloret qui m'ont fortement aidée dans la caractérisation des terres. Merci également au laboratoire UMRAE pour le prêt de leurs équipements de mesures acoustiques qui ont permis la réalisation de mes mesures in situ.

Je remercie très sincèrement l'ensemble des équipes pédagogiques et municipales des écoles de Bouvron, Baulon, Mouais, Fégréac et la Chevallerais qui ont rendu ce travail possible. Par ailleurs, je tiens à porter des remerciements particuliers envers les parents d'élèves des écoles de Bouvron et Baulon qui ont participé à l'enquête menée pendant l'année scolaire 2020-2021. Mes chaleureux remerciements vont vers les élèves de l'année scolaire 2020-2021 de grande section de deux classes de maternelle, de la classe de CP et de la classe de CE1 de l'école de Bouvron, de la classe de CE2-CM1 et de la classe de CM1-CM2 de l'école de Baulon. Merci à l'ensemble des travailleurs des écoles ayant participé à mes enquêtes. Cependant, je tiens à apporter un remerciement particulier aux enseignants Thierry, Anaïs, Laure, Céline et Laurence de l'école de Bouvron et à Jose et Stéphanie de l'école de Baulon qui au-delà de leur participation m'ont fortement aidée dans la construction de mon projet d'étude avec les élèves de leurs classes. Votre aide a été vraiment précieuse.

Je tiens à remercier les architectes Loïc Daubas et Bruno Belenfant de L'Atelier Belenfant Daubas Architectes, Cédric Smal du collectif Faro et Chloé Massot de Loom Architecture pour leur participation aux enquêtes menées, leur disponibilité et leur bienveillance envers ma recherche. Merci également à Eric Boboeuf du bureau acoustique Symbiance, à Samuel Dugelay de «de la Matière à l'Ouvrage» et Pascal Thomas de l'agence TOA architecture pour leur participation à mon enquête.

Je remercie Maxime Renaud pour le travail réalisé lors de son stage de master au sein de ma thèse et pour son accompagnement pendant la réalisation d'une bonne partie des enquêtes avec les enfants.

Un grand remerciement à l'ensemble participants des expériences de Grenoble et Barcelone, merci d'avoir accordé votre temps et partagé vos ressentis sur les expériences mises en place. En ce

qui concerne l'expérience de Grenoble je tiens à remercier chaleureusement Nuria Alvarez Coll, doctorante au CRESSON de Grenoble. C'était un vrai plaisir d'avoir pu partager cette partie de ma recherche avec toi et nourrir mutuellement nos études et questionnements. Merci également à la mairie de Grenoble, le Grand Collectif, le Collectif Voisin, le Colectivo Terron, la MDH Abbaye pour avoir facilité la mise en place de l'expérience réalisée à Grenoble mais également au SFR Territoires en réseaux pour le financement du film réalisé pour cette expérience et à Jérémie Lamoureux par sa réalisation. Merci à l'école d'édification de Barcelone (EPSEB) et au laboratoire de matériaux de nous avoir fourni l'espace pour l'expérience réalisée à Barcelone. Merci à l'entreprise COM-CAL de nous avoir fourni le matériel et la terre nécessaires pour la réalisation de l'enduit.

Lors de cette thèse pluridisciplinaire, j'ai été à plusieurs reprise amenée à solliciter de l'aide et des conseils d'experts dans différents champs d'étude. Merci à Pablo Gutiérrez pour ses contributions et éclaircissements sur le domaine du son qui furent si fondamentaux dans les premiers moments de cette thèse. Merci à Bernat Plandolit pour son aide dans la maitrise du programme d'analyse statistique R. Je ne peux qu'exprimer des remerciements très personnels à mon frère Germán Miranda, mathématicien et physicien, qui m'a énormément aidé dans la programmation sur MATLAB et à éclaircir des notions physiques et mathématiques à plusieurs reprises. Merci à Maxime Troly de la société de haute technologie en acoustique : Euphonia, pour sa formation sur CATT-Acoustic et ses conseils dans le calage de mes modèles et cas d'études. Merci à la docteure en sociologie Montserrat Simó pour sa précieuse aide dans l'analyse et les interprétations des données de mes enquêtes. Merci au docteur en chimie José Ignacio Álvarez Galindo du groupe de recherche des matériaux inorganiques et environnement (MIMED) de l'Université de Navarre pour les travaux de diffraction et de caractérisation des terres apportés.

Je tiens à adresser également des remerciements à la filière de la terre crue. Merci aux collègues artisans, architectes, techniciens, etc. et en particulier aux professionnels de la terre crue du Nord-Ouest de la France pour vos messages et l'intérêt manifesté envers ma thèse.

Comment oublier mes camarades doctorants qui comme moi travaillent sur la terre crue et avec qui j'ai pu partager mes inquiétudes et établir de riches dialogues autour de ce matériau mais aussi trouver du soutien dans ces moments d'hésitation ou de blocage. Nous continuerons à nous croiser dans le large panel d'action autour de la filière terre crue et comme vous le savez bien n'hésitez pas à me solliciter si vous avez besoin.

Et enfin, je remercie mes proches et ma famille pour avoir cru en moi et m'avoir donné le courage qui me fallait pour entreprendre et finir cette aventure de la thèse doctorale. Merci maman et papa, un chaleureux merci à mon frère, ma sœur et ses enfants. Je tiens également à porter une reconnaissance spéciale envers Pat et Olga, deux grandes amies, qui m'ont aidé à assurer l'organisation de la soutenance. Merci également à Dominique et Gérard pour leurs relectures et corrections.

Résumé

La terre crue présente des valeurs environnementales fortes, notamment une faible énergie grise, une réduction des émissions de gaz à effet de serre et une réversibilité infinie. De nos jours, ces avantages suscitent un intérêt croissant pour les constructions en terre crue afin de contribuer à relever un des plus grands défis actuels de nos sociétés qu'est « l'urgence climatique ». En outre, la terre crue présente de nombreux avantages qui peuvent contribuer au confort intérieur des bâtiments et c'est dans ce champ-là que ce travail de thèse va trouver son défi.

Pour cela, nous étudions un champ encore peu exploré dans la recherche scientifique sur la terre crue que sont les ambiances et en particulier les ambiances sonores. L'investigation sous le prisme des ambiances nous a permis de capturer plus fidèlement la complexité des modes représentés, perçus et vécus des espaces construits en terre crue, ainsi qu'approfondir sur dialogue à établir entre la donnée physique et la donnée sensible. Cela avec l'objectif final d'évaluer les effets, à la fois physiques et sensibles, qu'un matériau naturel comme la terre crue peut avoir sur la qualité de vie des usagers.

Pour répondre à nos questionnements, nous avons travaillé simultanément avec des données physiques, principalement des données acoustiques, et des données sensibles, dans deux contextes. Un premier basé sur l'étude de cas des établissements scolaires existants avec différents profils d'usagers et différentes mises en œuvre de la terre crue, et un deuxième focalisé sur la comparaison d'un même environnement avec et sans terre crue.

L'étude des phénomènes acoustiques a mis en évidence un large panel de solutions potentielles pour la bonne gestion de la qualité acoustique des salles selon la mise en œuvre employée, la quantité et la nature de fibre et l'état de surface. Par ailleurs, dans le recueil des perceptions, la présence de la terre peut avoir un effet amplificateur positif sur les ambiances perçues et vécues. Le côté « naturel », « chaleureux », la « couleur apaisante », « l'effet cocooning » ou la « singularité » apportés par une matérialité humaine et évocatrice de la nature présente dans un mur en terre semble renforcer la création des ambiances plus agréables et apaisantes. La présence de terre crue est même parfois associée à une sorte de détente physique et psychologique. Dans l'étude des confrontations nous constatons une concordance entre la présence de la terre crue, la performance acoustique réglementaire et les retours des usagers. L'amélioration du ressenti des participants semble toutefois être plus marquée que celle physiquement mesurée.

Les champs d'études des ambiances se dessinent comme une approche scientifique pertinente pour mieux comprendre aussi bien les données objectives que subjectives. Nous estimons que l'étude complémentaire de ces deux mondes est une approche très intéressante pour approfondir les représentations des constructions en terre crue et se diriger vers une appréhension des espaces plus complète et en accord avec la réalité habitée.

Mots clés : terre crue, architecture, ambiances, ambiances sonores, acoustique, sensible.

RESUMEN

La tierra como material de construcción presenta importantes valores medioambientales, como la baja energía incorporada, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la reversibilidad infinita. Estas ventajas promueven un mayor interés por las construcciones con tierra como modo constructivo para hacer frente a uno de los mayores retos de nuestra sociedad actual: la «urgencia climática». A su vez, las construcciones con tierra ofrecen valiosos beneficios en cuanto a confort interior. Es en el estudio de estos otros beneficios el campo donde esta tesis busca su aporte.

La investigación se centra en los ambientes, y en particular los ambientes sonoros, terrenos poco explorados en la investigación científica sobre la tierra. El desarrollo de una investigación basada en los ambientes, nos ha permitido captar más fielmente los modos de representar, percibir y habitar los espacios construidos con tierra, así como profundizar en cómo establecer un mayor diálogo entre los datos físicos y sensibles. Todo ello con el objetivo final de evaluar los efectos, tanto físicos como sensibles, que un material natural como la tierra puede tener sobre la calidad de vida de los usuarios y las usuarias.

En la búsqueda de respuestas a nuestro planteamiento, un trabajo simultáneo con datos físicos, principalmente datos acústicos, y datos sensibles es realizado en dos contextos. Un primero sobre el estudio de escuelas primarias existentes, donde diferentes técnicas de construcción con tierra fueron utilizadas en sus construcciones y con perfiles de usuarios diferentes. Mientras que, en el segundo, comparamos un mismo lugar con y sin tierra.

El estudio de los fenómenos acústicos con la tierra evidenció un amplio panel de soluciones posibles para la buena gestión de la calidad acústica de las aulas en función de la técnica empleada, la cantidad y tipo de fibra utilizada y el aspecto en superficie de los paramentos. A su vez, la presencia de la tierra puede amplificar los efectos positivos del ambiente percibido y experimentado de un lugar. Generando, de esta forma, ambientes más agradables y distendidos, debido a su asociación a lo "natural", percepción "cálida", "color relajante", "efecto cocooning" producido o por su "singularidad" que aporta su materialidad asociada a la presencia humana y su vinculación con la naturaleza. Los usuarios llegan incluso a asociar la presencia de la tierra con un estado de relajación física y psicológica. En la correlación entre lo físico y lo sensible, constatamos una correlación entre la presencia de la tierra, los parámetros acústicos reglamentarios y las percepciones de los usuarios. No obstante, la mejora manifestada por los participantes parece ser mayor que la medida físicamente.

La investigación desde el enfoque de los ambientes se perfila como planteamiento científico pertinente para comprender mejor tanto datos objetivos como subjetivos. Consideramos que el estudio complementario de estos dos ámbitos es un enfoque relevante para profundizar en como las construcciones en tierra son representadas y aproximarse hacia una interpretación de los espacios más completa y acorde con la realidad habitada.

Palabras clave: construcción con tierra, arquitectura, ambientes, ambiente sonoro, acústica, sensible.

Raw earth provides important environmental benefits, such as low embodied energy, lower greenhouse gas emissions, and infinite reversibility. Today, these already well-known benefits are boosting interest in raw-earth construction to help overcome one of our societies' most pressing challenges: the «climate emergency». Yet, earth can further contribute to building interior comfort in many ways. The study of these other advantages is where this thesis finds its field of research.

To do this, we inquire about atmospheres, in the field of sound atmospheres in particular, which tends to receive little attention in scientific research on raw earth. Through the lens of ambiences, this study allows us to more faithfully capture the complexity of the represented, perceived, and lived modes of raw earth spaces. It also contributes to deepening the yet-to-be-strengthened dialogue among physical data and sensitive data. This is done with the ultimate goal of evaluating the physical and sensitive effects that a natural material like raw earth can bring to users' quality of life.

To find answers to our questions, we study physical data, mainly acoustic data, and sensitive data in two contexts at the same time. Being the first of them based on a case study on existing schools with various user profiles and a set of raw earth implementations. The second compares the same environment with and without raw earth.

Acoustic phenomena research reveals a wide range of potential solutions, depending on the implementation used, the quantity and nature of the fibre, and the surface condition. Along with the gathering of perceptions, the presence of earth can amplify positive effects on how users perceive and experience ambiences. As such, the presence of an earthen wall raises comfort given «natural,» «warmth,» «relaxing colour,» and «cocooning" perceptions as well as due to the «singularity» effect given by human materiality. These sensorial attributions plus prominent seem to reinforce the creation of more pleasant and soothing atmospheres by raw-earth spaces. The usage of raw earth is sometimes linked to a state of physical and psychological relaxation. In the study of confrontations, we find a correlation among the presence of raw earth, regulatory acoustic performance, and user feedback. Nevertheless, the improvement in participants' feelings seems to be more pronounced than the quantified physical improvement.

Ambience research is emerging as a relevant scientific approach to better understand objective and subjective data. We believe that a complementary study of these two worlds is an instrumental for deepening representations of raw-earth constructions and a more thorough understanding of spaces in accordance with the inhabited reality.

Keywords : Raw earth, architecture, atmospheres, sound ambiances, acoustics, sensory.

Sommaire

REMERCIEMENTS 3

RÉSUMÉ 7

RESUMEN 8

ABSTRACT 9

SOMMAIRE 11

CHAPITRE 1. INTRODUCTION 17

1.1 CONTEXTE GÉNÉRAL 17
1.1.1 IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU SECTEUR DE LA CONSTRUCTION 18
1.1.2 LA RESSOURCE TERRE CRUE 19
1.1.3 LA TERRE CRUE, MATÉRIAU À FAIBLE ÉNERGIE GRISE 20
1.1.4 LA TERRE CRUE, UNE VALEUR SOCIO-CULTURELLE ET SOCIO-ÉCONOMIQUE 22
1.1.5 FREINS ET ATOUTS DE LA TERRE CRUE 24
1.2 OBJET DE LA THÈSE 27
1.2.1 PROBLÉMATIQUE ET QUESTIONNEMENTS 27
1.2.2 PLAN DE LA THÈSE 29

CHAPITRE 2. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE 31

2.1 UNE APPROCHE DEPUIS L'OPTIQUE DES AMBIANCES 31
2.1.1 LA TERRE CRUE ET LES AMBIANCES 36
2.1.2 LA TERRE CRUE SOUS LE PRISME DES AMBIANCES 38
2.2 ÉTAT DE L'ART - PROPRIÉTÉS ACOUSTIQUES DE LA TERRE CRUE 38
2.2.1 VALEURS D'ISOLATION ACOUSTIQUE DE LA TERRE CRUE 44
2.2.2 VALEURS D'ACOUSTIQUE INTERNE 48
2.2.3 RÉSUMÉ ET PERSPECTIVES DE L'ÉTUDE 51

CHAPITRE 3. MÉTHODOLOGIE 53

3.1 PRÉSENTATION DES CAS D'ÉTUDES 54
3.1.1 LES ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES – L'IMPORTANCE D'UNE BONNE AMBIANCE SONORE 54

3.1.1.1 Les établissements scolaires étudiés 55
3.1.2 L'IMPACT DU CHANGEMENT DE MATÉRIALITÉ SUR L'AMBIANCE PERÇUE 62
3.1.2.1 Salles d'expérimentation 63

3.2 APPROCHE PHYSIQUE (DONNÉES OBJECTIVES) 67
3.2.1 L'ACOUSTIQUE ARCHITECTURALE – FONDEMENTS THÉORIQUES 67
3.2.1.1 Isolation acoustique 68
3.2.1.2 Acoustique interne 76
3.2.1.3 L'intelligibilité à la parole 83
3.2.2 LES TECHNIQUES ET LES MÉTHODES UTILISÉES 85
3.2.2.1 Isolation acoustique entre deux pièces - La prise de mesure in situ 85
3.2.2.2 Acoustique interne – La prise de mesure in situ 88
3.2.2.3 Acoustique interne – La mesure au laboratoire (tube de Kundt) 94
3.2.2.4 L'intelligibilité à la parole – La prise de mesure in situ 96
3.2.2.5 La simulation acoustique CATT Acoustique 98

3.3 APPROCHE SENSIBLE (DONNÉES SUBJECTIVES) 102
3.3.1 FONDEMENTS THÉORIQUES DES TECHNIQUES DE RECUEIL D'INFORMATION 104
3.3.1.1 Approche quantitative et ses techniques 104
3.3.1.2 Approche qualitative et ses techniques 108
3.3.1.3 Interactions avec l'espace construit 110
3.3.1.4 Interphase d'utilisateur tangible – Le paysage sonore de la classe 112
3.3.2 LES TECHNIQUES ET LES MÉTHODES UTILISÉES 113
3.3.2.1 Protocol d'enquête dans les établissements scolaires - Adultes 113
3.3.2.2 Protocole d'enquête dans les établissements scolaires - Enfants 118
3.3.2.3 Les salles d'expérimentation 129

CHAPITRE 4. CAS D'ÉTUDES : LES ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES 135

4.1 INTRODUCTION 135

4.2 ANALYSE DE RÉSULTATS 136
4.2.1 APPROCHE PHYSIQUE 136
4.2.1.1 Niveaux de bruit de fond 137
4.2.1.2 Isolation entre pièces 140
4.2.1.3 Le temps de réverbération (Tr) 143
4.2.1.4 Speech transmission Index (STI) - Intelligibilité 154
4.2.1.5 Coefficient d'absorption in situ 159
4.2.1.6 Coefficient d'absorption dans le tube de Kundt (laboratoire) 166
4.2.1.7 Les simulations acoustiques 177
4.2.2 APPROCHE SENSIBLE 185
4.2.2.1 Les usagers – Les retours sur le ressenti et la présence de la terre crue 185

4.3 SYNTHÈSE DU CHAPITRE 234

CHAPITRE 5. CAS D'ÉTUDE : UNE MÊME SALLE AVEC ET SANS TERRE CRUE 237

5.1 INTRODUCTION 237

5.2 LES PROFILS DES PARTICIPANTS 238

5.3 ANALYSE DES RÉSULTATS 239

5.3.1 APPROCHE PHYSIQUE 239

5.3.1.1 La mesure physique – Valeurs acoustiques 239

5.3.1.2 Les conditions thermiques des salles d'expérimentation 242

5.3.2 APPROCHE SENSIBLE 245

5.3.2.1 Données quantitatives (questionnaire) 245

5.3.2.2 Données qualitatives (entretien) 247

5.3.2.3 Données sur l'interactions avec l'espace (carte des mouvements) 264

5.3.2.4 La complémentarité et l'explication entre les données quantitatives et qualitatives 266

5.3.3 CORRÉLATION ENTRE L'APPROCHE PHYSIQUE ET SENSIBLE 267

5.3.3.1 La thermique et les données sensibles 267

5.3.3.2 L'acoustique et les données sensibles 270

5.4 SYNTHÈSE DU CHAPITRE 272

5.4.1 DIFFICULTÉ D'EXPRIMER LE RESSENTI 272

5.4.2 LA TERRE CRUE COMME CHANGEMENT D'AMBIANCE ET RENFORCEMENT D'UNE ARCHITECTURE MULTI SENSORIELLE 272

5.4.3 LA PLACE DU FAIRE ET L'IMPORTANCE DU RÉCIT 274

5.4.4 L'AMBIANCE SONORE ET L'INFLUENCE D'AUTRES SENS 275

CHAPITRE 6. CONCLUSIONS 277

6.1 DISCUSSION DES RÉSULTATS 277

6.1.1 APPROCHE PHYSIQUE - PHÉNOMÈNES ACOUSTIQUE ET TERRE CRUE 277

6.1.2 APPROCHE SENSIBLE – APPRÉHENDÉE LA TERRE CRUE 279

6.1.3 LA MISE EN DIALOGUE DE LA PHYSIQUE ET DU SENSIBLE 286

6.2 CONCLUSIONS GÉNÉRALES 288

6.3 PERSPECTIVES DE L'ÉTUDE 289

6.3.1 PERSPECTIVES DE L'ÉTUDE SUR L'ACOUSTIQUE ARCHITECTURALE 289

6.3.2 PERSPECTIVES DE L'ÉTUDE SENSIBLE 290

6.3.3 LES PERSPECTIVES DU DIALOGUE ENTRE LES MESURES PHYSIQUES ET LES EXPÉRIENCES SENSIBLES 292

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 293

ANNEXE 1. ÉQUIPEMENTS ET PROGRAMMES UTILISÉS 313

1.1 ÉQUIPEMENT POUR LA MESURES IN SITU 313

1.2 PROGRAMMES POUR LA MESURE IN SITU 316

1.3 MATÉRIEL DE LABORATOIRE – TUBE DE KUNDT 317

1.4 PROGRAMMES POUR LA SIMULATION 317
1.5 ÉQUIPEMENTS DE CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT DE MESURE 318

ANNEXE 2. APPLICATION DE SPÉCIALISATION SONORE EN RÉALITÉ AUGMENTÉE 319
2.1 GLOSSAIRE 320
2.2 INSTALLATION 321
2.3 DÉVELOPPEMENT 326
2.4 UTILISATION 341

ANNEXE 3. MESURES IN SITU 349
3.1 NIVEAUX DE BRUIT FOND PAR BANDE D'OCTAVE 349
3.2 ISOLATION ENTRE PIÈCES 352
3.3 TEMPS DE RÉVERBÉRATION 362
3.4 MESURES D'EDT 366
3.5 SPEECH TRANSMISSION INDEX (STI) – INTELLIGIBILITÉ 370
3.6 COEFFICIENT D'ABSORPTION IN SITU 382

ANNEXE 4. DONNÉES DU TUBE DE KUNDT 393
4.1 GRANULOMÉTRIE DES TERRES DES ÉPROUVETTES DU TUBE DE KUNDT 393
4.2 DIFFRACTION ET FLUORESCENCE DES RAYONS X DES TERRES DES ÉPROUVETTES DU TUBE DE KUNDT 396
4.3 DENSITÉS ÉPROUVETTES 397
4.4 MESURES DU TUBE DE KUNDT 398
4.5 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS – EXEMPLE 422

ANNEXE 5. DONNÉES UTILISÉES SUR CATT- ACOUSTIC 425
5.1 COEFFICIENTS D'ABSORPTION DES SURFACES DE LA CLASSE 7 DE L'ÉCOLE DE BOUVRON 425
5.2 COEFFICIENTS D'ABSORPTION DES SURFACES DE LA CLASSE 2 DE L'ÉCOLE DE BAULON 426

ANNEXE 6. ENQUÊTE DANS LES ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES 429
6.1 DOCUMENTS EXPLICATIFS – QUESTIONNAIRES PARENTS 429
6.2 QUESTIONNAIRE À DESTINATION DES TRAVAILLEURS DES ÉCOLES – GÉNÉRAL 431
6.3 QUESTIONNAIRE À DESTINATION DES TRAVAILLEURS DES ÉCOLES – AMBIANCE SONORE 432
6.4 DÉFINITION DU LEXIQUE EMPLOYÉ 434
6.5 QUESTIONNAIRE À DESTINATION DES ACTEURS DU PROJET 436
6.6 ENQUÊTE ENFANTS 442

ANNEXE 7. RÉSULTATS DES QUESTIONNAIRES – ENQUÊTE ADULTE DANS LES ÉCOLES 443

7.1 LES PARENTS 443

7.2 LES TRAVAILLEURS DE L'ÉCOLE 453

ANNEXE 8. INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES DES ENQUÊTES AVEC LES ENFANTS 477

8.1 ENSEMBLE D'ATELIERS POUR LA RÉALISATION DE LA MAQUETTE DES CLASSES 477

8.2 UNE JOURNÉE SONORE – ÉLÈVES DE CM1 ET CM2 479

8.3 LE VOLUME ET LA GÊNE 483

8.4 INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES SUR L'ENREGISTREMENT DES SONS 491

ANNEXE 9. INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES DES EXPÉRIENCES DE GRENOBLE ET DE BARCELONE 497

9.1 INFORMATIONS SUR LES PARTICIPANTS 497

9.2 DÉTAILS SUR LES MESURES DU TEMPS DE RÉVERBÉRATION 499

ANNEXE 10. OUTILS COMPLÉMENTAIRES 501

10.1 UNE JOURNÉE SONORE DANS L'ÉCOLE 501

INDICE FIGURES 503

INDICE TABLEAUX 515

ACRONYMES 521

Chapitre 1. Introduction

1.1 Contexte général

L'atmosphère terrestre contient naturellement des gaz à effet de serre[1] mais les activités humaines - la combustion fossile, la déforestation des forêts (spécialement les forêts primaires) et l'élevage du bétail - augmentent les concentrations, en particulier du dioxyde de carbone (CO_2), du méthane, du protoxyde d'azote et des gaz fluorés (GIEC, 2014). De tous, le CO_2 - principalement associé à la consommation de combustibles fossiles - est responsable de plus du 60% du réchauffement de la planète causé par l'homme (GIEC, 2014). Donc pour limiter le réchauffement climatique la limitation des émissions anthropiques globales totales cumulées est nécessaire et spécialement du CO_2 (Figure 1) (IPCC, 2018). Si les émissions ne sont pas réduites, d'ici à la fin du siècle, les températures pourraient augmenter de 5°C, voire plus, par rapport à l'ère préindustrielle (The World Bank, 2010).

Même s'il paraît compliqué de prévoir de source sûre les changements climatiques futurs (Crump, 2011), il existe de nombreux indices montrant la réalité du réchauffement de la planète : la fonte des glaciers, la hausse des niveaux d'eau des océans, l'amplification des phénomènes météorologiques extrêmes et même des conséquences déjà palpables et mesurables sur la santé humaine (Commission des Communautés Européennes, 2009; The World Bank, 2010; GIEC, 2014; IPCC, 2018; UN Environment et al., 2019). Ceci permet de parler du changement climatique (Crump, 2011) ou plutôt de l'urgence climatique (Perret, 2017) comme d'une réalité. Cette évidence est soutenue par un large éventail d'études et de groupes scientifiques – comme l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) – qui a permis d'atteindre un large consensus sur les changements climatiques futurs probables (Crump, 2011).

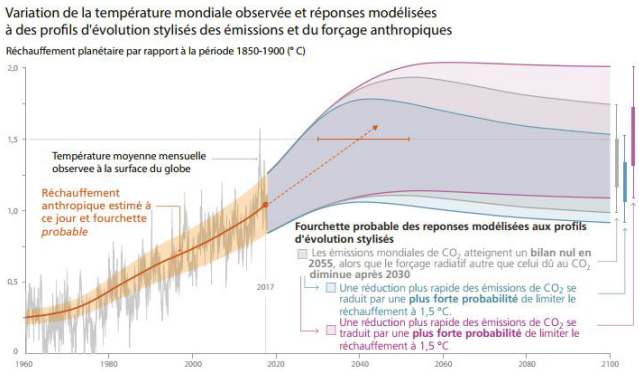


Figure 1 Changement observé de la température mondiale et réponses modélisées aux émissions anthropiques (IPCC, 2018).

[1] « ils permettent à l'énergie solaire d'entrer dans l'atmosphère mais l'empêchent de s'en échapper » (Commission européenne).

Au niveau plus institutionnel, c'est à partir de 1972, suite à la conférence des Nations Unies sur l'environnement à Stockholm, qu'un premier accord est établi entre les dirigeants mondiaux pour suivre l'état de l'environnement et analyser son impact sur le développement (Nations Unies, 1972). Cependant ce ne sera qu'en 1979, dans la première conférence mondiale sur le climat à Genève, que pour la première fois, le changement climatique est considéré comme une menace réelle pour la planète (de Vengoechea, 2012). Depuis, plusieurs sommets se sont suivis et plusieurs accords ont été obtenus comme dernièrement celui de Paris - dans lequel presque tous les gouvernements se sont engagés à ce que l'augmentation de la température ne dépasse pas les 2°C, à faire des efforts pour limiter le réchauffement de la planète à 1,5 °C et à fournir des fonds pour y parvenir (Organisation des Nations Unies, 2015) - ou plus récemment la COP 25 en 2019 à Madrid.

L'urgence climatique est une menace réelle pour l'ensemble des sociétés tant en termes biophysiques qu'en termes sociaux au sens large du terme (économie, politique, etc.) (GIEC, 2014; Pardo-Buendía, 2019). En outre, ses conséquences sont différentes selon les pays, les classes sociales, le sexe, l'âge, etc. mais souvent les sociétés les plus appauvries (indépendamment du pays) sont les plus touchées par le changement climatique (GIEC, 2014; Pardo-Buendía, 2019). En résumé, ses conséquences sont aujourd'hui un vrai défi - d'une ampleur sans précédent - pour les sociétés. Possiblement, c'est une des questions les plus déterminantes et complexes de notre époque (The World Bank, 2010; IPCC, 2018).

1.1.1 Impact environnemental du secteur de la construction

Parmi les activités humaines le secteur de la construction est un important consommateur d'énergie, il épuise environ 40% de l'approvisionnement énergétique (énergie grise et énergie en vie de service) mondial annuel (Ding, 2004; Floissac et al., 2009; Dixit et al., 2010; Keefe, 2012; Mandley et al., 2015; Dixit et Singh, 2018). Au niveau européen la consommation d'énergie primaire est aussi située aux alentours de 40% (European Commission, 2011). Dans le cas des États-Unis, par exemple plus de 80% de cette énergie provient des sources de combustion fossiles et contribue de manière significative aux émissions carbone dans l'atmosphère (Energy Information Administration, 2005; Dixit et al., 2016).

Le secteur de la construction est aussi un important consommateur de ressources - il consomme 40% de la production mondiale de granulats naturels, un quart des forêts vierges et 16% de l'eau consommée annuellement (Ding, 2004; Dixit et al., 2010). En Europe il a été estimé que le secteur est responsable de 50% de toutes les matières extraites (European Commission, 2011), de même qu'un grand générateur de déchets (Solís-Guzmán et al., 2009; Llatas, 2011; Cabello Eras et al., 2013; Dahlbo et al., 2015; Vieira et Pereira, 2015; Ajayi et Oyedele, 2017). Il est estimé que les déchets de construction produits sur un chantier représentent jusqu'à 30% du poids total des matériaux de construction livrés sur ce chantier (Osmani, 2011). Au niveau mondial, le secteur de la construction est responsable d'environ 35% des déchets industriels (Hendriks et Pietersen, 2000; Solís-Guzmán et al., 2009). Cependant, à l'échelle européenne, le secteur de la construction est responsable d'environ 50% de la production de déchets (Llatas, 2011; Vieira et Pereira, 2015). En France (2018), sur les 343 millions de tonnes de déchets produites par les activités économiques, 240 millions de tonnes sont produites par le secteur de la construction, soit 70% (Scribe, 2021).

Dans un tel scénario et avec une croissance démographique en hausse – selon les estimations des Nations Unies la population mondiale devrait passer de 7,7 milliards aujourd'hui à 9,7 milliards en 2050 (Naciones Unidas, 2020) – il y a un plus grand besoin d'accès à un logement convenable[2] (ONU-Habitat, 2010). Dans les années à venir les déplacements migratoires à cause des effets du changement climatique (OIM, 2010) – selon les Nations Unies en 2018, 17,2 millions de personnes ont dû quitter leurs logements en raison de catastrophes naturelles (ONU, 2019) - vont devenir l'une des causes majeures de l'augmentation du besoin en logements convenables. Le secteur du bâtiment pourrait donc jouer un rôle majeur face aux enjeux environnementaux actuels, si son empreinte carbone sur le cycle de vie était éliminée, ou considérablement réduite (Dixit, 2019).

1.1.2 La ressource terre crue

À une échelle mondiale, c'est en 1987, avec la publication du rapport intitulé « Notre avenir à tous » (Commission mondiale sur l'environnement et le développement, 1987), que le panorama des déchets et leur impact sur l'environnement a été abordé, en proposant également des stratégies pour affronter cette problématique (Nations Unies, 1987). Pendant la construction, les déchets sont générés principalement par les travaux de terrassement, la construction et la démolition des routes (Cabello Eras et al., 2013). Parmi les déchets du BTP (Bâtiment et Travaux Publics), environ 75% sont constitués de terres minérales (Rouvreau et al., 2010; Cabello Eras et al., 2013), dont une grande partie peut constituer la matière première des construction en terre crue. Les terres minérales sont constituées de différentes catégories de grains (du plus grand au plus petit il y a : les cailloux, les graviers, les sables, les limons et les argiles), d'eau et d'air (Houben et Guillaud, 2006; Fontaine et Anger, 2009). La proportion de chaque catégorie de grain et la nature de la matière terre crue est unique et différente à chaque fois, en apportant une grande diversité d'aspects, de couleurs, de textures et de possibilités architecturales (Fontaine et Anger , 2009).

L'utilisation des terres minérales pour des constructions en terre crue permet d'un côté de réduire la consommation due au transport (Dipotet Mollinedo, 2010; Cabello Eras et al., 2013) en limitant, par exemple, les transports de la matière. D'un autre côté, la terre peut être utilisée pour entretenir le patrimoine existant en terre crue mais aussi pour de nouvelles constructions. Au niveau de la région de Bretagne en France, il a été quantifié qu'au moins 23% des terres provenant des travaux de terrassement pourraient être convenables pour la construction en terre crue de la région. Ces matériaux auraient permis la construction de 52 % des logements individuels de Bretagne pour l'année 2016 (Hamard et al., 2018). Donc l'utilisation de la terre crue peut être une bonne alternative pour la mise en valeur d'une ressource aujourd'hui considérée, dans la majorité des cas, comme un déchet.

Dans le secteur de la construction, une bonne partie des matériaux conventionnels utilisés dans la construction, comme par exemple le béton ou l'acier, sont d'importants consommateurs d'énergie grise[3] (Wang et Shen, 2013) majoritairement produite à partir d'énergie fossiles et minérales non

[2] Le droit à un logement convenable est reconnu à niveau international dans la Déclaration universelle des droits de l'homme mais comme signalé par Comité des droits économiques, sociaux et culturels de l'ONU, « Un logement convenable doit offrir davantage que quatre murs et un toit » (ONU-Habitat, 2010). Pour plus d'information regarder (ONU-Habitat, 2010).

[3] L'énergie grise fait référence à l'énergie consommée au cours des phases de fabrication, d'utilisation et de démolition, et de traitement de déchets des matériaux (Dixit et al., 2010).

renouvelables (Cabeza et al., 2013; Melià et al., 2014). Face à la raréfaction des ressources naturelles, le secteur de la construction est de plus en plus incité à réduire sa demande (Ding, 2004; Dixit et al., 2010; Brouard, 2018) et encouragé à l'emploi de matériaux de construction plus soutenables (Melià et al., 2014; Vieira et Pereira, 2015). Cependant, même avec sa grande disponibilité, la terre crue n'est pas une ressource renouvelable à une échelle humaine. Sa formation est le résultat d'un processus de dégradation de la roche mère et des mécanismes complexes de migration de particules des millions d'années (Houben et Guillaud, 2006; Fontaine et Anger, 2009; Anger, 2011; Hamard, 2017). La ressource en terre doit donc être convenablement gérée, depuis l'étape de la conception comme pendant toute la vie utile du bâtiment, jusqu'à la bonne gestion après sa démolition. En revanche, elle peut être considérée comme une ressource réversible – à condition de ne pas avoir modifié sa composition initiale avec des stabilisants irréversibles[4] – elle pourra être réutilisée autant de fois que souhaité ou rejetée dans la nature sans traitement précis (Houben et Guillaud, 2006; Fontaine et Anger, 2009; Röhlen et Ziegert, 2013; Hamard, 2017).

Dans le contexte actuel, la ressource terre crue devient possiblement une option à prendre en compte car ses caractéristiques locales, naturelles, réversibles entre autres font qu'elle peut être considérée comme un matériau soutenable.

1.1.3 La terre crue, matériau à faible énergie grise

À l'heure actuelle, l'énergie totale du cycle de vie d'un bâtiment comprend à la fois l'énergie grise et l'énergie en vie de service (Dixit et al., 2010) (Figure 2). Cependant, jusqu'aux années 2000 seule l'énergie en vie de service était prise en compte en raison de sa plus grande participation à l'énergie totale (Dixit et al., 2010; Hamard, 2017). Depuis, la performance des équipements du bâtiment et la mise en œuvre des matériaux plus isolants ont rendu possible la réduction de l'énergie en vie de service mais, dans le même temps, la quantité d'énergie grise des matériaux utilisés a augmenté (Thormark, 2002; Dixit et al., 2010; Hamard, 2017; Dixit et Singh, 2018). De ce fait, un consensus semble s'imposer sur le fait que l'énergie grise augmentera à mesure que les bâtiments «verts» deviendront plus nombreux (Dixit et al., 2010; Dixit et Singh, 2018). Aujourd'hui l'étude et la réduction de l'énergie grise dans le secteur de la construction deviennent donc aussi nécessaires afin d'avancer vers les bâtiments à impact environnemental nul ou négligeable et à basse empreinte carbone (Paleari et al., 2013; Monteiro et al., 2016).

Dans la phase d'utilisation du bâtiment, la consommation d'énergie est le facteur dominant de l'impact environnemental (Melià et al., 2014). Cette consommation, comme exposée dans la Figure 2, aura un lien direct avec les systèmes de chauffage, de ventilation, de climatisation, d'éclairage, etc. (énergie en vie de service) (Dixit et al., 2010, 2012; Champiré, 2017). Cependant, il est important d'envisager les activités d'entretien mais aussi les possibles rénovations et adaptations des constructions aux besoins actuels (Dixit et al., 2016). Ces activités consomment un certain nombre de ressources et produits mais aussi d'énergie (Cole et Kernan, 1996; Ding, 2007). L'utilisation de matériaux à faible énergie grise comme la terre crue pour des travaux de rénovation et l'adaptation des constructions existantes est donc également un bon défi pour limiter

[4] Comme les liants hydrauliques tels que : la chaux ou le ciment.

la consommation d'énergie du secteur du bâtiment. Les réductions de l'énergie grise, du moment que les matériaux conventionnels sont remplacés par des matériaux locaux, peuvent aller jusqu'à un tiers, 50% ou 62% (Morel et al., 2001; Venkatarama Reddy et Jagadish, 2003; Floissac et al., 2009; Serrano et al., 2016).

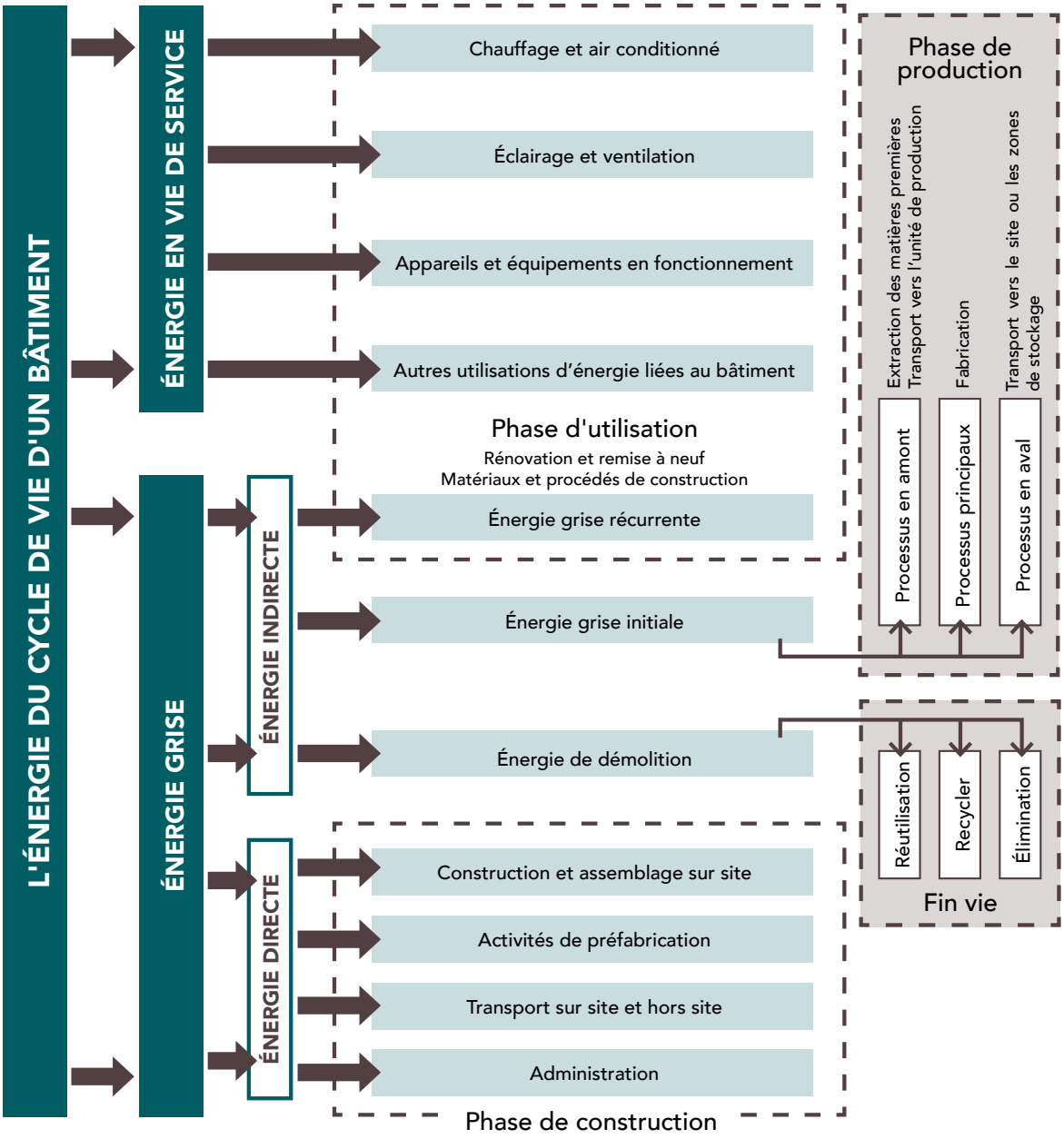


Figure 2 Schéma de l'énergie du cycle de vie d'un bâtiment (Dixit et al., 2012).

Dans le monde, environ 10% de la population habite dans des bâtis en terre crue et dans les pays du Sud global[5] ce nombre peut atteindre entre 20 et 25% (Marsh et Kulshreshtha, 2021). Cependant, dans les années 80 des études sur l'habitat en terre dans le monde avaient estimé à 1/3 la population mondiale vivant dans des maisons en terre crue (Houben et Guillaud, 2006) et

[5] Cairo Carou, Heriberto et Breno Bringel. 2010. "Articulaciones del Sur Global: afinidad cultural, internacionalismo solidario e Iberoamérica en la globalización contrahegemónica." Geopolítica (s). Revista de Estudios Sobre Espacio y Poder Vol.1 ; 41–63. https://doi.org/10.5209/GEOP.14272.

dans les pays appelés en voie de développement ce nombre pouvait atteindre plus de la moitié (Houben et Guillaud, 2006; Minke, 2006). Malheureusement, en quelques décennies la disparition d'une partie du patrimoine en terre crue s'est produite. De ce fait, l'importance du correct entretien et de l'adaptation de ce type d'habitat aux besoins actuels prendra encore plus de sens dans l'ère actuelle. Le bon entretien de ce type de construction permettra également l'économie d'énergie nécessaire pour de nouvelles constructions (Watson et McCabe, 2011), à condition qu'ils soient entretenus et adaptés dans les règles de l'art et avec des matériaux à faible impact environnemental.

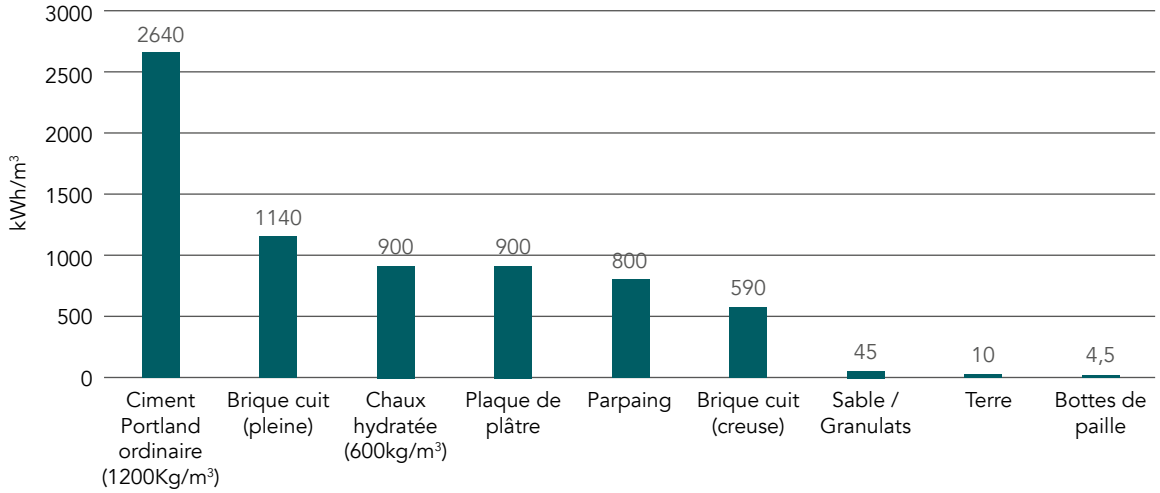


Figure 3 Énergie grise consommée de quelques matériaux de construction (Keefe, 2012, pp. 4–5).

La terre crue, c'est un matériau prélevé directement du sol de la future construction ou provenant du réemploi de terres excavée à quelques kilomètres du chantier. Le processus de mise en œuvre de la terre crue requiert une main d'œuvre importante, en revanche elle a besoin de très peu d'énergie car son industrialisation et sa mécanisation sont limitées (utilisation du matériau à l'état brut). Afin d'avoir un ordre de grandeur comparatif, la Figure 3 montre une comparaison entre l'énergie nécessaire pour produire 1m^3 de différents matériaux de construction (Keefe, 2012). En se référant à la Figure 3, la construction en terre crue utilise au moins 80 fois moins d'énergie grise que ce qui est nécessaire pour les parpaings. La terre crue peut donc effectivement être considérée comme un matériau à faible énergie grise et par conséquent une solution à prendre en compte dans le défi actuel de réduction de l'énergie grise dans le secteur de la construction.

1.1.4 La terre crue, une valeur socio-culturelle et socio-économique

Les cultures constructives constituent une partie importante de l'expression culturelle et identitaire d'un territoire (García-Soriano et al., 2016). Les matériaux utilisés et les savoir-faire développés sont une réponse logique et évolutive d'adaptation à un mode de vie, à un besoin local et à un environnement (García-Soriano et al., 2016). Dans le cas concret des cultures constructives en terre crue, leur diversité constructive, leur étendue géographique, leur adaptation au milieu naturel, social et culturel laissent entrevoir une grande richesse culturelle et patrimoniale (Guillaud, 1998; Correia et al., 2014; García-Soriano et al., 2016; Hamard, 2017) au moins depuis le Néolithique (Houben et Guillaud, 2006; Minke, 2006; Berge, 2009; Sauvage, 2009; Sénépart et al., 2015). Cette valeur socio-culturelle et socio-économique mais aussi historique peut s'apprécier sur les œuvres architecturales classées sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO, où 20 % sont partiellement

ou entièrement construits en terre (Houben et Guillaud, 2006; Grossein, 2009; Fontaine et Anger, 2009). Le patrimoine en terre existant encore aujourd'hui est un bon témoin de l'évolution et de l'adaptation de l'architecture en terre crue qui présente un large panel de mise en œuvre possible - parmi les plus courants il y aura : les mortiers en terre crue et les enduits mais aussi les techniques de l'adobe, du pisé, du torchis et de la bauge (Houben et Guillaud, 2006) (Figure 4) - et des typologies constructives - de modestes habitations à de monumentales forteresses ou d'immenses châteaux jusqu'à des villes entières (François, 2006). Donc construire en terre c'est aussi s'inscrire dans une dynamique de continuité et respecter les cultures constructives traditionnelles et locales.

Figure 4 Techniques en terre crue (Fontaine et Anger, 2009).

La construction en terre crue est encore confrontée à de sérieux défis, dont beaucoup résultent de son utilisation encore très limitée dans la construction moderne (Calkins, 2009) et de la perte du savoir-faire, spécialement dans les pays du Nord global. Dans une bonne partie de ces pays l'arrivée des matériaux industriels au début du XXe siècle a entrainé l'abandon d'une bonne partie des matériaux traditionnels et parmi eux de la terre crue (Avrami et al, 2008). Cette synergie est toujours d'actualité dans certains pays du Sud global (Jerome et al, 2016). En revanche, dans une bonne partie des pays, spécialement des pays du Nord global, les constructions en terre crue ont retrouvé un **regain d'intérêt** dans les dernières décennies (spécialement comme matériau à faible empreinte carbone). Celui-ci peut être observé par exemple dans la croissance des projets et des recherches autour de la terre crue (Morel et Charef, 2019). Mais c'est encore une réalité que le secteur de la construction est adapté aux matériaux industrialisés et normalisés, spécialement dans les pays du Nord global. Ce fait peut être constaté par l'offre encore anecdotique de formation sur la terre crue ou le peu de connaissances des professionnels du bâtiment (ingénieurs, architectes, etc.) sur le matériau (Hamard, 2017; Van Damme et Houben, 2017). Il y a également une réglementation encore limitée aujourd'hui, notamment concernant les briques de terres compressées stabilisées (BTC) au ciment, qui entraine d'importantes difficultés techniques et juridiques pour la réalisation des constructions en terre crue, en favorisant sa marginalité et/ou son utilisation ponctuelle (Cid, et al., 2011; Moevus et al., 2012; Hamard, 2017; Van Damme et Houben, 2017).

La construction en terre demande une main d'œuvre importante (Morel et al., 2001; Hamard, 2017; Van Damme et Houben, 2017). Selon les pays et d'un point de vue économique, la main d'œuvre peut rendre plus chère ou plus économique les constructions (Hamard, 2017). Dans la majorité des pays du Nord global, la main d'œuvre est chère et les constructions en terre crue peuvent rapidement avoir un coût assez élevé en comparaison des standards des constructions conventionnelles (Hamard, 2017; Van Damme et Houben, 2017). En revanche, dans une bonne partie des pays du Sud global la main d'œuvre n'est pas chère et construire en terre crue peut devenir une option économique et rentable (Hamard, 2017). De plus, il existe encore un savoir-faire latent et de main d'œuvre qualifiée. À la différence des pays du Nord global, le coût plus élevé des constructions est souvent consacré à l'achat des matériaux (Miranda Santos, 2013). À titre d'exemple, il y a 10 ans dans l'Himalaya indien les constructions traditionnelles à base de terre crue étaient la moitié du prix des constructions « modernes » avec l'emploi des matériaux industrialisés (Miranda Santos, 2013) ou au Nigeria les constructions traditionnelles peuvent arriver à être 60% moins chères (Ugochukwu et Chioma, 2015).

Pourtant, et malgré son apparent renouveau, la construction en terre crue est encore représentée par une image archaïque – face au béton et aux « nouveaux » matériaux conventionnels - et synonyme d'un faible revenu économique dans un bon nombre de sociétés tant dans le Sud global comme dans le Nord global (Miranda Santos, 2013; Hamard, 2017). Cependant la terre crue pourrait apporter plusieurs bénéfices au niveau social (Hamard, 2017). Dans les constructions en terre crue le savoir-faire et les expériences des artisans sont reconnus et respectés par d'autres acteurs du secteur, principalement dans les pays du Nord global (Floissac et al., 2009; Hamard, 2017). Cette reconnaissance augmente sa responsabilité et contribue à limiter les risques de la construction. Elle génère aussi une attraction plus importante pour de nouvelles générations et de futurs artisans. Les techniques de construction en terre crue vont dépendre des conditions et des ressources locales donc les solutions développées et nécessaires pour construire vont varier d'une région à une autre. De cette manière les postes de travail créés ne peuvent pas être transférés. Dans les pays du Nord global, le coût des constructions en terre est dû presque dans leur totalité aux salaires et charges sociales, en conséquence la terre crue est moteur pour développer une économie locale et sociale et un impact social positif (Hamard, 2017).

1.1.5 Freins et autous de la terre crue[6]

Au-delà de l'acceptation sociale des constructions en terre, deux inquiétudes semblent s'imposer quand le sujet de la terre crue est abordé : sa **résistance mécanique** et sa **durabilité** (Augarde et al., 2016; Beckett et al., 2020; Medvey et Dobszay, 2020). La filière terre crue affronte une vraie difficulté pour rentrer dans les normes et modes de productivité modernes et adaptés aux matériaux industriels. Les normes existantes ont principalement une approche basée sur l'ingénierie structurelle des matériaux et peu de reconnaissance vers la nature du matériau ou le rôle de l'eau dans des matériaux comme la terre crue (Augarde et al., 2016). Par exemple, une bonne partie

[6] Avec un volet plus socio-technico-politique Léa Rinino a recueilli les freins de la filière terre crue en France à partir d'interviews, de discussions et de rencontres sur un roman graphique intitulé : « TERRE. Freins et tensions de la filière terre crue française » (Rinino, 2021).

des tests développés sur la résistance de la terre crue comme peut être l'essai de rupture (Lenci et al., 2012) sont étroitement liés aux essais sur le béton et pas spécialement adaptés à la terre crue (Augarde et al., 2016). Le comportement mécanique de la terre crue diffère de celui d'autres matériaux de construction conventionnels en bonne partie par le rôle de l'eau, et spécialement sur la matrice fine du matériau (limons et argiles) (Champiré, 2017). La présence d'eau dans la matière terre est à l'origine des différentes forces de liaison, que ces forces soient de caractère physique comme la succion (forces capillaires) mais aussi de caractère chimique comme des forces électrostatiques (Gelard, 2005; Houben et Guillaud, 2006; Quoc-Bao, 2008; Jaquin et al., 2009; Champiré, 2017). Ces forces participeront aussi à la cohésion et en conséquence au comportement mécanique de la matière terre crue. La capacité hygroscopique de la terre lui permet de capter les molécules d'eau contenues dans l'air, qui varieront en fonction de l'humidité relative de l'air (Champiré, 2017). Cette capacité permet de garder la présence d'un minimum d'eau interstitielle à l'intérieur d'un mur en terre « sec » et de maintenir les forces de liaison procurées par la présence de l'eau. Selon le taux d'humidité dans l'air la teneur en eau des constructions en terre change et par conséquent son comportement mécanique également (Quoc-Bao, 2008; Champiré et al., 2016; Champiré, 2017; González Sánchez et al., 2017).

Du côté de la mécanique et la durabilité, il est récurrent de surmonter les difficultés, spécialement règlementaires, en « stabilisant » le matériau, spécialement avec du ciment (Van Damme et Houben, 2017; Medvey et Dobszay, 2020). En revanche, il a été prouvé que l'ajout du ciment n'est pas généralement conseillé car il n'apporte qu'une amélioration mécanique modérée à un coût environnemental assez élevé (Van Damme et Houben, 2017) - sans oublier la perte de réversibilité de la matière terre du moment qu'elle est stabilisée - et selon la région du monde il peut y avoir aussi un surcoût économique important. En ce qui concerne la durabilité des constructions en terre, il a été prouvé que même s'il peut y avoir une apparente augmentation de la durabilité des constructions en terre crue stabilisées avec du ciment ou de la chaux (Bui et al., 2009; Dahmen, 2015; Gallipoli et al., 2017), celle-ci ne fait pas consensus. D'un côté par le large patrimoine avec des siècles d'ancienneté sans stabilisation qui questionne le vrai besoin de la stabilisation (Bui et al., 2009; Van Damme et Houben, 2017) et d'autre par le manque de méthode unifiée pour évaluer la durabilité (Beckett et al., 2020) mais aussi par l'apparente inadaptation des essais de laboratoire pour des terres non stabilisées (trop sévères et irréalistes) (Quoc-Bao, 2008; Bui et al., 2009). De ce fait la recherche sur d'autres pistes de travail comme l'adaptation des pratiques architecturales ou des méthodes de stabilisation plus respectueuses de l'environnement mais aussi de la nature de la matière terre crue, ont une vraie pertinence (Sharma et al., 2016; Van Damme et Houben, 2017; Vissac et al., 2017).

D'autre part, la terre crue est un matériau en constante interaction avec son milieu extérieur, qui va chercher un équilibre constant avec celui-ci, ce qui se traduira par une sensation de confort et de qualité d'air intérieur. Cette sensation est due en grande partie à la capacité régulatrice de la température et de l'humidité à l'intérieur des bâtiments de la terre crue (Minke, 2005; Röhlen U. et Ziegert C., 2013; Chabriac, 2014; Heitz et al., 2015). Ces capacités vont au-delà de la simple résistance thermique[7] en régime permanent prise en compte dans une bonne partie des

[7] $R = \frac{e}{\lambda}$ [m²·K /W] *où e = épaisseur et λ = conductivité thermique.*

règlementations thermiques. Au sein du matériau terre crue des mécanismes couplés de transferts de chaleur, d'eau et vapeur ont également lieu (Chabriac, 2014; Giada et al., 2019). D'une part, l'hygroscopie des murs permet une rapide absorption de la vapeur d'eau ainsi que sa restitution, en générant une régulation de l'humidité relative dans l'intérieur des bâtiments et en conséquence une contribution au bien-être des usagers (Moevus et al., 2012; Chabriac, 2014). D'autre part, l'inertie importante des murs, épais et denses, permettent à la fois de ralentir et d'atténuer le transfert de chaleur extérieure vers l'intérieur (Fix et Richman, 2009; Moevus et Anger, 2012; Moevus et al., 2012; Chabriac, 2014; Heitz et al., 2015; Giada et al., 2019). La capacité de la terre crue de stocker la chaleur et de la restituer lentement va être déterminée en premier lieu par la capacité thermique massique du matériau (Moevus et Anger, 2012; Moevus et al., 2012; Chabriac, 2014). Mais les changements de phase de l'eau à l'intérieur des murs, produits par l'évaporation et la condensation de l'eau, dégagent aussi de la chaleur (chaleur latente) en apportant une contribution non négligeable à l'inertie thermique des murs (Figure 5) (Moevus et Anger, 2012; Chabriac, 2014; Heitz et al., 2015). En comparaison avec d'autres matériaux conventionnels, la terre crue a une capacité hygrothermique en général supérieure (Collet et al., 2006; Fix et Richman, 2009; Hall et Allinson, 2009; Allinson et Hall, 2010; Heathcote, 2011; Moevus et al., 2012; Chabriac, 2014; Heitz et al., 2015; McGregor et al., 2016; Soudani, 2016; Soudani et al., 2016; Fabbri et Morel, 2016; Labat et al., 2016; Giada et al., 2019).

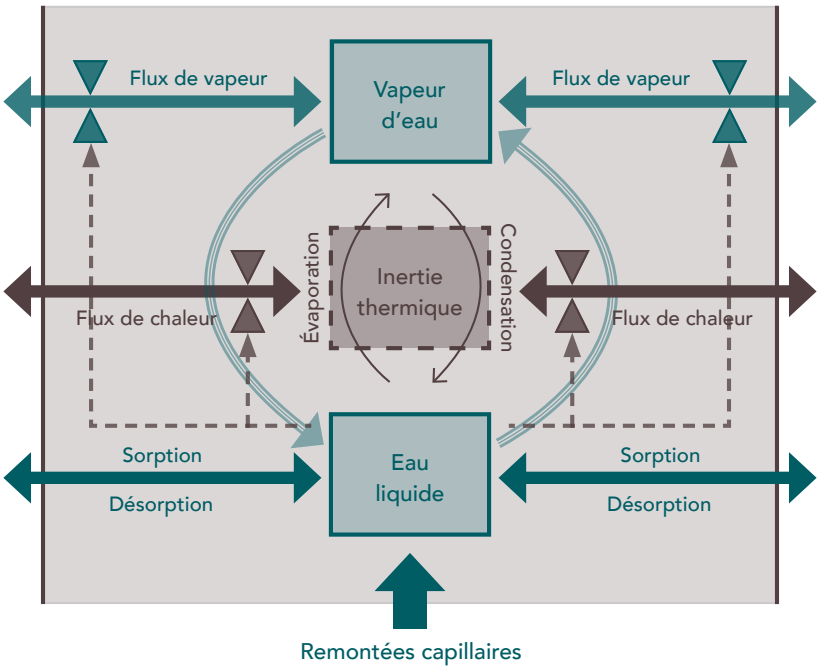


Figure 5 Couplage hygrothermique de la terre crue (Chabriac, 2014).

La recherche des solutions pour des paramètres essentiels comme la stabilité ou la durabilité d'un bâtiment peuvent parfois masquer et même ignorer la capacité hygrothermique de la terre crue. Un exemple est la stabilisation au ciment qui a des effets négatifs aussi sur les propriétés hygroscopiques de la terre crue (Arrigoni et al., 2017). La perte d'hygroscopie aura des conséquences directes sur la capacité régulatrice de l'hygrométrie[8] de la terre crue, en produisant à son tour une réduction de

[8] Le comportement hygrothermique décrit l'interdépendance entre le transfert de chaleur et d'humidité entre un matériau et son environnement (Allinson et Hall, 2010).

la sensation de confort à l'intérieur d'une pièce. Un autre procédé assez étendu, avec une fausse idée de durabilité et de protection, est l'application des enduits étanches sur les mus de terre crue (Bardel et Maillard, 2002; RÉSEAU-Écobâtir et FFB, 2016; Moriset et al., 2018). La coupure réalisée par l'enduit entre la paroi en terre crue et le milieu extérieur génère une accumulation d'eau au sein du mur qui peut engendrer même l'effondrement de celui-ci (Bardel et Maillard, 2002; Moriset et al., 2018) mais aussi l'impossibilité d'échange entre la terre crue et le milieu. Dans le but de faciliter cet échange très avantageux pour la santé et le bien-être, traditionnellement les surfaces en terre ont été laissées à découvert (spécialement à l'intérieur) et donc en contact direct avec l'air ambiant (Allinson et Hall, 2010).

1.2 Objet de la thèse

1.2.1 Problématique et questionnements

Dans le contexte d'urgence climatique actuelle l'emploi de matériaux à faible énergie dans le domaine du bâtiment est de plus en plus nécessaire. D'une part, il existe un intérêt croissant dans le développement de nouvelles techniques et de nouveaux matériaux à haute performance et à basse empreinte écologique (Cabeza et al., 2013). D'autre part, au cours des dernières décennies, les architectures vernaculaires sont citées comme des sources d'inspiration pour une architecture durable en symbiose avec le territoire dans lesquelles s'inscrivent (Foruzanmehr et Vellinga, 2011; Sayigh, 2019).

Dans ce contexte, les atouts environnementaux de la **terre crue** sont aujourd'hui presqu'une évidence (partie 1.1). Son ancrage socio-culturel est un chemin pour renforcer l'identité locale des territoires face à la standardisation de l'habitat. Son adaptation au milieu est une source d'inspiration pour la conception bioclimatique et durable. Par ailleurs, la terre crue est un matériau qui interagit de manière plus forte que d'autres matériaux avec son milieu, conduisant à une sensation de confort chez l'habitant grâce à sa capacité régulatrice de l'humidité et son importante inertie (partie 1.1.5).

Le comportement hygrothermique de la terre est de plus en plus étudié et mis en valeur (partie 1.1.5). Les études sur des systèmes constructifs à base de terre crue sont assez prometteuses pour la création d'espaces thermiquement confortables et efficaces (Giada et al., 2019). L'étude de ces facteurs est toujours d'actualité, d'autant plus que les usagers accordent une importance de plus en plus importante à la qualité de l'environnement intérieur (Frontczak et Wargocki, 2011). Dans le sondage « les Français et leur confort : quand habitat rime avec bien-être », 96 % des Français associent le confort à une bonne isolation thermique et 67 % estiment qu'être bien isolé du froid est synonyme de logement confortable (OpinionWay pour Saint-Gobain, 2018).

Cependant la « qualité de vie »[9] dans les bâtiments ne dépend pas que du comportement thermique. D'autres paramètres physiques tels quel la lumière, la qualité d'air ou l'acoustique sont tout aussi essentiels (Frontczak et Wargocki, 2011; Antoniadou et Papadopoulos, 2017). La

[9] Urzúa arrive à la définition de qualité de vie comme « le niveau perçu de bien-être résultant de l'évaluation de chaque personne d'éléments objectifs et subjectifs dans différentes dimensions de sa vie » (Urzúa et Caqueo-Urízar, 2012).

mauvaise gestion de l'ensemble de ces paramètres peut avoir des impacts nocifs sur la santé et le bien-être des usagers (Antoniadou et Papadopoulos, 2017; Ville et Aménagement Durable, 2017). Pour l'organisme, un apport de lumière naturelle est indispensable (Ville et Aménagement Durable, 2017). La qualité d'air intérieur est d'autant plus importante que les personnes passent entre 60-90% de leur temps dans des espaces clos ou semi clos (Al horr et al., 2016; Antoniadou et Papadopoulos, 2017; Ville et Aménagement Durable, 2017; Lavarde et al., 2019). Par ailleurs, une exposition au bruit prolongé ou élevé induit une dégradation ou une perte d'audition, mais les effets sur la santé sont également extra-auditifs, à la fois subjectifs comme la gêne mais aussi à l'origine d'autres problèmes sur le système cardiovasculaire, les perturbations du sommeil et le stress (CNB, 2018; OMS, 2018; ADEME, 2021). L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a même affirmé récemment que le bruit représente le second facteur environnemental provoquant le plus de dommages sanitaires en Europe, derrière la pollution atmosphérique (WHO, 2018). Plus de 8 Français sur 10 (82%) indiquent se préoccuper des nuisances sonores (IFOP, 2014) et selon l'ADEME le bruit constitue une préoccupation majeure des Français dans leur vie quotidienne (ADEME, 2021). En même temps, dans son rapport de 2021, l'ADEME estime le coût social du bruit en France à 147,1 milliards d'euros annuels (ADEME, 2021). De par les faits ici exposés, la recherche d'un certain niveau de « bien-être » ou de « qualité de vie » à l'intérieur est devenue une préoccupation majeure dans le domaine du bâtiment.

Les exigences réglementaires en terme de qualité acoustique sont encadrées par des arrêtés d'obligation légale, de sorte que tout bâtiment neuf ou rénové, au moment de la livraison, doit être conforme aux valeurs établies (Légifrance, 1999, 2003). Les préconisations sur les caractéristiques acoustiques des bâtiments sont requises selon leur usage – logements, tertiaires, etc.

La variabilité du matériau terre crue mais aussi sa grande diversité de mises en œuvre possibles produisent des caractéristiques physiques variables, et par conséquent, à des performances acoustiques diverses. Sa grande diversité rend la tâche de l'étude et la caractérisation des performances acoustiques plus complexes, d'autant plus qu'à la date d'aujourd'hui les connaissances sur les paramètres acoustiques de la terre crue restent limitées (Daza et al. 2016; Degrave-Lemeurs et al., 2018). À cet égard, un **premier questionnement** s'ouvre dans cette thèse face à l'utilisation de la terre crue, sur sa capacité de créer des espaces acoustiquement confortables et efficaces. Ce qui induit s'interroger sur les propriétés propres au matériau terre crue dans le fait d'atteindre des performances acoustiques conformes aux réglementations, ou au contraire est-ce une mise en œuvre qui offrira une performance suffisante pour répondre aux exigences règlementaires et aux exigences d'usage ?

Si les paramètres physiques tel que la thermique, l'acoustique, la lumière ou la qualité d'air sont une partie fondamentale pour une bonne « qualité de vie » au sein des bâtiments, plusieurs études ont mis en évidence le besoin de prendre en compte un certain nombre de valeurs sociales, psychologiques et environnementales (Theofilou, 2013). De même, l'importance de placer le ressenti de l'usager au centre de l'évaluation du confort commence à prendre de plus en plus de poids dans les recherches récentes (Antoniadou et Papadopoulos, 2017). L'introduction de l'usager et de son ressenti dans l'étude des environnements intérieurs permet d'introduire les expériences sensibles, en même temps que la forme perçue et vécue de l'espace construit par celui-ci. Cette

approche nous amènera à aborder les enjeux de l'utilisation de la terre crue par une entrée autre que strictement environnementale ou physique. Avec l'**objectif final**,

de qualifier et quantifier les ambiances sonores dans des constructions utilisant de la terre crue et d'en évaluer les effets sur la qualité de vie des usagers.

Donc, la démarche mise en place dans cette thèse vise à aller au-delà des facteurs purement objectivables d'un espace, et travailler également sur des facteurs non objectivables comme les expériences sensibles. Avec une approche transversale, nous cherchons à corréler ces deux données et voir si l'une a de l'influence sur l'autre ou pas, mais également étudier, analyser et comprendre un peu mieux les interconnexions qui peuvent exister entre les différentes approches physiques et sensibles. L'étude de ces interconnexions est au cœur de ce travail de thèse. Nos recherches ont consisté à voir s'il y a des contradictions, des convergences entre les données physiques mesurées et les récits de perceptions des utilisateurs, et comment l'on peut dégager une meilleure compréhension des lieux par l'interconnexion de toutes ces informations. Cette démarche interdisciplinaire est récurrente dans les études des **ambiances** (voir le Réseau International Ambiances[10] ou les travaux du laboratoire AAU[11]). L'approche sur les ambiances offre un cadre théorique solide et flexible pour surmonter la différenciation dichotomique des différentes disciplines et mener une étude complémentaire entre les données physiques et les expériences sensibles.

Mon expérience professionnelle et les échanges informels avec des architectes et des artisans laissent apparaitre un ressenti positif des usagers dans les environnements bâtis en terre crue. Ce travail de thèse se présente comme une opportunité de valoriser ces « échanges informels » et poser certaines bases méthodologiques pour approfondir une question essentielle, comme la place de l'usager et de ses perceptions dans des environnements avec de la terre crue. En même temps, cette thèse nous donnera l'opportunité d'approfondir les données et performances acoustiques de la terre crue ainsi que les rapports sensibles par rapport au sonore. La focalisation sur le potentiel sensible de la terre crue et l'ambiance sonore nous permettra également de mener des études plus approfondies, impossibles à envisager avec une approche des ambiances dans son sens large au vu de son ampleur.

1.2.2 Plan de la thèse

Ce travail de thèse est structuré en 6 chapitres. Dans le chapitre introductif, nous exposons le contexte général dans lequel cette recherche s'ancre. Dans la partie qui suit, la problématique et les questionnements de départ sont présentés (Chapitre 1). Dans le chapitre sur la bibliographie un approfondissement de la compréhension des champs des ambiances et de l'état de l'art des propriétés acoustiques de la terre crue est réalisé (Chapitre 2). Dans la première partie du chapitre

[10] Voir : https://www.ambiances.net/.

[11] AAU (Ambiances Architectures Urbanités). Le laboratoire AAU est une Unité Mixte de Recherche du CNRS associant les Écoles Nationales Supérieures d'Architecture de Grenoble et de Nantes, l'Université Grenoble Alpes et l'École Centrale de Nantes a un important historique construit autour de la notion d'ambiance architecturale et urbaine et avec une expérience reconnue sur une méthodologie d'enquêtes in situ et la modélisation et la simulation des phénomènes d'ambiances. Site web : https://aau.archi.fr/.

méthodologie (Chapitre 3), l'ensemble des études de cas sont exposés. Par la suite, les bases théoriques, aussi bien des valeurs physiques mesurées que des méthodes d'enquête employées, sont présentées. Sur les bases théoriques exposées et l'étude des expériences similaires ou inspirantes, la démarche méthodologique utilisée est expliquée.

Les deux chapitres suivants sont dédiés à la présentation des résultats de nos études de cas. Dans le premier nous présentons les résultats obtenus dans les établissements scolaires suite à l'application de la méthodologie développée (Chapitre 4). Ce chapitre se divise en trois parties. Une partie consacrée à la donnée physique suivie des mesures in situ, les mesures en laboratoire et la simulation numérique. Une deuxième partie centrée sur l'enquête et les retours des usagers (parents, enseignants et enfants). Finalement, dans une troisième partie nous résumons les données obtenues en même temps que nous établissons les possibles connexions entre les deux. Dans l'étude d'une même salle avec et sans terre crue (Chapitre 5), nous approfondissons l'étude des ambiances et leur relation avec la matérialité de la terre crue en proposant la comparaison d'un même endroit avec et sans terre crue dans deux salles. Les résultats obtenus dans cette partie viendront compléter ceux obtenus dans le chapitre précédent afin de questionner les interconnexions entre la donnée physique et sensible et le rôle à jouer par la terre crue dans l'appréhension d'un espace et dans l'ambiance sonore.

À partir des postulats initiaux, dans le dernier chapitre nous exposons nos discussions mais également les perspectives qui pourront être développées dans de futures études (Chapitre 6). Nous exposons des réflexions tant dans l'application et la mise en œuvre de la terre crue du point de vue acoustique que dans l'intégration et la prise en compte du sensible dans les constructions en terre crue. Dans cette partie nous discutons également sur la méthodologie développée et sa pertinence.

Chapitre 2. Analyse bibliographique

Comme nous venons de l'expliquer dans l'introduction de cette thèse, nous avons décidé de nous en tenir à l'approche des ambiances pour interconnecter et étudier à la fois les paramètres physiques et sensibles. Dans la première partie de ce chapitre nous proposons donc une introduction aux différentes particularités des ambiances ainsi qu'une revue bibliographique des études, peu nombreuses, traitant de la terre crue et des ambiances.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous réalisons un état de l'art sur les propriétés acoustiques du matériau terre crue dans la construction. Cet état de l'art nous permettra de connaître l'état actuel de la recherche acoustique par rapport aux phénomènes physiques de la terre crue.

2.1 Une approche depuis l'optique des ambiances

Simple à saisir mais pas si simple à définir

La définition de la notion d'ambiance ne semble pas si simple même si elle parait facile à saisir (Tixier, 2007; Drozd, 2011). De façon immédiate, dès que nous rentrons dans un lieu, nous expérimentons une relation avec l'espace avant même d'avoir été en mesure d'en identifier les détails ou de la comprendre du point de vue intellectuel (Flécheux, 2019; Pallasmaa, 2019; Bégout, 2020)[12]. L'architecte Peter Zumthor exprime cette évidence avec les mots suivants : « J'entre dans un bâtiment, je vois un espace, je perçois l'atmosphère[13] et, en une fraction de seconde, j'ai la sensation de ce qui est là » (Zumthor, 2008).

Même s'il n'y a pas vraiment une définition formelle cela ne signifie pas pour autant que les ambiances deviennent superflues ou insignifiantes. En outre, le philosophe Bruce Bégout parle de l'ambiance comme du « dôme invisible sous lequel se déroulent toutes nos expériences » (Bégout, 2020). Par ailleurs, ses multiples définitions l'amènent à une diversité d'approches et d'usages possibles dans toutes sortes de disciplines académiques : philosophie, environnements urbains, architecture, sociologie, etc. (Bille et al. 2015). Comme Jean-Paul Thibaud annonce « La notion d'ambiance est une notion de grande portée heuristique[14] et opératoire » (Thibaud, 2012).

Large champ d'application et pluridisciplinarité

En fin de compte, l'ambiance mène à une sorte de paradoxe, avec une simplicité dans sa perception sensible – tout le monde est capable de ressentir l'ambiance d'un lieu - mais une complexité dans

[12] « C'est elle, cette atmosphère affective aux contours souvent mal définis, que l'on ressent tout d'abord lorsqu'on découvre un nouveau lieu » (Bégout, 2020).

[13] Ambiance et atmosphère ont la même signification dans ce contexte-là.

[14] Partie de la science qui a pour objet les procédures de recherche et de découverte.

son exposé et son argumentaire. Ce dernier point (complexité), ne doit pour autant pas être sous-estimé car il fait également partie de son originalité et mène vers une pluridisciplinarité essentielle dans l'étude des ambiances. Comme Jean-Paul Thibaud signale : « une des originalités de la notion d'ambiance est de favoriser la circulation entre les savoirs et l'articulation entre les disciplines » (Thibaud, 2012).

Cette notion complexe qu'est l'ambiance permet la rencontre entre des éléments objectivables et mesurables - comme les phénomènes physiques - avec des éléments plus subjectifs qui découlent de l'expérience humaine et de l'usage comme la perception sensible ou encore le vécu affectif, culturel et subconscient appartenant à chaque individu (Hégron et Torgue, 2010; Dubois, 2012; Pallasmaa, 2017; Flécheux, 2019). Tous sont des composants de l'ambiance générale d'un lieu car l'ambiance n'est pas de la thermique ou de la lumière, l'ambiance est un ensemble de facteurs d'ordre physique et sensible qui crée une identité personnelle et/ou collective. Effectivement, comme le signale Siret D. et al. et est recueilli par Drozd C. : « Les ambiances peuvent être définies par la perception, à la fois collective et personnelle, que se font les individus des environnements construits » (Siret et al., 2004; Drozd, 2011). Les individus peuvent partager des impressions sur : « une ambiance agréable » ou « désagréable », « bonne » ou « mauvaise » et, comme le signale Drozd, arriver à se comprendre (Drozd, 2011). Cependant, les multitudes de facteurs d'ordre personnel qui peuvent avoir une influence dans la perception d'une ambiance apporteront à la fois des nuances très personnelles et propres à chaque individu.

Les limites et points de vigilance dans l'étude

La complexité mais également la diversité d'approches et d'usages possibles de l'étude font que comme Jean-Thibaud avoue : « C'est en la mettant à l'épreuve de questionnements précis et spécifiques que l'on peut le mieux saisir l'étendue de ses conséquences et de ses implications. » (Thibaud, 2012). Tout en sachant qu'« une maîtrise totale de ces processus ne pourra jamais avoir lieu » (Lescop, 1999). La régulation totale des sensations, sentiments, perceptions, etc. n'est même pas souhaitable ni possible (Lescop, 1999).

Cependant, de par son ouverture et la variété d'approches possibles l'étude de l'ambiance ne doit pas dériver vers la vanité. Elle ne doit non plus se conformer à des démarches trop objectivistes ou purement subjectives (Thibaud, 2012). Dans le cas des ambiances architecturales, la matérialité, qui dans cette thèse sera mise en avant par rapport à la terre crue, est également essentielle comme les dimensions qui tournent autour du sujet sensible que nous sommes ou les phénomènes physiques existants dans tout espace. Au bout du compte, « Loin d'être un simple surplus de luxe ou de confort, elle aide à penser le versant existentiel de l'expérience humaine. C'est dire si elle ancre le monde des sens au cœur même de l'habiter et en constitue une condition de possibilité. » (Thibaud, 2012).

La personne au centre

Dans une société où la mesure et les éléments quantifiables sont encore aujourd'hui dominants, l'approche à partir des ambiances permet de mettre au premier plan le sujet sensible : la personne (Amphoux et al., 1998). En outre, sans individu pour la percevoir, l'ambiance n'existe pas (Audas, 2008). L'essentialité de la présence corporelle humaine dans l'ambiance a été également soulignée

par le philosophe Gernot Böhme, l'un des principaux contributeurs dans le domaine de la phénologie[15] et de l'esthétique des ambiances[16] (Böhme, 1993; Bille, 2018; Nielsen et al., 2018).

L'usage et le temps, facteurs de changement d'ambiance

L'ambiance n'est pas un concept statique car elle est changeante selon des facteurs externes comme la météo, l'heure, la journée, les usagers ou l'usage fait de l'espace (Tixier, 2007; Bille et al., 2015). Malgré cela, l'ambiance « possède en général des caractères qui lui confèrent une identité, qui nous la fait reconnaître » (Tixier, 2007).

L'ambiance est également reliée à une notion de temps car elle aura une durée déterminée et elle sera attachée à un contexte temporel précis (Pallasmaa, 2017). La temporalité d'une ambiance peut avoir lieu au moment présent vécu dans l'espace mais également se construire ou être complétée par une dimension du vécu passé et futur retenus dans nos mémoires ou créés par notre imagination (Bille et al., 2015; Pallasmaa, 2017). L'appropriation du temps peut être aussi mise en relation avec la quotidienneté de l'usage ordinaire comme peuvent être les activités telles qu'habiter, circuler, travailler, se distraire, qui vont révéler des qualités spécifiques à chaque lieu et donc à l'ambiance (Pousin, 2012).

Par ailleurs, la perception de l'espace est le résultat d'une chaîne ininterrompue d'expériences perçues et vécues où un changement peut être produit par les actions réalisées mais également par le mouvement ou le déplacement de notre corps physique dans l'espace (Duarte et al., 2008; Bille et al., 2015). Au fur et à mesure que nous pénétrons dans un espace, des facteurs physiques tels que la température, la lumière, etc., peuvent varier, ce qui à son tour provoque un changement dans notre perception de l'ambiance.

Les ambiances et la théorie sensible

Une autre particularité de la notion d'ambiance concerne explicitement la question de la sensorialité humaine et de son lien avec l'esthétique. Jean-Paul Thibaud soulève deux orientations face au positionnement de l'esthétique dans les ambiances : l'« esthétique environnementale » centrée sur la nature, comprise au sens large du terme (en incluant la ville et l'urbain) et développée par exemple par Jean-François Augoyard ; et la réintégration du sens premier de l'esthétique engendrée comme théorie de la perception sensible travaillé par Gernot Böhme (Böhme, 1993; Augoyard, 1998, 2004; Thibaud, 2012). Donc comme l'énonce Jean-Paul Thibaud « L'ambiance conduit ainsi à repenser à la fois l'objet de l'esthétique et la discipline esthétique elle-même » (Thibaud, 2012).

---

[15] « À la différence des sciences fondées sur les mathématiques, la phénoménologie ne chercherait pas à expliquer le monde mais à le décrire aussi précisément que possible la manière dont le monde lui-même se rend présent à la conscience, la matière dont les choses se donnent dans notre expérience sensible directe » (Abram, 1996).

[16] « Gernot Böhme emprunte la notion d'«atmosphère » à la philosophie du corps d'Hermann Schmitz. Tout en reconnaissant cet apport, Böhme opère une critique de la pensée de Schmitz et propose une lecture originale et personnelle de cette notion. Pour lui, la pensée de Schmitz reste limitée quant à la construction d'une esthétique des ambiances pour deux raisons principales : il ne s'émancipe pas complètement d'une conception classique de l'esthétique qui réduit celle-ci au champ artistique ; il ne développe que le versant subjectif de l'atmosphère et ne prend pas suffisamment en compte sa composante matérielle et objective. Voir Gernot Böhme, « Atmosphere as the Fundamental Concept of a New Aesthetics », Thesis Eleven,no 36, 1993, p. 113-126.» (Thibaud, 2012).

La multisensorialité comme essence même de l'ambiance

L'appréhension d'une ambiance est également une expérience multi-sensorielle dans son essence même (Pallasmaa, 2017). Comme Maurice Merleau-Ponty déclare : « ma perception n'est [donc] pas une somme de données visuelles, tactiles et auditives. Je perçois de manière totale avec tout mon être. Je saisis une structure unique de la chose, une manière unique d'être qui parle à tous mes sens à la fois » (Merleau-Ponty, 1945; Pallasmaa, 2012). Entre les différents arts « l'architecture est un des rares arts qui s'adresse de fait à tous les sens : parcourue, elle fait voir, entendre, sentir en même temps » (Chelkoff, 2008).

Même si la multi sensorialité dans son ensemble se désigne comme une évidence, il est habituel de retrouver une division dans la pensée sensible. Le découpage entre les disciplines et métiers concernant les ambiances en est un exemple (Augoyard, 2008; Chelkoff, 2012). Par exemple, il y aura des acousticiens, des éclairagistes, des thermiciens, etc. qui se focaliseront dans des champs sensoriels très spécifiques (Augoyard, 2008; Chelkoff, 2012). Mais, pour une étude complète du caractère multi sensorielle de l'ambiance seule une étude des relations entre les sens le permettra (Chelkoff, 2012).

Vers la re-sensibilisation de l'architecture et quelle place pour la terre crue

L'introduction des normes pour déterminer les espaces construits selon des plages acceptables de température, de lumière, d'odeur, de son, de texture et de couleur (Erwine, 2016) conduisent à une démocratisation de l'habitat et une sorte de "médiocrité sensorielle" (Bloomer et Moore, 1977). Ces normes limitent en partie l'expression artistique mais aussi la connexion avec le milieu et les émotions qu'il était possible de retrouver plus facilement dans les architectures vernaculaires. Les contraintes règlementaires conjointement avec les restrictions budgétaires courantes dirigent également vers une préconisation de la fonctionnalité stricte et la mise de côté de la qualité sensible des espaces à vivre et en particulier dans l'habitat et les espaces publics ordinaires (Augoyard, 2008). Les opérations de lotissements sont un bon révélateur de la démocratisation de l'habitat et du manque de sensibilisation ici exposé (de Jarcy et Remy, 2010; ARAGAU, 2018; Herrmann, 2018).

Cette "médiocrité sensorielle" (Bloomer et Moore, 1977) n'est pas généralisable à l'ensemble de l'architecture du dernier siècle. Aujourd'hui, de nombreux architectes comme : Glenn Murcutt, Steven Holl, Peter Zumthor, Herzog Meuron, Juhani Pallasmaa tentent de « re-sensibiliser » l'architecture par un sens renforcé de matérialité, de texture et de poids, de densité de l'espace et de lumière matérialisée (Pallasmaa, 2012). Ils s'intéressent plus concrètement à la notion d'ambiance. Malgré cette conscience les bâtiments sont encore aujourd'hui conçus essentiellement pour être vues (Pallasmaa, 2012).

Cependant, l'importance de la vue n'est pas une notion récente. Depuis la Grèce antique, dans la culture occidentale il existe une certaine hégémonie du sens de la vue et même la pensée occidentale philosophique a été centrée sur la vision (Levin, 1993; Bernier, 1993; Pallasmaa, 2012). D'emblématiques philosophes de la Grèce antique comme Platon ou Aristote ont relié le sens de la vue directement à l'esprit et à l'intelligence humaine (Platon) ou considérait le sens de la vue comme « le plus noble des sens » (Aristote) (Levin, 1993; Bernier, 1993; Pallasmaa, 2012).

Nonobstant, même si l'hégémonie de la vue semble tenir ses origines possiblement de la pensée grecque, ceci pourrait être un phénomène plus récent. Plus concrètement, dans le livre « Le regard des sens » (Pallasmaa, 2012), Pallasmaa expose l'analyse réalisée par Walter J. Ong (Walter, 1982) sur la place de l'imprimerie dans la pensée et l'expression, et comment un passage du langage oral à l'écrit est essentiellement un changement d'un espace sonore à un espace visuel. Dans les siècles précédents, l'utilisation de la parole comme forme de transmission des connaissances était récurrente, comme par exemple les chansons de geste ou les contes de fées. Donc au-delà de la priorité philosophique de la vision cela n'a pas ordonné la vie quotidienne jusqu'à l'ère moderne (Pallasmaa, 2019).

Néanmoins, déjà dans la Renaissance, il existait une forte hiérarchie entre les sens qui plaçait clairement la vue au sommet. Dans le monde de l'art et de l'architecture cela fut soutenu avec le développement de la perspective linéale de Filippo Brunelleschi (Pallasmaa, 2012; Cigola, 2016). La représentation en perspective place encore une fois l'œil comme point central du monde perceptif et du concept du soi (Pallasmaa, 2012). Le centrisme oculaire a été progressivement renforcé tant dans la perception et la pensée que dans l'action occidentale, au moins jusqu'à la fin du XIXe siècle, début du XXe siècle, quand un changement de direction philosophique est apparu et la critique anti-oculaire s'est développée (Levin, 1993; Bernier, 1993; Pallasmaa, 2012; Harasim, 2016).

En ce qui concerne le siècle dernier (XXe siècle), l'hégémonie de la vue a été renforcée par d'innombrables inventions technologiques et une infinie multiplication et production d'images (Pallasmaa, 2012). Dans l'architecture, le mouvement moderne est un bon exemple de la priorisation des stimuli visuels par rapport aux autres stimuli sensoriels (Pallasmaa, 2012).

Dans le but de chercher un éveil des sens mais aussi de s'inscrire dans le renforcement de la notion d'ambiance dans l'architecture, nous nous interrogeons sur la place à jouer des matériaux naturels comme la terre crue. Face à la platitude des constructions actuelles et les matériaux fabriqués par des machines qui tendent à offrir à l'œil des surfaces implacables sans exprimer leur essence matérielle ni leur âge, l'utilisation des matériaux naturels comme la terre, la pierre, le bois entre autres, ont des textures uniques (Pallasmaa, 2012). Leurs motifs de surface ne se répètent jamais exactement, permettant à notre regard de plonger vers une profondeur infinie qui "résonne avec celle de notre propre chair" (Abram, 1996)[17]. Nous sommes en contact avec la véracité de la matière qui permet à notre vue de pénétrer ses surfaces et de nous convaincre de la véracité de la matière (Pallasmaa, 2012). Les matériaux naturels sont également imprégnés par l'histoire de leurs origines et l'histoire de leur utilisation par l'homme (Pallasmaa, 2012). D'autre part, en vieillissant, ils se laissent transformer avec des patines d'usure et d'érosion (Pallasmaa, 2012). Ils transmettent leur âge (Pallasmaa, 2012). Les matériaux naturels sont donc témoins du temps et leur façon de l'exprimer est authentique. La singularité et l'authenticité de la terre crue pourront-elles faire renaître l'harmonie et la symbiose de l'architecture avec son milieu ? Les matériaux naturels et plus concrètement la terre crue pourront-ils renforcer une architecture multi-sensorielle ? La terre crue pourra-t-elle enrichir l'expérience sensible de l'ambiance perçue ?

[17] Le terme cité par David Abraham fait référence à la notion de «chair» développée par le philosophe Merleau Ponty. Voir : (Merleau-Ponty, 1964) ou (Cotten, 2000).

2.1.1 La terre crue et les ambiances

Dans l'analyse bibliographique réalisée, peu des références ont été retrouvées sur les ambiances et la terre crue. Seuls certains mémoires de master ont abordé en partie cette notion-là. Par exemple Chevrier L. (Chevrier, 2015), sur le cas précis d'une école à La Chevallerais (44), a pu recueillir les retours par rapport à la terre de différents acteurs impliqués dans la phase de conception et de construction comme les architectes ou les maîtres d'ouvrage et également de certains usagers comme les enseignants, des élèves ou des parents d'élèves. À partir de paramètres physiques mis en avant par les architectes comme la thermique ou l'acoustique, elle a récolté les ressentis des usagers concernant ces dimensions. Son analyse a été complétée par l'analyse des modalités sensibles comme le toucher et l'odorat, les usages ou l'esthétique. Finalement, elle a confronté les volontés des architectes avec les ressentis quotidiens des usagers. Cette volonté initiale des architectes se trouve en concordance avec les retours des usagers qui ont un sentiment d'apaisement dans les classes. Dans leur majorité, les usagers sont satisfaits de la présence de la terre crue. Seules certaines questions pratiques comme la difficulté d'affichage sur les murs en terre est signalée. La satisfaction des usagers sur des constructions en terre crue mais aussi sur d'autres matériaux naturels, a été aussi mise en valeur par le réseau BRUDED avec par exemple « 22 retours d'expériences pour des bâtiments publics durables et sains (BRUDED, 2019) ».

La dernière partie du mémoire de master menée par Raoul. J (Raoul, 2020) s'intéresse aux ambiances générées par la terre crue en explorant séparément les sens (vue, toucher, odorat et ouïe). Elle conclut : « Du point de vue du sensible, il semble que la terre soit une matière multi sensorielle qui invite à multiplier les ambiances », donc selon son travail la terre crue pourra effectivement nous diriger sur une architecture multi sensorielle et à un enrichissement de l'ambiance perçue, principalement sur le renforcement du sens tactile.

La terre, le confort et le bien-être

Les rapports directs à l'ambiance et la terre crue dans la bibliographie sont assez limités mais en revanche, il existe multiples appels sur le confort de la terre crue ou un ressenti positif de la part des usagers. Principalement, ce qui concerne le confort intérieur du point de vue thermique ou hygrothermique. La terre, comme vu dans la partie 1.1.5, a une bonne capacité hygrothermique qui va favoriser une meilleure sensation thermique à l'intérieur. Des études récentes menées par exemple au Portugal (Fernandes et al., 2019), ont montré la concordance entre les résultats de l'évaluation subjective des usagers selon l'échelle de sensation thermique basée sur "Thermal Environment Survey" de la norme 55 de l'ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) avec les mesures objectives. Dans cette étude, ils ont mis en évidence un confort thermique satisfaisant presque toute l'année pour des architectures vernaculaires en pisé. La mise en avant du confort thermique de la terre crue est de plus en plus présente également dans des organismes publics, la presse (CTB, 2010; Lefrançois, 2019) ou la recherche (Carrobé et al., 2021).

Même si elles ne sont pas très nombreuses, certaines études ont pris une approche plus sensible pour aborder des notions telles que : le confort, le bien-être, la psychologie ou la sociologie environnementale. Comme par exemple le mémoire de recherche effectué par Pélissier C. (Pélissier,

2020) ou le mémoire de master de Hélière C. (Hélière, 2021).

Le travail mené par Pélissier avait pour objectif « d'étudier le potentiel sensible des matériaux naturels (bio-sourcés et géo-sourcés) utilisés dans la construction, en particulier le sentiment de nature qu'ils peuvent procurer dans les environnements intérieurs. » (Pélissier, 2020). Pour atteindre son objectif, elle a travaillé sur différents corpus documentaires et des retours sur des questionnaires et entretiens des personnes vivant ou travaillant avec des matériaux bio-géo-sourcés. De l'analyse de retours elle en ressort trois types de confort : le confort physique ou physiologique, le confort esthétique et le confort psychologique. La combinaison des trois types de confort semble procurer « aux usagers de ces bâtiments un fort sentiment de bien-être, soutenu notamment par un sentiment de nature émanant de la construction ». Dans les retours récupérés, la nature est évoquée notamment dans la description des couleurs, des textures et des odeurs. Donc, il y aura une importante influence du visuel (si le matériau est visible ou non) et de l'odeur sur le niveau de bien-être ressenti par les usagers. Elle en conclut que « l'expérience de nature peut être également vécue à l'intérieur d'une habitation, ou d'un bâtiment d'activité, mettant en œuvre des matériaux naturels, bio-sourcés ou géo-sourcés » (Pélissier, 2020).

Cette étude nous ouvre des pistes de réflexions également intéressantes, au-delà de la multi sensorialité ou de l'enrichissement de l'expérience sensible, comme la place de la nature et la reconnexion avec celle-ci par la présence de matériaux naturels comme la terre crue dans l'intérieur des bâtiments. En outre, les gens passent 80-90% de leur temps à l'intérieur donc il y a du sens à penser que les caractéristiques du bâtiment auront des implications directes sur le bien-être et la santé des personnes (Al horr et al., 2016; Bluyssen, 2019; Singh et al., 2019). Cette idée de relier l'humain à la nature par l'architecture est également étudiée dans la conception biophile (Salingaros, 2015), concept vulgarisé par le biologiste Edward O. Wilson dans son ouvrage Biophilia paru en 1984 (Wilson, 1984). Selon Wilson « il ne s'agit ni d'un simple penchant ni d'une préférence esthétique, mais d'une exigence physique équivalente à notre besoin d'air, d'eau et de nourriture»[18] (Salingaros, 2015).

Dans un premier temps, Hélière C. réalise une analyse succincte d'une dizaine d'articles de presse où elle remarque une prise en compte de la notion du confort dans les médias. Elle se focalise ensuite sur les notions de confort et de bien-être comme la dimension symbolique de la terre et son évolution vers une architecture de bien-être. Son travail expose des réflexions intéressantes entre le lien ancestral entre le corps humain et la matière terre (principalement l'argile) par son utilisation et ses effets sur la santé (Rautureau et al., 2017) qui n'a pas la même ampleur dans d'autres matériaux de construction (Hélière, 2021). Par le biais de trois études de cas dans des bâtiment publics, Hélière C. confronte ce qu'elle a appelé « confort énoncé » (discours des concepteurs) et « confort ressenti » par les usagers. Après son étude elle retrouve une concordance entre les deux discours car de manière générale le confort ressenti par les usagers était en adéquation avec l'énoncé (Hélière, 2021).

[18] Wilson argued, was neither a simple liking nor an aesthetic preference, but a physical requirement equivalent to our need for air, water, and food (Salingaros, 2015).

2.1.2 La terre crue sous le prisme des ambiances

Les recherches analysant les propriétés de la terre crue par le prisme des ambiances sont un sujet peu étudié. Cette thèse ambitionne d'identifier des arguments tant physiques que sensibles pour anticiper des pistes pour construire en terre crue. La mise en dialogue des paramètres physiques et sensibles nous permettra d'argumenter les avantages à construire en terre crue sans jamais perdre la notion d'espace vécu et perçu par l'usager.

Comme nous avons pu le voir le champ des ambiances inclut des disciplines variées et un large panel d'approches possibles. La grande ampleur de la notion d'ambiance fait que, même si nous sommes conscients de l'importance de travailler avec une approche multi-sensorielle pour appréhender une ambiance, nous avons décidé de limiter notre étude à deux aspects : le potentiel sensible de la terre crue comme moteur d'éveil des sens et la re-sensibilisation de l'architecture et la place de la terre crue dans les ambiances sonores.

Le fait de se focaliser sur l'ambiance sonore permettra d'avancer sur les connaissances sur les propriétés acoustiques de la terre crue en même temps qu'ouvrir des lignes de recherches sur des thématiques plus sensibles et propres au domaine des ambiances.

2.2 État de l'art - Propriétés acoustiques de la terre crue

Des affirmations sur le confort acoustique et les qualités phoniques de la terre crue sont mises en avant de façon récurrente (Tableau 1). Une bonne partie de ces affirmations mettent en lumière surtout la bonne isolation acoustique de la terre justifiée, a priori, par la loi masse (3.2.1.1.3 et Figure 33). Mais les valeurs sont encore limitées et d'autant plus pour des données sur l'acoustique interne (voir partie 3.2.1.2 pour définition). Pour ce dernier cas, les données retrouvées font référence principalement aux techniques de terre allégée et leur niveau d'absorption acoustique (Lemeurs et al. 2016; Brouard, 2018; Degrave-Lemeurs et al., 2018).

Dans le Tableau 1, seules des références directes sur l'acoustique de la terre crue comme matériaux de construction ont été récoltées. La présence ou pas de données a été signalé en divisant deux champs principaux de l'acoustique architecturale : l'isolation et l'acoustique interne.

Auteur et année	**Titre**	**Affirmation sur le confort ou qualité acoustique**	**Isolation** *Données*		**Acoustique interne (coefficient d'absorption et temps de réverbération TR)** *Données*	
(Fabbri et al., 2022, pp. 112–116)	Chapter 3 Hygrothermal and Acoustic Assessment of Earthen Materials.		Bibliographie		Bibliographie	
				*Indice global** *58.3 dB* *STC = 50 à 57 dB*	*Par f(Hz)*	
(Ávila et al., 2021, p. 8)	Characterization of the mechanical and physical properties of unstabilized rammed earth: A review.	X	Bibliographie			
				Indice global[1]* *STC 50 à 57dB* *R = 57 à 58,3dB*		
(Cycle Terre, 2021, pp. 66–68, 161–163) Plus récemment : (Crete et al., 2022)	Guide de conception et de construction (2021). Acoustical Properties of Earthen Walls: Transmission Loss Measures and Numerical Modelisation	X	Laboratoire			
			Par f(Hz)	*Indice global* *Rw (C;Ctr) =* *44 (-1 ; -3) dB à 54 (-2 ; -6) dB*		
(Glé et al., 2021)	Characterization and modelling of the sound reduction of hemp-clay walls in buildings.		Laboratoire / Calcul			
			Par f(Hz)	*Indice global* *Rw (C;Ctr) = 9,0 (0,0 ; -1,0) dB à 48,0 (–2,0 ; -6,0) dB*		
(Lacasta et al., 2021)	Medium density materials based on clay and by-products of corn and sunflower stalks. Thermal and acoustic aspects.				Laboratoire	
					Par f(Hz)	
(Pélissier, 2020, p. 5)	Matériaux bio-géo-sourcés et expérience de nature, une approche sensible.	X				
(Gaudet, 2020)	Caractérisation acoustique des bétons terre-chanvre à l'échelle du bâtiment.		Laboratoire		Laboratoire	
			Par f(Hz)	*Indice global* *Rw = 35dB à 46dB*	*Par f(Hz)*	
(Bruno, 2019, pp. 11–12)	Hygro-mechanical characterisation of hypercompacted earth for building construction.	X	Bibliographie			
				R = 58,3 dB *Indice global**		

(Brouard, 2018, pp. 32,34-35,45-47,121-130, 146,149,151,169)	Caractérisation et optimisation d'un composite biosourcé pour l'habitat.		Laboratoire		Laboratoire	
			Par f(Hz)		*Par f(Hz)*	
(Degrave-Lemeurs et al., 2018)	Acoustical properties of hemp concretes for buildings thermal insulation: Application to clay and lime binders.		Laboratoire / Calcul		Laboratoire / Calcul	
			Par f(Hz)		*Par f(Hz)*	
(Phung, 2018, p. 152)	Formulation et caractérisation d'un composite terre-fibres végétales : la bauge.	X				
(Beckett et al., 2017, p. 151)	Measured and simulated thermal behaviour in rammed earth houses in a hot-arid climate. Part B: Comfort.	X				
(Bonnevie, 2017, p. 51)	Terra nostra, prototype d'habitat.	X				
(Gallipoli et al., 2017, p. 467)	A geotechnical perspective of raw earth building.	X	Bibliographie			
				R = 58,3 dB *Indice global**		
(Hegediš et al., 2017, pp. 43–44)	Energy Sustainability of Rammed Earth Buildings.		Bibliographie			
				R = 53 à 57dB *Indice global*		
(Schroeder, 2016, pp. 420–426)	Sustainable Building with Earth.		Bibliographie			
				Rw = 56dB		
(Randazzo et al., 2016)	Moisture absorption, thermal conductivity and noise mitigation of clay based plasters: The influence of mineralogical and textural characteristics.				Laboratoire	
					Par f(Hz)	
(Champiré et al., 2016, p. 70)	Impact of relative humidity on the mechanical behavior of compacted earth as a building material.	X				
(Daza et al., 2016)	Acoustic performance in raw earth construction techniques used in Colombia.		In situ		In situ	
			Par f(Hz)	*STC = 35dB à 41dB* *Indice global*		*T30 (entre 500-1000Hz)* *0,32s à 1,26s*
(Lemeurs et al., 2016)	Caractérisation acoustique de bétons terre - chanvre.		Laboratoire		Laboratoire	
			Par f(Hz)		*Par f(Hz)*	

(Serrano et al., 2016, p. 181)	Adaptation of rammed earth to modern construction systems: Comparative study of thermal behavior under summer conditions.	X			
(Team Solar Bretagne, 2016)	Brique de terre crue.		Laboratoire	*Rw = 41dB* *Indice global*	
(Volhard, 2016)	Construire en terre allégée.	X	Laboratoire	*Rw = 40 à 57dB* *Indice global*[2]	
(Mœvus-dorvaux, 2016, p. 57)	Béton d'Argile Environnemental.	X			
(Valdés Orellana, 2015, p. 66)	1. Hacia una definición de los indicadores de la calidad sonora del ambiente exterior y su aplicación al siguiente caso: el ensanche de Barcelona y Vilnius.	X			
(Butko et al., 2014)	Comparing the acoustical nature of a Compressed Earth Block (CEB) residence to a traditional wood-framed residence.	X	In situ	NIC *(Noise Isolation Class) = 30 à 50dBA* *Indice global*	
(Buzo, 2014, p. 65,81)	Bâtir en terre en Estrémaduare.	X			
(Chesneau, 2014, p. 54,102,106)	L'Architecture de terre en Midi-Pyrénées, pistes pour sa revalori-sation.	X			
(Khalili et al., 2014, p. 57)	Unsaturated Soils: Research & Applications : Volume 2.	X	Bibliographie	*R = 58,3 dB* *Indice global**	
(ARCHICONSULT, 2013, p. 6)	La terre crue en architecture.		Bibliographie	*R = 50dB* *Indice global*	
(Birznieks, 2013, p. 8)	Designing and building with com-pressed earth.	X	Bibliographie	*R = 58,3 dB* *Indice global**	

(Röhlen et Ziegert, 2013)	Construire en terre crue.	X	Bibliographie / Calcul			
				R = 43 à 56dB ; Rw = 34 à 56dB ; Rw'=56 à 57dB Indice global[3]		
(Hall et al., 2012)	Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications.	X	Bibliographie			
				*R = 58,3dB ; Rw = 30 à 60dB ; Ra = 69,2dB Indice global**		
(Racusin et al., 2012)	The Natural Building Companion: A Comprehensive Guide to Integrative Design and Construction.	Ref. dans Ávila et al. 2021				
(Anger, 2011)	Approche granulaire et colloïdale du matériau terre pour la construction.	X				
(Bestraten et al., 2011)*	Construcción con tierra en el siglo XXI.	X	Bibliographie			
				*Ra = 53,04 à 57,85dB Indice global**		
(Downton, 2010, p. 155)	Your Home Technical Manual: Rammed Earth.	X				
(Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin, 2010)	Terres de bâtisseurs.	X				
(Berge, 2009, pp. 315–316)	The ecology of building materials , 2nd edition.	X				
(Binici et al., 2009)	Sound insulation of fibre reinforced mud brick walls.		Laboratoire		Laboratoire	
			Par f(Hz)		*Par f(Hz)*	
(Yuste, 2009, pp. 37–38)	Arquitectura de tierra: caracterización de los tipos edificatorios	X	Bibliographie			
				*Rw = 54 à 59dB Indice global**		
(Houben et Guillaud, 2006)	Traité de construction en terre, CRAterre.	X	Bibliographie - Laboratoire			
				Rw = 50dB Indice global		
(Patte et Streiff, 2006, pp 84,289)	L'architecture en bauge.	X				

(Hall et Swaney, 2005, pp. 2–3)	Stabilised rammed earth (SRE) wall construction - Now available in the UK.		Bibliographie	*Rw = 54 à 59dB Indice global**	
(Walker et al., 2005, pp. 72–73)	Rammed earth : design and construction guidelines.		Bibliographie	*Rw = 54 à 59dB Indice global**	
(Hall M. et Djerbib Y., 2004)	Rammed earth sample production: context, recommendations and consistency.	X			
(Bardel et Maillard, 2002, p. 136)	Architecture de terre en Ille-et-Vilaine.	X			
(Écopôle ; CCAglomération, no date)	La terre crue.	X	Bibliographie	*Rw = 40 à 50dB Indice global*	
(HabiTerre&Bois, no date)	Construire en terre crue en milieu urbain.	X			

Par f(Hz) : Valeurs par fréquence / Indice global (intervalles entre valeur maximum et minimum) : Valeurs globales comme R, Rw, Rw', STC (Sound Transmission Class) ou α_w

[1]Selon la norme Standards Australia, AS 1276-1979 I

[2]Selon la norme DIN 4109, Éd 1989

[3]Selon la norme DIN 4102 T4 mars 1994

*Utilisation de l'équation $R_w = 21,65 \log_{10} m' - 2,3$ [dB] (pour m> 50kg/m²) [1] British Standard 8233.

Source de la donnée :

- **Bibliographie** : références bibliographiques
- **Laboratoire** : données obtenues par essais de laboratoire comme le tube de Kundt ou les salles d'essai
- **In situ** : mesures in situ comme T30 ou STC (Sound Transmission Class)
- **Calcul** : mesures obtenues à partir des calculs.

Tableau 1 Sources bibliographiques sur l'acoustique de la terre crue

2.2.1 Valeurs d'isolation acoustique de la terre crue

Les valeurs concernant l'isolation acoustique retrouvées dans la bibliographie sont principalement focalisées sur l'indice d'affaiblissement acoustique (R). Cet indice est propre à chaque paroi ou élément architectural et il est mesuré en laboratoire de façon normalisée et en l'absence de toute autre transmission, au-delà du son direct. De façon générale, plus une paroi est lourde et imperméable à l'air, moins l'énergie peut être transmise de l'autre côté, et l'indice d'affaiblissement (R) est élevé. Donc, l'importante masse de la terre crue présente à priori des performances acoustiques en matière d'isolation intéressantes. Il faudra cependant veiller à la bonne gestion de l'étanchéité et des ponts acoustiques en particulier au niveau des jonctions avec d'autres matériaux.

Dans le Tableau 2, des valeurs sur l'isolation acoustique retrouvées dans la bibliographie ont été regroupées par technique de mise en œuvre. De façon générale, il est possible d'observer un plus grand indice (R) pour les techniques monolithiques comme le pisé et la bauge. Cependant, des valeurs similaires peuvent aussi être atteintes avec des briques à haute densité et/ou avec des épaisseurs de parois plus élevées. Par exemple, selon (Röhlen et Ziegert, 2013) et d'après la norme allemande (DIN 4109-1, 2018) pour des murs rigides constitués d'une seule paroi, un mur en briques de terre de densité 1700kg/m^3, d'épaisseur de 50cm et avec un enduit des 2 côtés peut atteindre un indice de réduction acoustique ($R'w$) de 57dB. Cette valeur correspond aux valeurs obtenues par les techniques monolithiques comme le pisé ou le béton coulé en masse (Bestraten et al., 2011). En ce qui concerne les techniques de remplissage comme les torchis et surtout la terre allégée, les valeurs sont inférieures, même si une importante augmentation est observée avec la présence d'enduit. Ce phénomène peut aussi être observé dans la Figure 6 où les tests réalisés en laboratoire sur des éprouvettes de terre allégée montrent une nette amélioration de l'affaiblissement acoustique avec l'incorporation de l'enduit (Brouard, 2018). Il reste à remarquer qu'une bonne partie des valeurs ici récoltées proviennent de sources bibliographiques ou de calculs, et que seuls certains essais de laboratoire à l'échelle de la paroi pour des briques de terres compressées (BTC) (Cycle Terre, 2021; Crete et al., 2022) et de la terre allégée ont été retrouvés (Brouard, 2018; Degrave-Lemeurs et al., 2018; Glé et al., 2021).

Technique	Enduit intérieur	Enduit extérieur	ρ(kg/m³)	ép. mur (cm)	R (dB)	Rw / Rw (C;Ctr) (dB)	Rw' (dB)	Ra (dBA)	STC[1] (dB)	Type de données
Pisé	-	-	1600-2200	20 - 60	**de 57,0 à 58,3** (57 / 57,9* / 58,3)	**de 50 à 57** (53/ 55 /57 / 57 /50)	**de 56 à 57** (56 / 57 / ≥57)	**de 57,85 à 69,21** (57,85 /69,21)	**de 50 à 57** (50 / 50-57*)	Bibliographie / Calcul
	oui	oui	1900	50			**57***			Calcul*
Bauge	oui	oui	1500	60			**57***			Calcul*
Briques (BTC / Adobe / Brique extrudée)	-	-	1200-1950	9,5 - 36		**de 41 à 54** (44 (-1;-3) / 47 (-1;-4) / 54 (-2;-6) / 41 / 50 / 50)	**de 51 à 57** (51* / 56*)	**53,04** (53,04* / 56,32*)		Laboratoire / Bibliographie / Calcul*
	oui	oui	1700	50			**57***			Calcul*
Torchis / Terre allégée	oui	oui	600-1200	10 - 35			**de 35 à 41** (35*/ 40-55*/ 55*)			Calcul*
	-	-	202-396	6 - 20		**de 9 à 22** (9.0 (0,0;-1,0) / 15 / 13 / 10 / 19/ 11 / 12 / 21 / 22.0 (0,0;-2,0))				Laboratoire
	oui (1cm / 1700kg/m³)	-	220-365	10		**de 39 à 45** (39.0 (−2,0;-4,0) 45.0 (−2,0;-5,0) 45.0 (−3,0;-7,0))				Laboratoire
	oui (2cm / 1700kg/m³)	-	220-365	10-12		**de 42 à 45** (42.0 (−2,0;-5,0) 45.0 (−3,0;-6,0))				Laboratoire
	oui (1cm / 1700kg/m³)	oui (1cm / 1700kg/m³)	220-365	10-14		**de 43 à 46** (45.0 (− 4,0;-6,0) 46.0 (−1,0;-6,0) 43.0 (−1,0;-3,0) 43.0 (−2,0;-4,0))				Laboratoire
	oui (2cm / 1700kg/m³)	oui (2cm / 1700kg/m³)	220-365	10-13		**de 46 à 48** (46.0 (−2,0;-5,0) 48.0 (−2,0;-6,0))				Laboratoire

*Reference bibliographiques – **Pisé** : (Walker et al., 2005; Houben et Guillaud, 2006; Bestraten et al., 2011; Hall at al., 2012; Röhlen et Ziegert, 2013; Khalili et al., 2014; Hegediš et al., 2017; Ávila at al. , 2021) Normes : (Australia, 1979; DIN 4109-1, 2018) ; **Bauge** : (Röhlen et Ziegert, 2013) Norme : (DIN (Deutsches Institut für Normung), 2016) ; **Briques** : (Bestraten et al. , 2011; ARCHICONSULT, 2013; Röhlen et Ziegert, 2013; Team Solar Bretagne, 2016; Cycle Terre, 2021) Norme : (DIN (Deutsches Institut für Normung), 2016) ; **Torchis et terre allégée** : (Röhlen et Ziegert, 2013; Volhard, 2016; Glé et al., 2021).*

**Utilisation de l'équation [1] British Standard 8233 l [1]Sound transmission class. l Les valeurs en gras correspondent aux intervalles des valeurs entre parenthèses juste en dessous.*

Tableau 2 Résumé des données sur l'isolation acoustique

Au-delà des valeurs regroupées dans le Tableau 2, il a été remarqué une utilisation récurrente de l'équation [1] de la loi de masse expérimentale en fonction de la masse surfacique (m') de la paroi (kg/m²) établie par la norme « British Standard 8233, Sound insulation and noise reduction for buildings » (British Standard, 1999).

$$R_w = 21{,}65 \ log_{10} m' - 2{,}3 \ [dB] \text{ (pour m> 50kg/m}^2\text{)} \quad [1]$$

Des études récentes menées par le Cerema ont remis en question l'utilisation de la loi de masse théorique (+6 dB en doublant la masse de la surface ou la fréquence) comme outil de prédiction des performances des parois à base de terre allégée (Glé et al., 2021). À la différence de la pierre ou du béton les murs en terre crue n'agissent pas uniquement de manière mécanique. Par exemple d'autres effets tels que la dissipation visqueuse et thermique peuvent aussi avoir une influence sur les performances d'isolation acoustique des parois (Glé et al., 2021). Les auteurs de cette étude concluent que l'approche simplifiée de la loi de masse semble satisfaisante pour de la terre-allégée enduite mais n'est clairement pas recommandable pour d'autres configurations de terre allégée (Glé et al., 2021). Cependant, l'approche par modélisation qu'ils ont réalisée a montré que la performance de la terre allégée peut être prédite de manière satisfaisante, quelle que soit la configuration du mur, en utilisant la méthode de la matrice de transfert avec des couches élastiques et poreuses isotropes (Transfer Matrix Method with isotropic elastic and porous layers) (Glé et al., 2021).

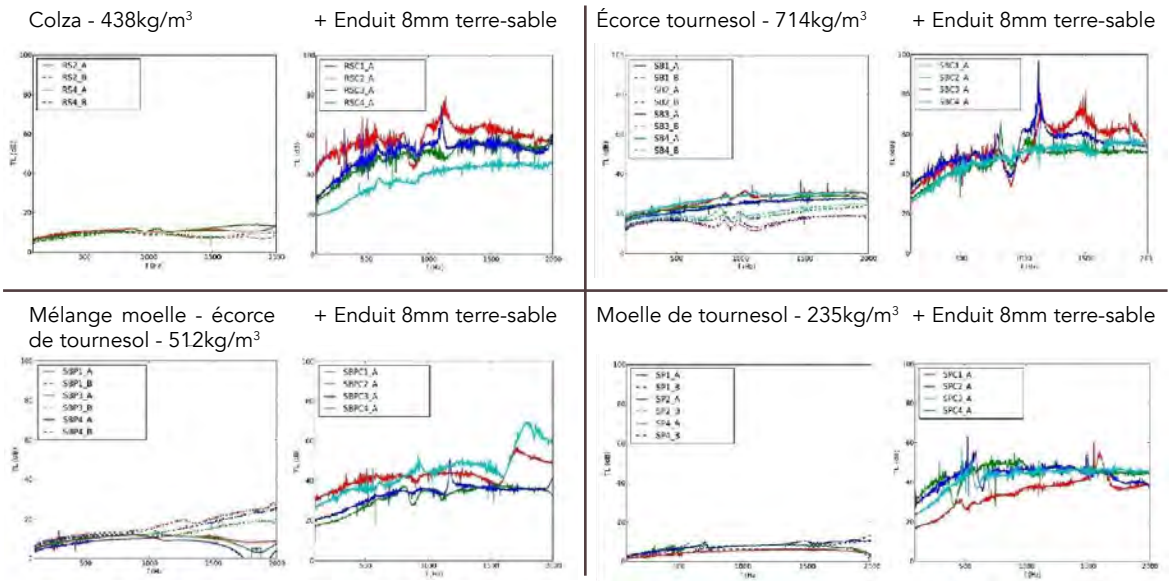


Figure 6 Perte de transmission TL (en tube de Kundt) de quatre composites de terre allégée différentes sans et avec enduit en terre crue (Brouard, 2018).

L'amélioration de l'isolation acoustique avec l'ajout des enduits a été aussi mise en évidence par (Röhlen et Ziegert, 2013) sur des isolations intérieures de terre allégée de 15cm plus de l'enduit. Par exemple, selon les calculs approximatifs de l'Institut de thermique et d'acoustique Alsfort, l'incorporation de terre allégée avec enduit sur une structure existante d'ossature bois de 14cm, hourdage terre crue (700kg/m³) enduite extérieurement et intérieurement apporte un gain dans l'indice d'affaiblissement acoustique de + 8dB (Röhlen et Ziegert, 2013). Des améliorations ont été également remarquées sur des murs massifs en brique même si moins significatives entre + 2 et 3dB (Röhlen et Ziegert, 2013).

L'isolation acoustique a été également mesurée sur des panneaux de terre CLAYTEC de 25mm avec différentes compositions de parois (Röhlen et Ziegert, 2013). Les mesures réalisées montrent un R_w minimum de 36dB pour un panneau CLAYTEC de 25mm plus 3mm d'enduit mais avec d'autres compositions de parois les valeurs arrivent jusqu'à 56dB. La paroi avec 70mm de laine de mouton posée entre deux plaques CLAYTEC enduites en est un exemple (Röhlen et Ziegert, 2013).

Les indices d'affaiblissements acoustiques permettent d'estimer la performance d'affaiblissement des parois propre à chaque typologie constructive ou matériau. Ces valeurs permettront également d'aider dans la prédiction du comportement acoustique d'une pièce. Cependant, dans les réglementations acoustiques concernant le bruit dans le bâtiment, comme l'arrêté du 30 juin 1990 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation (Légifrance, 1999) ou l'arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement (Légifrance, 2003), les exigences acoustiques relatives aux bruits aériens font appel à des valeurs d'isolement acoustique standardisé pondéré $D_{nT,A}$. Cette valeur caractérise la performance acoustique dans sa globalité, en prenant en compte les différents types de transmissions, le volume de la pièce de réception et le temps de réverbération (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017). Afin de compenser les différences qu'il peut y avoir entre la mesure in situ ($D_{nT,A}$) et la mesure en laboratoire d'un élément constructif (R_w), il est récurrent de prévoir 5dB de plus (en moyenne) sur les valeurs obtenues en laboratoire (ACOPLAN, 2015; Gaudet, 2020). Donc, par exemple, pour obtenir un $D_{nT,A}$ de 53dB, un R_a ($R_a = R_w + C$) d'au moins de 58dB sera nécessaire.

À titre d'exemple, si on décide de construire un mur en BTC de 9,5cm d'épaisseur, non enduit et avec des jonctions périphériques garantissant la bonne étanchéité acoustique, selon les essais de laboratoire réalisés par Cycle Terre on aurait un R_w= 44 (-1 ; -3)dB donc un R_a= 44 - 1= 43dB (Cycle Terre, 2021). En prenant le cas de figure de l'isolation entre le local d'enseignement et la circulation selon l'arrêté du 25 avril 2003, le $D_{nT,A}$ doit être égal ou supérieur à 30dB. Donc, pour vérifier si la performance obtenue en laboratoire (Ra) est adaptée aux exigences réglementaires cela devra être au moins de 35dB (30dB plus 5dB de marge d'erreur). Donc avec un R_a=43dB > 35dB, la paroi de BTC de 9,5cm devrait être suffisante pour atteindre les niveaux réglementaires d'isolation nécessaires.

Dans les études de (Butko et al., 2014) et (Daza et al., 2016), l'isolation acoustique in situ a été étudiée. Dans le cas d'étude de Butko, ils ont comparé l'isolation acoustique de deux maisons avec des configurations similaires mais dont une était réalisée avec BTC (briques de terre comprimée) et une autre avec de l'ossature bois. L'étude estime une meilleure isolation avec la brique de BTC. Concrètement ils ont mesuré une différence de 8dB entre les deux systèmes (Butko et al., 2014). Dans les mesures in situ réalisées par Daza et al., ils estiment leurs résultats comme performants. Cependant, l'épaisseur des murs dans la pièce avec une isolation moins importante (35dB) est plus épaisse (0.80m) que dans la pièce avec des résultats d'isolation plus élevés, 41dB et murs de 0,70m. Selon l'auteur cette différence peut être due à la forme et à l'ensemble des matériaux dans la pièce (Daza et al., 2016). Ce dernier exemple met en évidence l'importance d'autres paramètres comme la forme, la géométrie, etc. dans le comportement acoustique d'une salle et comment finalement la nature des murs et son indice d'affaiblissement sont des données importantes mais pas les seules à prendre en compte.

2.2.2 Valeurs d'acoustique interne

Les valeurs concernant l'acoustique interne, et plus concrètement les valeurs de coefficient d'absorption des matériaux à base de terre crue, retrouvées dans la bibliographie sont encore plus limitées que pour l'isolation. Dans le Tableau 3, les références bibliographiques retrouvées concernant l'acoustique interne sont regroupées. La majorité des valeurs sont des coefficients d'absorption acoustique obtenus dans le tube de Kundt et sur la terre allégée. Seul dans le travail de Daza et al., des données sur le temps de réverbération in situ ont été retrouvés.

Auteur et année	Titre	Type de données	Technique	Valeurs
(Fabbri et al., 2022)	Chapter 3 Hygrothermal and Acoustic Assessment of Earthen Materials.	Réf. bibliographie	Sols (pas bâtiment)	Coefficient d'absorption par fréquences
(Lacasta et al., 2021)	Medium density materials based on clay and by-products of corn and sunflower stalks. Thermal and acousti c aspects.	Données laboratoire Tube de Kundt	Terre - fibre	Coefficient d'absorption par fréquences
(Brouard, 2018)	Caractérisation et optimisation d'un composite biosourcé pour l'habitat.	Données laboratoire Tube de Kundt	Terre allégée	Coefficient d'absorption par fréquences
(Degrave-Lemeurs et al., 2018)	Acoustical properties of hemp concretes for buildings thermal insulation: Applica-tion to clay and lime binders.	Données laboratoire Tube de Kundt	Terre allégée	Coefficient d'absorption par fréquences
(Daza et al., 2016)	Acoustic performance in raw earth cons-truction techniques used in Colombia.	Mesures in situ du temps de réverbération	Pisé et adobe	T30 in situ
(Lemeurs et al., 2016)	Caractérisation acoustique de bétons terre – chanvre.	Données laboratoire Tube de Kundt	Terre allégée	Coefficient d'absorption par fréquences
(Randazzo et al., 2016)	Moisture absorption, thermal conductivity and noise mitigation of clay based plas-ters: The influence of mineralogical and textural characteristics	Données laboratoire Tube de Kundt	Enduit	Coefficient d'absorption par fréquences
(Binici et al., 2009)	Sound insulation of fibre reinforced mud brick walls.	Données laboratoire Tube de Kundt	Briques	Coefficient d'absorption par fréquences

Tableau 3 Références bibliographiques sur l'acoustique interne.

Les caractéristiques absorbantes des murs présentes dans une pièce auront une répercussion sur la réverbération finale de la pièce. Une des solutions constructives possibles pour travailler sur le phénomène d'absorption est effectivement l'effet de la porosité présente dans des structures granuleuses ou fibreuses de certains matériaux. À cet égard, le travail porté sur les techniques de terre allégée a tout son sens car des mélanges légers et avec une importante porosité peuvent atteindre des performances très intéressantes en matière d'absorption. Les études menées sur la terre allégée (terre-chanvre) ont mis en évidence l'influence de la formulation mais également du compactage (Lemeurs et al., 2016). Dans la Figure 7, il est possible d'observer comment une même formulation atteint des valeurs d'absorption plus élevées quand la masse volumique est plus basse donc moins compactée.

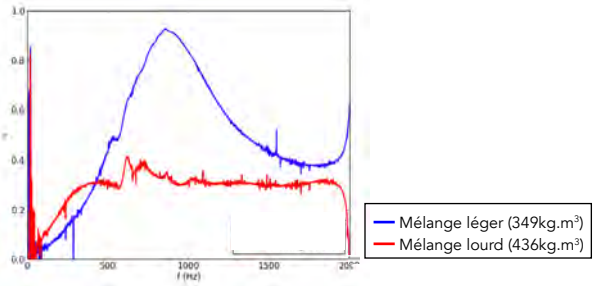


Figure 7 Coefficient d'absorption (en tube de Kundt) de deux échantillons terre–chanvre avec la même formulation mais de masses volumiques différentes (compactage différent) (Lemeurs et al., 2016).

L'importance du compactage a été mise en relation avec une plus grande influence des pores inter-particules des bétons bio-sourcés sur les propriétés acoustiques (Cérézo, 2005; Glé et al., 2011, 2012; Glé, 2014). Dans le cas des bétons à base de terre crue, ce phénomène a été également observé dans les travaux menés par (Brouard, 2018) où l'échantillon moins compacté (moelle de tournesol 235kg/m³) a une meilleure absorption acoustique que les autres échantillons (Figure 8 – Graphiques sans enduits). Une estimation de la porosité intra-granulaire des quatre formulations étudiées par (Brouard, 2018) a été également calculée selon la méthode développée par (Glé, 2014) et a permis de vérifier qu'une plus grande porosité inter-particules entraîne une plus grande absorption acoustique (Brouard, 2018). Les techniques de terre allégée sont rarement laissées telles quelles, principalement pour des questions de durabilité (éviter l'effritement du mur) et dans cet optique-là, (Brouard, 2018) a refait des test de ses échantillons étudiés avec une couche d'enduit terre-sable de 8mm. Comme on observe dans la Figure 8, l'ajout de l'enduit porte à une homogénéisation des valeurs d'absorption acoustique des différents échantillons et une baisse drastique de l'absorption (Brouard, 2018). Comme expliqué par l'auteur, « L'application de ces enduits engendre une modification de l'état de surface du matériau, plus lisse, favorisant la réverbération et minimisant par conséquent l'absorption acoustique. De même cette couche de 8mm de mélange terre-sable a une masse volumique nettement plus importante que celle des biocomposites et possède sa propre porosité (Brouard, 2018, pp. 127–128) ».

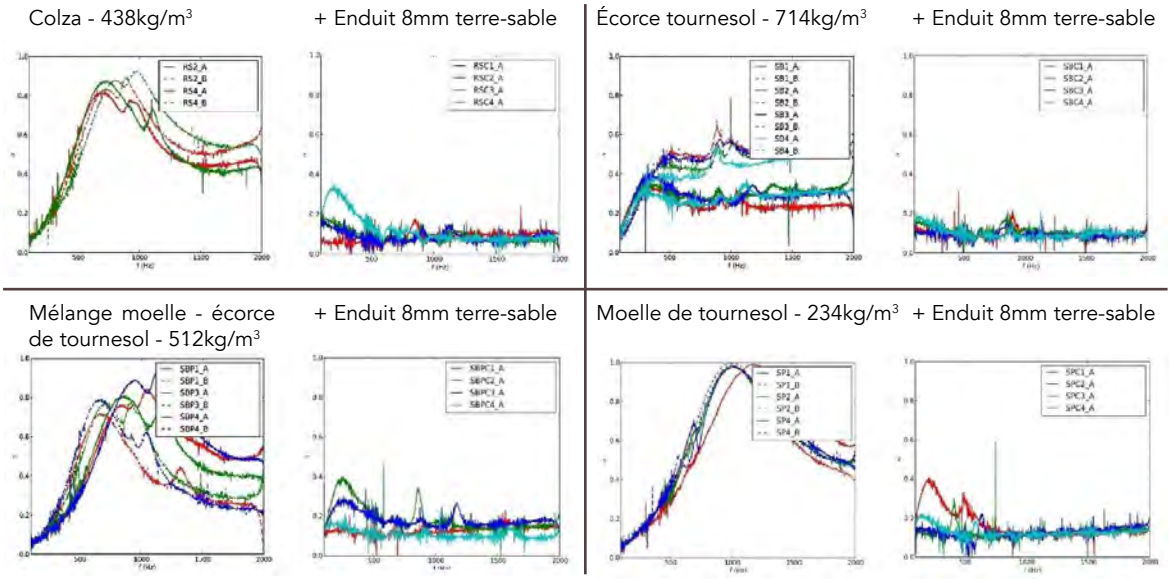


Figure 8 Coefficients d'absorption Sabine (en tube de Kundt) de quatre composites de terre allégée différentes sans et avec enduit en terre crue. Fréquences entre 0Hz et 2000Hz (Brouard, 2018).

L'influence de la densité sur les performances d'absorption acoustiques du terre-chanvre a été également mise en évidence dans l'étude menée par (Degrave-Lemeurs et al., 2018) (Figure 9). Plus la densité est élevée moins d'absorption acoustique il y aura. Dans cette même étude, les performances à l'échelle du matériau du chaux-chanvre et du terre-chanvre ont été à leur tour comparées. Les résultats expérimentaux montrent que globalement le comportement acoustique des deux mélanges est similaire même si avec des petites différences acoustiques telles que : une largeur du pic l'absorption plus faible pour le chaux-chanvre ou une résistivité à l'air plus élevée pour le terre-chanvre (Degrave-Lemeurs et al., 2018). Cependant, l'impact de ces différences sur le comportement acoustique est suffisamment faible pour être négligé dans des calculs (Degrave-Lemeurs et al., 2018). Donc en l'absence des valeurs plus approfondies sur le terre-chanvre, les valeurs sur le chaux-chanvre pourront éventuellement être utilisées dans les calculs préliminaires.

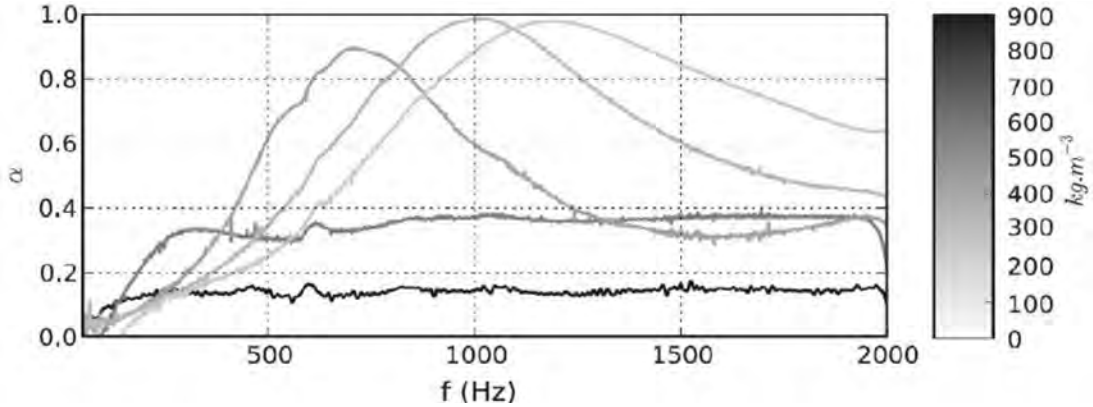


Figure 9 Coefficients d'absorption (en tube de Kundt) de terre–chanvre avec densités de 229, 306, 386, 517 et 821 kg·m^{-3} (Degrave-Lemeurs, Glé and Hellouin de Menibus, 2018).

Dans l'étude menée par (Binici et al., 2009) plusieurs natures de briques ont été étudiées, entre autres des briques en terre stabilisée au ciment ou plâtre mais aussi avec de la pierre ponce. Ces derniers ont montré une absorption acoustique plus élevée que le reste, très probablement par la haute porosité de la pierre ponce (Binici et al., 2009). Cependant, les valeurs exposées dans cette étude entre 0,35 et 0,85 d'absorption pour des fréquences de 100 à 1800Hz pour des briques d'environ 1200 kg/m^3 semblent assez élevées en comparaison avec les études de terre allégée précédentes. Par exemple, dans la Figure 9 un mélange de terre-chanvre de 821kg·m^{-3} atteint des valeurs d'environ 0,1 dans toute la bande de fréquence analysée, de 3 à 8 fois moins que les briques étudiées par Binici et al. Il reste à connaître l'aspect de surface précis des briques avec la pierre ponce étudiées qui par sa nature pourra éventuellement avoir une porosité importante qui pourrait expliquer la haute absorption des briques.

Dans les mesures du temps de réverbération in situ réalisées dans l'étude de (Daza et al., 2016), des différences sont observées dans les deux salles analysées. Les deux pièces ont des volumes et des géométries différentes et les matériaux de parois sont également différents. Dans la salle avec des valeurs plus satisfaisantes, il est observé une haute absorption de par la forme et la géométrie mais également par les matériaux utilisés où le bois et la terre sont prédominants. L'autre salle compte plus de surfaces réfléchissantes comme des vitres, cloisons, etc. en plus de la terre. Même si l'influence des matériaux comme le bois et la terre semblent plus intéressante pour la performance acoustique des pièces que des surfaces réfléchissantes comme les vitres, il

est nécessaire de continuer à travailler et à tester d'autres cas de figure afin de comprendre un peu plus le possible apport de la terre crue sur la performance acoustique d'une pièce. Dans la continuité de cette ligne de travail, dans les chapitres suivants de cette thèse, plusieurs salles de classe avec la terre crue sont étudiées.

2.2.3 Résumé et perspectives de l'étude

Le résumé des sources bibliographiques ici présentées montre qu'à l'heure actuelle les connaissances sur la performance acoustique de la terre crue restent limitées. De plus, la variabilité de la terre crue mais aussi la grande diversité de mises en œuvre possibles produisent des caractéristiques physiques variables mais également multiplient de solutions possibles. Les points à approfondir sont nombreux. Par exemple, concernant l'affaiblissement acoustique, des questions sur l'influence de la porosité mais également la gestion des transmissions latérales méritent des études plus larges. Cependant, les essais menés par exemple par Cycle Terre (Cycle Terre, 2021) sont assez encourageantes. Les résultats obtenus sur les panneaux en terre montrent des performances acoustiques assez satisfaisants sur le comportement en basses fréquences et en comparaison avec des plaques conventionnelles en plâtre. Nous avons également des résultats intéressants sur le comportement des fréquences critiques des parois en BTC, où il n'y a pas de chute très marquée. Notons aussi que la performance en basses fréquences est importante, entre 30 et 40dB pour la bande de 125Hz.

Par ailleurs, les possibilités de mise en œuvre de la terre crue offrent un panel large d'expérimentation dans l'ensemble des phénomènes associés à la propagation du son : absorption, réflexion et diffusion (partie 3.2.1.2.2).

Chapitre 3. Méthodologie

Dans le cadre de cette thèse, nous prenons l'approche des ambiances pour confronter la mesure physique et le ressenti des espaces construits. Une approche qui permettra à la fois d'approfondir deux domaines peu étudiés dans le champ de la terre crue : l'acoustique et le sensible, en apportant de nouveaux éléments et des pistes pour des études futures. L'étude de la terre crue sous le prisme des ambiances permettra également d'approfondir et de mieux comprendre la qualité de vie dans les espaces en terre crue. Sur ce principe, ce travail de thèse mène simultanément les deux approches physique et sensible pour l'analyse des salles de classe des établissements scolaires ayant utilisé la terre crue dans leur construction mais aussi pour comparer et analyser une même pièce avec et sans terre crue de deux lieux différents.

Dans le but d'étudier le potentiel acoustique de la terre crue, un travail sur des propriétés purement physiques comme l'étude des coefficients d'absorptions des parois en terre crue des différentes écoles ou l'étude des coefficients d'absorptions des différents mélanges de terre et de fibre dans le tube de Kundt est également réalisée. Pour finaliser, les données physiques provenant de la campagne des mesures in situ sont mises en relation avec les mesures obtenues en laboratoire par le biais de la simulation avec le programme CATT-Acoustique.

Dans ce chapitre, nous présentons dans un premier temps les cas d'études. Par la suite, les fondements théoriques et les protocoles et mesures réalisés sur l'approche physique sont exposés. Pour finir, l'approche sensible où diverses techniques d'enquête relatives à la caractérisation des ambiances et les protocoles retenus sont présentés (Figure 10).

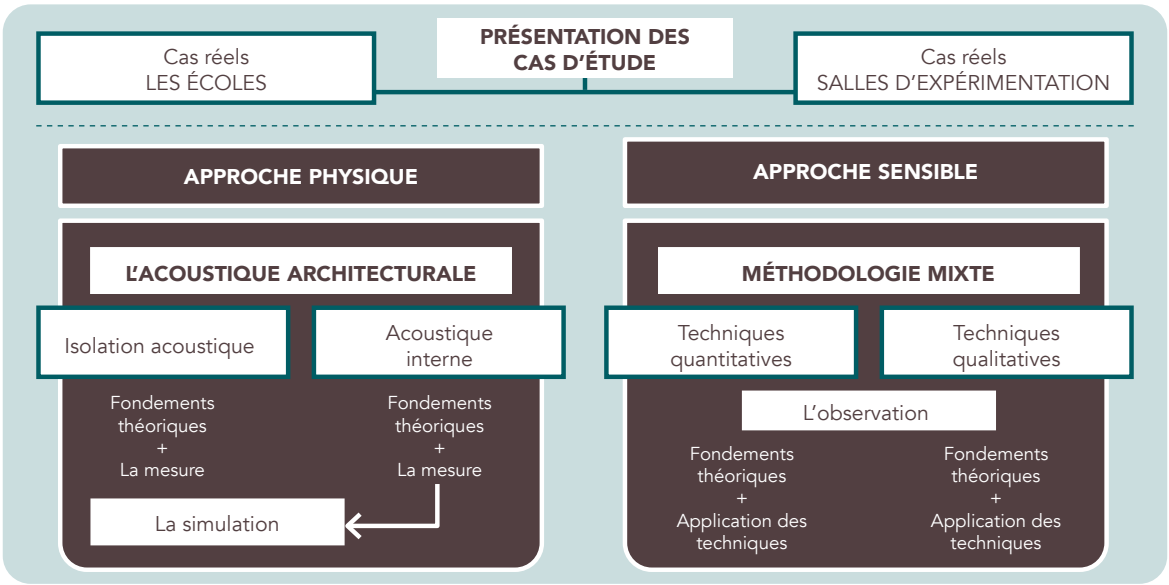


Figure 10 Structure du chapitre – Caractérisation des ambiances.

3.1 Présentation des cas d'études

3.1.1 Les établissements scolaires – L'importance d'une bonne ambiance sonore

L'objectif premier des établissements scolaires est de transmettre des connaissances aussi bien au niveau intellectuel, cognitif, culturel que social (Lavandier et al., 2003; Drass des Pays de la Loire, 2007; Déoux, 2010; Peng et Jiang, 2016; Sala et Rantala, 2016; Russo et Ruggiero, 2019). Cette transmission se réalise par des voies multiples mais encore aujourd'hui le message oral en est la principale (Lavandier et al., 2003; Yang et Bradley, 2009; Déoux, 2010; Gómez Escobar et Barrigón Morillas, 2015; Mealings et al., 2015; Sala et Rantala, 2016). Environ 60% des activités dans les classes impliquent une communication entre enseignants et élèves ou entre élèves (John et al., 2016). De ce fait, dans les établissements scolaires la gestion des ambiances sonores est primordiale pour une bonne gestion de la qualité d'usage et spécialement en ce qui concerne la transmission et l'intelligibilité de la parole (Yang et Bradley, 2009; Déoux, 2010; Gómez Escobar et Barrigón Morillas, 2015; Levain et al., 2015; Peng et al., 2015; Sala et Rantala, 2016; Russo et Ruggiero, 2019).

Le niveau de bruit trop élevé dans les écoles peut entrainer des difficultés dans **l'apprentissage** comme des retards dans l'acquisition de la langue (écrite ou parlée), des déficits pour la résolution des problèmes ou pour la réalisation des tâches complexes (I.B.G.E. et Laboratoire de Recherche en Environnement, 1999; Lavandier et al., 2003; Vermonden, 2007; Déoux, 2010; Waye et al., 2013). Il a été relevé – avec des enfants de 12 ans - qu'une diminution de 5dB(A) du niveau sonore équivalent peut apporter une augmentation de 13% sur la performance dans la lecture ou les tâches de rappel de mémoire épisodique (Hygge, 2003). En moyenne, une baisse de 5,6 points dans la performance scolaire (épreuves institutionnelles française) a été démontrée pour une augmentation du niveau d'exposition de 10dB(A) (Levain et al., 2015). Par rapport à la parole, du moment que 5 mots ne sont pas bien compris dans une phrase standard de 27 mots, le sens général de la phrase n'est pas compris par les enfants (Vermonden, 2007; Déoux, 2010).

D'un autre côté, une importante présence de bruit, par exemple dû à une mauvaise acoustique du local, conduira les enseignants à élever le ton de leur voix afin d'être bien entendu par les élèves (Clotuche, 2014; Colot et al., 2015). Le fait de forcer sa voix peut engendrer des problèmes de dysphonie pour les enseignants ainsi que de la fatigue vocale. Les conséquences peuvent aller jusqu'à la perte de la voix, principal instrument de leur métier (Clotuche, 2014; Colot et al., 2015; Rozec et Erimée, 2017). Comme les élèves, dès qu'une salle de classe est bruyante, les enseignants ont aussi des difficultés pour entendre et leur concentration faiblit en altérant la performance de l'enseignement (Clotuche, 2014; Rozec et Erimée, 2017). Le bruit peut aussi générer des problèmes dans la qualité de vie des enseignants en ayant des conséquences sur le sommeil, la fatigue, etc. (Rozec et Erimée, 2017). Donc une bonne gestion de l'acoustique du lieu apportera un meilleur apprentissage aux enfants et facilitera la tâche d'enseignement (Déoux, 2010).

Les professionnels du domaine de l'acoustique sont conscients des effets nocifs d'une acoustique inadéquate dans les salles de classe (Russo et Ruggiero, 2019) et de l'importance de l'intelligibilité de la parole. Les difficultés causées par le bruit et le mauvais conditionnement acoustique dans

les milieux éducatifs ont été reconnues et comprises depuis plus de 100 ans (Shield et al., 2015). Au cours des dernières décennies, plusieurs pays ont introduit des lignes directrices de design acoustique pour que les écoles évitent les potentiels problèmes (Shield et al., 2015). D'autres études montrent que souvent la bonne gestion acoustique des salles de classe n'est pas une réalité et que les critères même normatifs ne sont pas respectés. En Finlande par exemple, seule la moitié des salles de classe étudiées (40 classes de 14 établissements différents dans 5 villes différentes) répondaient aux critères normatifs pour le temps de réverbération et aucune ne répondait aux critères acoustiques de Speech Transmission Index (STI) (mesure de l'intelligibilité à la parole) (Sala et Rantala, 2016). Dans 7% des classes les valeurs de bruit étaient proches de zones de danger (80dB) (Sala et Rantala, 2016).

L'importance de la bonne gestion de la qualité acoustique dans les établissements scolaires est encore plus déterminante en raison de la présence d'enfants. À la différence des adultes, les enfants ont une plus haute sensibilité face aux bruits (Waye et al. , 2013). Ils sont encore en phase de développement donc ils sont moins en capacité d'anticiper, de comprendre et de réagir face aux facteurs stressants dus au bruit (Waye et al., 2013). La présence excessive de bruit peut entraîner également plus de difficultés pour décrypter le message chez les enfants que chez les adultes (Déoux, 2010). Ils n'ont pas encore développé toutes les stratégies possibles pour décrypter les messages dans une ambiance bruyante (Déoux, 2010). Toutes ces situations seront plus préjudiciables envers les enfants plus jeunes (Bradley et Sato, 2008; Prodi et al., 2013; Peng et Jiang, 2016). Il a été prouvé que distinguer un message oral dans des environnements bruyants évolue avec l'âge (Bradley et Sato, 2008) et que la capacité auditive ne est pas complètement développée jusqu'à 13-15 ans (Russo et Ruggiero, 2019). La présence de bruits peuvent engendrer également des effets négatifs sur le comportement comme par exemple : la participation réduite, le changement d'humeur, l'inattention chronique, l'agressivité, l'irritabilité, la nervosité, l'agitation, la fatigue et/ou l'agitation psychomotrice (Vermonden, 2007; Décibel VILLES, 2013; Colot et al., 2015; Conseil National du Bruit, 2015; CidB, 2017).

3.1.1.1 Les établissements scolaires étudiés

Depuis le début de cette thèse en 2019, plusieurs établissements ont été contactés, principalement ceux à proximité de Nantes en Pays de la Loire et en Bretagne. Parmi l'ensemble des établissements, nous avons pu accéder à cinq pour la prise de mesures physiques. Sur ces cinq un travail plus approfondi avec l'intégration d'une étude sensible avec adultes et enfants a été réalisée sur les établissements de Bouvron et de Baulon (Figure 11). Dans les établissements de Fégréac et Mouais, les enseignants ont également participé dans la première phase de l'enquête en répondant à un questionnaire sur des paramètres généraux de leurs ressentis dans l'école et leurs classes.

Des 6 classes (4 maternelles, 1 de CP et 1 de CE1) de l'école de Bouvron, les enfants de 4 classes ont participé à plusieurs des activités mises en place pour évaluer et analyser d'un côté l'environnement sonore de l'école et de la classe, et de l'autre, le rôle de la terre crue dans la construction de leurs perceptions. Dans l'école de Baulon, les deux classes présentes dans le bâtiment en terre crue ont participé à l'enquête menée.

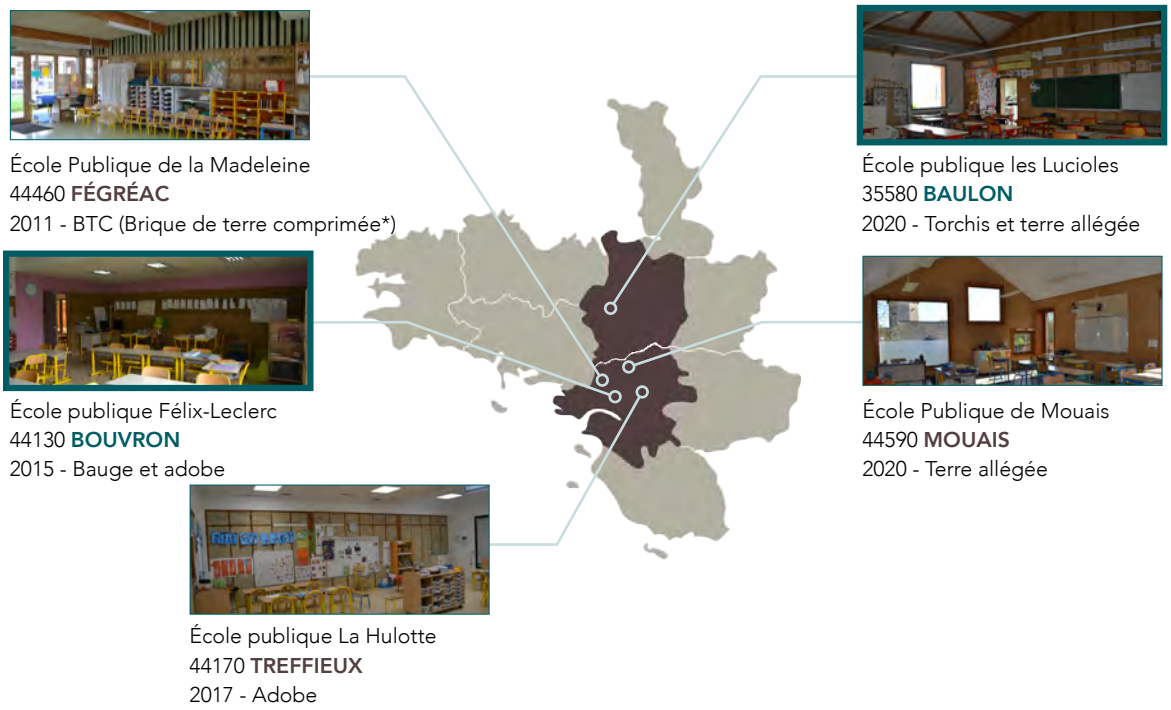


Figure 11 Établissements scolaires étudiés (À Bouvron et Baulon une étude sensible a été réalisée).

3.1.1.1.1 École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44

La commune de Bouvron est située en Loire-Atlantique entre Blain et Savenay et elle a une population d'environ 3100 habitants. L'école de Bouvron est située à l'entrée du bourg du village en venant de Savenay et elle a une capacité de 240 élèves.

Le nouveau bâtiment de maternelle, finalisé en 2015, est conçu par l'atelier Belenfant & Daubas mais sur un processus de conception intégrée où les différents acteurs du projet, y compris les usagers, ont participé. Par le biais de ce processus, les architectes ont pu également introduire l'utilisation de la terre crue issue des travaux de fondation pour la réalisation d'une partie des murs intérieurs. L'intégration de la terre crue était motivée par le « réemploi des ressources disponibles, l'amélioration du confort et la diffusion du savoir-faire (Id.A01-Q1.2) ». Ces éléments ont été bien accueillis par la maîtrise d'ouvrage qui aujourd'hui nous rapporte que : « La terre change tout : rapport tactile, acoustique, thermique, matériau apaisant (Id.M01-Q3.2) ». Ils ont recueilli un « bilan très positif (Id. M01-Q3.3) » de la part des usagers. Le technicien de la mairie nous avançait que « c'est la présence de la terre qui marque le plus, dès la première seconde, c'est presque un choc (Id.M01-Q3.3) ».

En ce qui concerne les espaces, dans ce bâtiment, il y a 4 classes de maternelle (Classe 1, 2, 3 et 4), une classe de CP (Classe 5), une classe de CE1 (Classe 6) et une salle de classe utilisée comme salle de motricité (Classe 7). Dans la partie Nord-Ouest du bâtiment, il y a aussi deux dortoirs et une salle de motricité donnant sur les espaces communs et à la circulation. En face de l'entrée 2 se trouve la bibliothèque (Figure 12). Comme particularité, l'ensemble des classes ont des toilettes et des vestiaires intégrés au sein de la classe. Dans 3 des 4 classes maternelles, il y a une grotte réalisée avec des briques de terre crue (adobes) ; cet espace a été intégré afin d'avoir « quelque chose de plus ramassé où l'enfant pourrait se sentir un peu plus cocooné, tout en étant surveillé bien sûr (Id.E.D01)» (Figure 13).

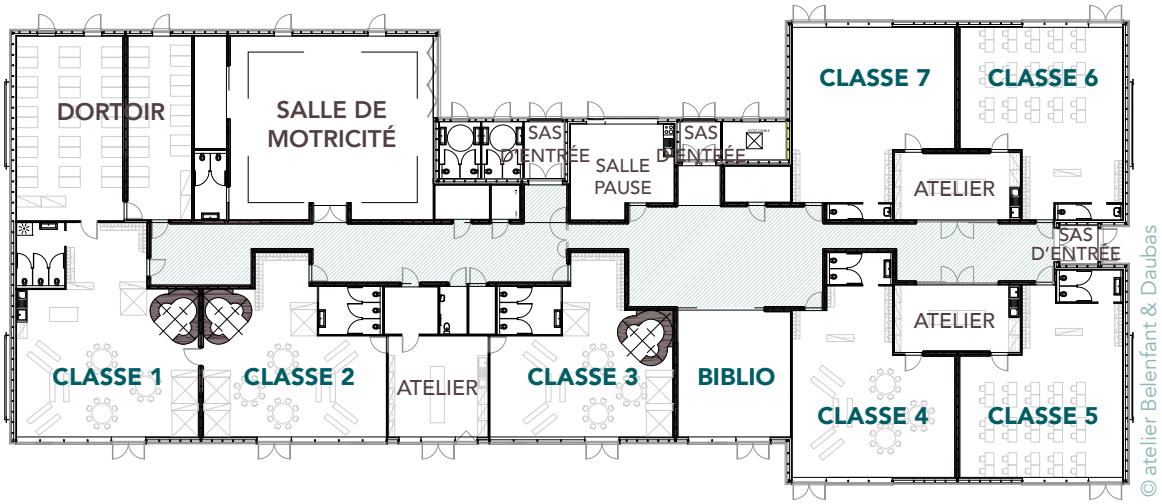


Figure 12 Plan du bâtiment de maternelle et de cycle 1 de l'école de Bouvron.

La terre est utilisée dans des murs de séparation entre classes et entre les classes et la circulation. La technique utilisée est la bauge coffrée pour 2/3 du mur et l'adobe pour la partie haute (Figure 13). Le choix de la technique a été concerté avec l'entreprise « terre crue » sur la base des prototypes réalisés sur place. La partie inférieure du mur en terre a été stabilisée en surface avec de la caséine. Pour la réalisation des murs, un chantier école a été organisé par l'entreprise Makjo et l'entreprise Terre Chaux et décors. Cependant, auparavant les architectes ont posé la question au maître d'ouvrage sur sa préférence entre formation et insertion, et comme l'architecte Loïc Daubas signalait : « … il a choisi la formation dans l'aspect symbolique du fait qu'une école sert aussi à former. Construire une école c'était aussi apporter de la formation (Id.E.A01) ». L'expérience du chantier était également partagée avec les enseignants et les élèves qui, même modestement, avaient participé à la construction du bâtiment en moulant des briques de terre, ou en participant à de petits ateliers de découverte sur la terre crue. Pour l'anecdote l'enseignant de CP nous a confié que les élèves avaient caché des messages secrets dans de petites éprouvettes dans les briques.

Figure 13 Murs en terre et grotte en briques – ©Jean François Mollière.

Concernant la réglementation incendie et sismique, l'incorporation de la terre crue dans le projet a supposé des adaptations particulières. Pour la sismique, une ossature bois au milieu du mur en terre et des systèmes d'accroche entre l'ossature bois et la terre ont été incorporés. Des

doublages intérieurs coupe-feu, bénéficiant d'un PV (procès-verbal), ont été introduits dans les murs en terre crue afin d'obtenir le degré coupe-feu réglementaire. Finalement, compte tenu de la réglementation au moment de la construction « Pour assurer le bâtiment, il a fallu que les murs ne soient par porteurs, juste un parement décoratif (Id.M01-Q5.2) ». En ce qui concerne la réglementation acoustique, l'intégration de la terre crue n'a pas fait l'objet de considérations particulières. Les murs ont été estimés peu absorbants et donc des corrections acoustiques ont été implémentées ailleurs.

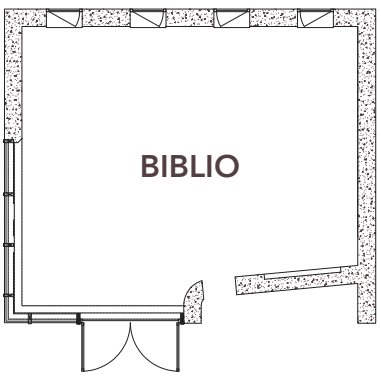
L'intégration de la terre crue a également nécessité une planification spécifique sur le phasage et la coordination avec d'autres corps d'état, principalement pour les temps de séchage de la bauge. Donc le mur a été élevé en deux temps distincts et pris en compte dans la planification du chantier depuis le début avec l'intervention de l'électricien entre les deux levées (Id.A01-Q4.8).

3.1.1.1.2 École publique les Lucioles – Baulon 35

La commune de Baulon est située à 25 km au sud-ouest de Rennes et elle a une population d'environ 2207 habitants. L'école de Baulon est située au bourg du village.

Les bâtiments de maternelles sont relativement récents et adaptés à son usage. En revanche, le cycle 3 de l'école primaire (CM 1 et CM 2) a été installé dans le nouveau bâtiment conçu par le Collectif Faro et finalisé en 2020. Dans ce cas-là, c'est la maîtrise d'ouvrage qui a souhaité intégrer la terre crue dans le projet pour le « Coût faible des matériaux > Terre de Baulon. Confort acoustique (visite école de Bouvron) (Id.M02-Q1.2) ». Les terres utilisées venaient du site ou des abords proches à la construction. La demande d'utiliser la terre a été transmise aux architectes. Après avoir été retenus ils ont accepté la demande mais souligné le besoin de s'appuyer sur l'accompagnement à la maîtrise d'œuvre. Se faire accompagner par des organismes spécialisés terre crue a permis de vaincre les réticences sur l'utilisation de la terre crue par certains corps de métier comme les économistes ou les bureaux d'études (Id.E.A02). La maîtrise d'ouvrage nous a partagé son « Retour positif, avec objectif écologique atteint et une impression de sérénité dans les classes (Id.M02-Q3) ».

Ce nouveau bâtiment est constitué de trois classes élémentaires et d'une salle polyvalente pour la mairie. Pendant le travail d'enquête mené en 2021 seules la classe 1 et la classe 2 étaient utilisées telles quelles. Les nouveaux bâtiments ont également intégré la création d'une nouvelle bibliothèque annexe sous le préau qui comprend l'espace de récréation (Figure 14).



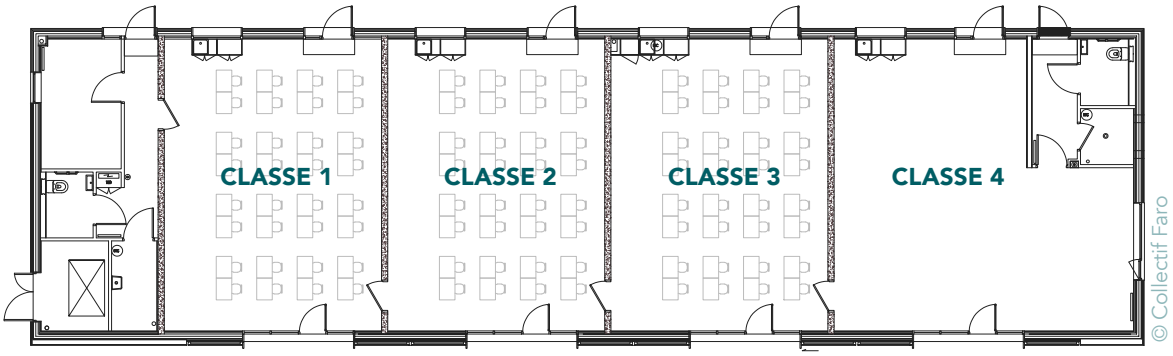


Figure 14 Plan du nouveau bâtiment de l'école de Baulon et la bibliothèque. La classe 4 est utilisée comme salle polyvalente par la commune.

La terre est utilisée pour les murs de refend du nouveau bâtiment des salles de classe. Un mélange de terre et de chanvre a été utilisé pour le remplissage des montants en bois. Comme dans le cas de Bouvron, le choix de la technique de mise en œuvre et les proportions du mélange ont été concertés avec l'entreprise terre crue en base aux prototypes réalisés. Dans le processus de fabrication la terre a été banchée et compactée entre les montants. La densité du mélange est plus proche de la technique du torchis même si le procédé de banchage utilisé est plus commun à la technique de terre allégée. Donc nous pourrions parler d'une variante de torchis coffré. Les murs de refend ont été laissés apparents (Figure 15). Les murs de la nouvelle bibliothèque sont réalisés dans leur intégralité en terre allégée (terre-chanvre, terre-copeaux et une partie en terre-roseaux). Les murs de la bibliothèque ont été enduits avec un mélange terre-massettes de roseaux en extérieur et terre-chaux à l'intérieur pour apporter plus de luminosité (Figure 15). Pour la réalisation des murs, un chantier école a été organisé par la structure « de la matière à l'ouvrage ».

Figure 15 Mur de refend en torchis (classe) et mur en terre allégée (bibliothèque).

La catégorie du bâtiment (Catégorie 5 - 300 personnes) et le choix de ne pas faire de la terre porteuse ni des murs de façades, n'a pas généré de problèmes majeurs pour le bureau de contrôle ou bureau fluides (Id.E.A02). L'unique discussion a porté autour de la bibliothèque, car le volume n'est pas « isolé » (40cm de terre allégée mais non prise en compte dans les calculs de la Règlementation Thermique). Donc pour le bureau de fluides c'était compliqué de valider (Id.E.A02). Cependant, étant donné qu'il s'agit d'un petit volume, elle a pu être définie comme une salle sans fonction propre (salle multi usage) et par conséquent, pas affectée par la réglementation thermique (Id.E.A02).

3.1.1.1.3 École Publique de la Madeleine – Fégréac 44

La commune de Fégréac est située à 9km au Sud de Redon et elle a une population d'environ 2500 habitants. L'école de Fégréac est située au Sud du village à proximité de la chapelle de la Madelaine. Elle accueille environ 130 enfants.

La nouvelle école maternelle finalisée en 2011 est implantée autour du verger existant où il y avait un ancien atelier de menuiserie, une ancienne maison de forgeron et leurs jardins en friche. L'ancienne menuiserie restaurée est devenue la salle de motricité et les murs en pierre des constructions détruites entourant l'espace de jeux des enfants (Boucher, 2012). Autour du verger, un nouveau bâtiment avec 3 salles de classe et deux dortoirs est construit (Figure 16). Le projet a été conçu par l'atelier Belenfant & Daubas qui a préconisé l'utilisation de la terre crue à la maîtrise d'ouvrage. Cette fois, en plus du confort thermique, le choix a été soutenu sur le patrimoine en terre locale. Lors de l'entretien avec les architectes, ceux-ci nous expliquaient : « Notamment pour Fégréac, c'était dans les premières réflexions avec la commune. Est-ce qu'il y a de la construction en terre sur le territoire ? C'est-à-dire, ils nous ont montré, presque des bourrines, des abris d'animaux le long de la Vilaine. Il y avait même une maison en terre qui de mémoire n'était pas si loin que ça de l'école et du coup on s'est appuyés là-dessus. On n'invente pas quelque chose que vous ne connaissez pas, on s'inspire d'un dispositif qui est déjà présent sur la commune et ça nous aide car ils n'ont pas le sentiment qu'ils sont embarqués sur un truc farfelu, un truc propre à un archi mais plus sur l'idée de quelque chose qui continue. Un peu différemment mais en s'appuyant quand même sur des bases (Id.E.A03) ».

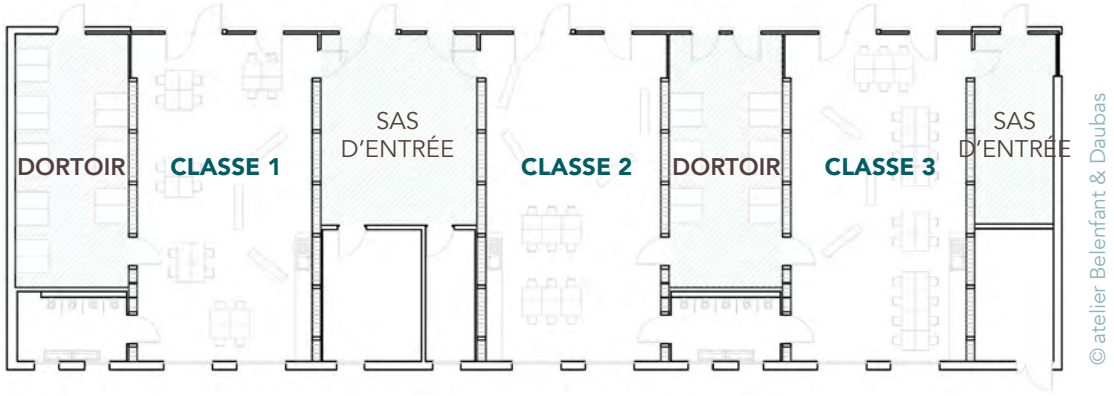


Figure 16 Plan du nouveau bâtiment de l'école de Fégréac.

Les murs de refend sont réalisés avec une structure en bois, remplis avec des briques de terre comprimée (BTC) en terre crue (avec la terre du site) et stabilisés à la chaux (4-5%). La fabrication sur place des briques et leur mise en œuvre ont été réalisées par l'association d'insertion Aire encadrée par l'entreprise Scop Tierrhabitat (Figure 17). Le choix de travailler avec des entreprises d'insertion répond à une logique du territoire mais permet aussi la diffusion du savoir-faire (Id.E.A03). La confection des briques de terre a nécessité une surface de fabrication et de stockage sur site de BTC. Pour cela un bâtiment existant a été utilisé avant sa démolition (Id.A03-Q3.5).

L'incorporation de la terre crue n'a engendré aucune difficulté réglementaire car c'était du remplissage non porteur et seulement des murs de refends. Par rapport à l'acoustique, les murs n'étaient pas des murs séparatifs entre classes donc les réglementations étaient moins exigeantes.

Figure 17 Murs de refend en ossature bois et remplissage BTC (première photo ©Le moniteur).

3.1.1.1.4 École Publique de Mouais –Mouais 44

La commune de Mouais est située entre Nantes et Rennes, aux alentours de Derval et elle a une population d'environ 380 habitants. L'école de Mouais est située dans le bourg du village.

La nouvelle école maternelle finalisée en 2021 et conçue par LOOM Architecture est composée d'une salle de classe élémentaire et une deuxième classe à destination de la maternelle. La salle de classe de maternelle dispose également d'un petit dortoir (Figure 18). La salle de motricité, les bureaux et le périscolaire ont été intégrés dans le bâtiment existant.

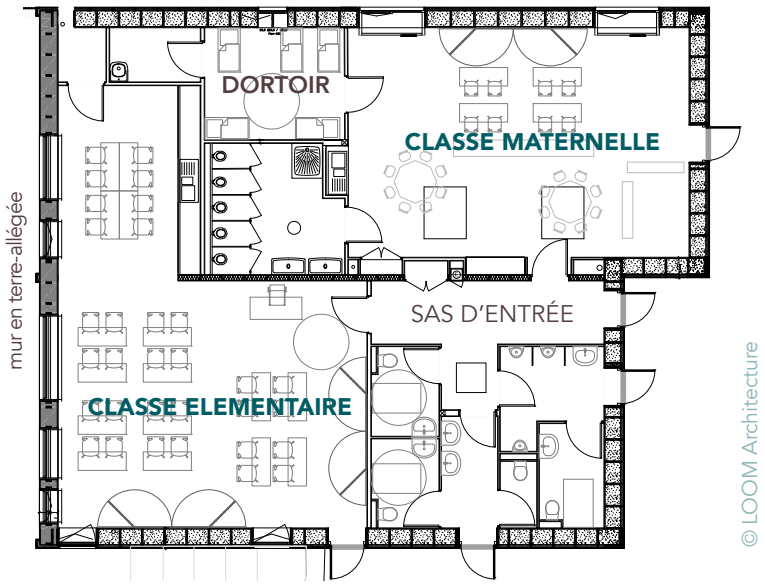


Figure 18 Plan du nouveau bâtiment de l'école de Mouais.

Le bâtiment a été conçu avec une structure en bois, une isolation en bottes de paille pour l'ensemble des façades sauf la façade sud qui a été réalisée en terre allégée. Un enduit en terre crue recouvre l'ensemble des parois en paille et terre-allégée côté intérieur. L'extérieur des murs des façades est un bardage en bois de la commune. Dans ce cas d'étude, le choix de la terre a été préconisé par la mairie suite à une bonne retour d'expérience de la salle polyvalente de la commune conçu par « mcm architectes » où la terre crue avait été utilisée. L'ensemble des enduits et le mur en terre allégée ont été réalisés en chantier d'insertion et en chantier participatif encadré par la structure « de la matière à l'ouvrage ».

Figure 19 Murs en terre allégée et enduit terre sur supports bottes de paille.

Les architectes ont fait appel à un acousticien pour la gestion de l'acoustique interne. Dans la mission demandée sur la préconisation des traitements acoustiques, l'incorporation de la terre crue n'a pas engendré de difficulté majeure car « la terre n'a pas fait l'objet d'une considération particulière, les murs ayant été considérés comme peu absorbants, ex : doublage plâtre) (Id.04B-Q1.2) ».

3.1.1.1.5 École publique La Hulotte – Treffieux

La commune de Treffieux est située à 50km au Nord de Nantes et elle a une population d'environ 900 habitants. L'école de Treffieux est située dans le bourg du village.

Le nouveau bâtiment conçu par l'agence d'architecture Lovel et finalisé en 2018, accueille trois classes. Les murs intérieurs séparatifs entre les classes et la circulation ont été réalisés avec des briques de terre dans une ossature. La fabrication sur place des briques et leur mise en œuvre ont été réalisés par l'association d'insertion AIRES mais également par des bénévoles de l'association EPAT (association pour une École Publique à Treffieux) (Figure 20).

Figure 20 Murs ossature bois et remplissage briques (deuxième photo © Lovel architecture).

3.1.2 L'impact du changement de matérialité sur l'ambiance perçue

L'étude dans les écoles nous permettra d'avoir une approche plus riche que par exemple si des maisons individuelles avaient été étudiées. Cependant, quel est le vrai apport de la terre crue d'un point de vue physique ? Joue-t-elle vraiment un rôle acoustique significatif ? Serions-nous arrivés aux mêmes valeurs avec des plaques en plâtre ou d'autres matériaux ? En ce qui concerne les usagers, la présence de la terre crue a-t-elle vraiment influencé leurs ressentis ? Idéalement, pour mieux étudier l'influence de la terre crue dans les ambiances, nous aurions dû avoir une même

école avec terre et sans terre. Ce cas de figure est très compliqué à rencontrer. Mais pour compléter notre étude sur les écoles, l'enrichir et mieux comprendre les retours des usagers, nous avons eu la possibilité de travailler sur deux pièces neutres avec des matériaux conventionnels qui ont pu être modifiés avec l'incorporation d'une paroi en terre. Cette expérience nous a offert la possibilité d'étudier un même environnement avec et sans terre crue.

Des comparaisons d'un même environnement avec et sans terre crue n'ont pas été retrouvées dans la révision bibliographique réalisée. Cependant, l'influence des matériaux naturels dans la qualité des ambiances intérieures, a été mise en évidence avec le bois. Des études montrent que la présence du bois peut renforcer le lien avec la nature et en conséquence réduire le niveau de stress (Jafarian et al., 2018; Kotradyova et al., 2019; Lipovac et Burnard, 2021). Donc, il concevable de penser que la présence de la terre crue peut également favoriser la qualité d'usage. Les méthodologies utilisées pour vérifier ces influences sont diverses ; une bonne partie des enquêtes sont basées sur la comparaison des photographies avec plus ou moins la présence de bois (Nyrud et al., 2010; Li et al., 2021). D'autres ont mesuré principalement des facteurs quantitatifs et qualitatifs des phénomènes physiques comme la lumière, les températures des couleurs, les textures, les niveaux de bruit de fond, l'humidité ou le CO^2 (Jafarian et al., 2016; Watchman et al., 2017). D'autres études ont mesuré des réponses cognitives comme l'activité du cerveau, la pression cardiaque ou l'analyse des expressions faciales (Kotradyova et al., 2019). Même si plus d'études devront être menées, il est encourageant d'observer les effets bénéfiques de la présence du bois dans les environnements construits et sur les usagers (Lipovac et Burnard, 2021) car un scénario similaire pourrait se dessiner pour la terre crue.

3.1.2.1 Salles d'expérimentation

L'expérience mise en place sur la comparaison d'un même espace avec et sans terre crue est menée dans deux contextes différents : un premier à Grenoble (France) et un deuxième à Barcelone (Espagne)[19]. Pour chaque expérience une mise en œuvre différente en terre crue est réalisée ; un mur de briques de terre crue (adobe) à Grenoble et un enduit terre à Barcelone.

3.1.2.1.1 Cas d'étude – Grenoble

L'expérience est réalisée dans le bâtiment n°11, place André Charpin, dans une cité ouvrière dans le quartier de l'Abbaye à Grenoble. La pièce utilisée pour l'expérience a une surface d'environ 23m^2 et un volume d'environ 62,5m^3. Il s'agit d'une salle de réunion dans les locaux du Collectif Voisin qui s'est installé avec le Grand Collectif[20], dans des bâtiments cédés par la mairie pour une durée de 3 ans dans le contexte d'un projet d'urbanisme transitoire (Figure 21).

---

[19] L'expérience sur la comparaison d'un même espace avec et sans terre crue et surtout le cas d'étude de Grenoble a été réalisée en collaboration avec Nuria Álvarez Coll, doctorante du laboratoire CRESSON (Intitulé de sa thèse : Concevoir à l'état brut, la fonction tactile et les matières premières pour contextualiser l'architecture). Donc il faut signaler que certaines réflexions comme les conclusions de cette étude sont le résultat d'une étroite collaboration entre nos deux travaux de thèse.

Le cas d'étude de Grenoble a été à la fois valorisé sous forme de vidéo documentaire réalisée par Jérémie Lamouroux. La vidéo est accessible sur le lien suivant : https://vimeo.com/759081672

[20] Le collectif regroupe comédiennes, architectes, chanteurs, réalisatrices de films documentaires, paysagistes, musiciens, techniciennes, auteurs... Il est composé de cinq équipes réunies pour développer un projet culturel et artistique de quartier. Plus d'information : www.legrandcollectif.org

Figure 21 Cas d'étude Grenoble.

Pour cette expérience, un mur en plaques de plâtre et papier peint de 3,70m x 2,72m est habillé avec des briques de terre crue de 23x11cm et 5 cm d'épaisseur (Figure 21). L'habillage a 15 assises de briques arrangées en panneresses. La matière première des briques, la terre, est extraite dans la cour en face du bâtiment et mélangée avec une terre locale plus argileuse (terre de Comel). La proportion de chaque terre est de deux volumes de terre de l'Abbaye pour un volume de terre de Comel. La partie haute du mur est finalisée par un enduit avec le dosage suivant : 1 volume de terre pour 2 volumes de sable. Le reste de la salle n'a subi aucune modification.

Des galets présents dans la terre excavée sur site ont été introduits entre certaines lignes de briques (Figure 22). Afin de reproduire au maximum la pédologie du terrain et sous l'inspiration portée par le travail de Dimitris Pikionis (architecte grec, 1887-1968) (García Sánchez, 2011), étudié par Nuria Álvarez Coll.

Figure 22 L'avant et l'après de la finition de la salle.

Le mur en briques de terre crue (des adobes) est réalisé par des habitants du quartier, des étudiants, des Grenoblois, des chercheurs, etc. de milieux sociaux et culturels différents. L'expérience débute fin septembre 2021 avec le premier atelier de fabrication de briques de terre crue et prend fin en décembre 2021 avec la réalisation du mur et les entretiens. Les participants réalisent le processus complet du chantier : extraction, préparation, fabrication et mise en œuvre (Figure 23).

Figure 23 Chantier Grenoble.

3.1.2.1.2 Cas d'étude – Barcelone

La deuxième expérience est réalisée dans un bureau du département de matériaux de l'École Polytechnique Supérieure d'édification de Barcelone (EPSEB – Université Polytechnique Catalogne). Le bureau est actuellement utilisé par des doctorants et techniciens du laboratoire et il a une surface d'environ 35.65m^2 et un volume d'environ 79m^3 (Figure 24).

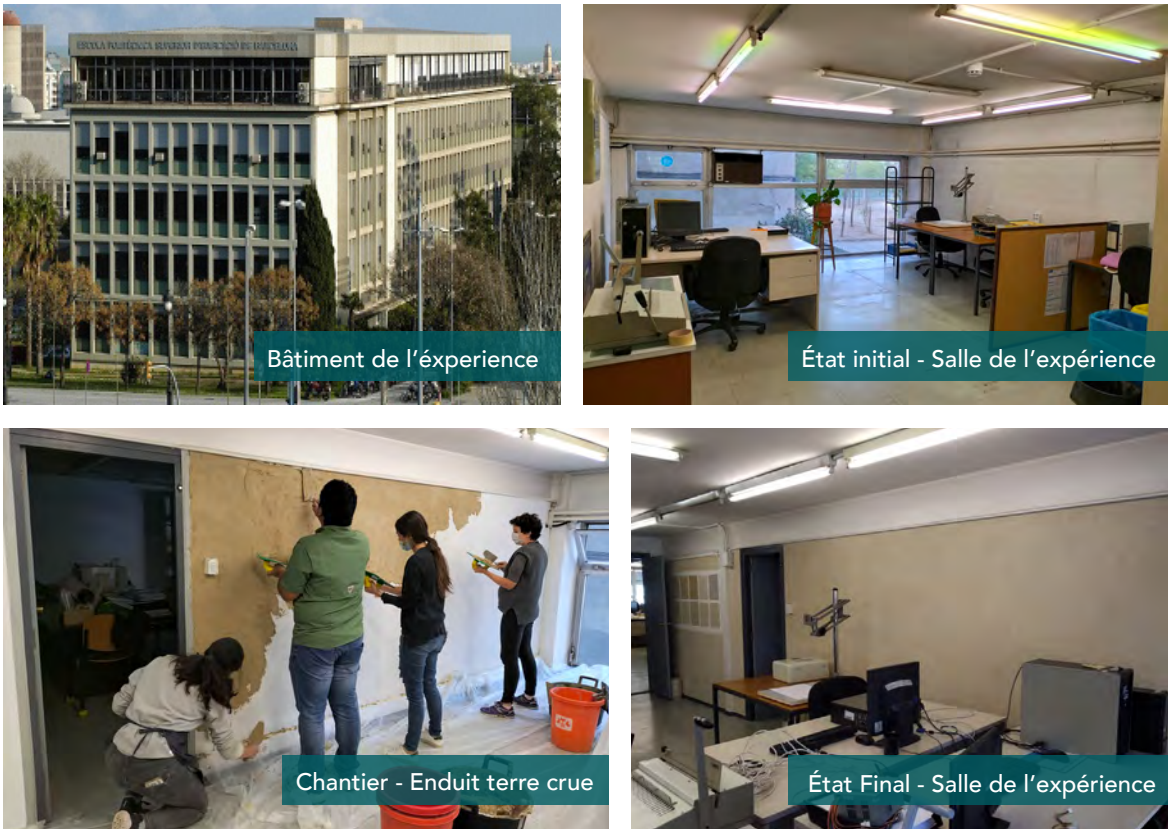


Figure 24 Cas d'études Barcelone.

Dans ce cas concret, un mur en plaques de plâtre avec une finition gouttelée[21] de 12,60m² est enduit avec un enduit terre-sable-paille de 3 à 5mm (Figure 25). Le dosage, en volume, utilisé entre la proportion de terre et de sable est la suivante : 1 volume de terre – ¾ volume de sable. La proportion de fibre de paille est de 1/4 sur le volume de terre. La terre utilisée pour l'enduit a est achetée à un producteur local.

Figure 25 L'avant et l'après de la finition de la salle.

Dans ce cas d'étude, l'enduit en terre crue est mis en œuvre par des étudiants de licence et master de l'EPSEB. À la différence de Grenoble, le chantier a lieu sur une journée avec un travail préparatoire de la surface à enduire la veille (Figure 26). Cependant, des essais de dosage sont réalisés les semaines précédentes afin de choisir la couleur et les proportions de chaque composant (terre, sable et fibre) (Figure 27).

Figure 26 Chantier Barcelone.

Figure 27 Essais de dosage.

[21] C'est une technique consistant à étaler de la peinture à trempe plus épaisse que d'habitude, de telle sorte que lors de son application apparaissent des gouttelettes ou des grumeaux de matériau qui produisent une surface finale de finition grumeleuse.

3.2 Approche physique (données objectives)

3.2.1 L'acoustique architecturale – Fondements théoriques

L'**acoustique architecturale** est une partie de l'acoustique qui cherche à favoriser l'écoute ou, inversement, apporter une protection contre le bruit et les vibrations quand ceux-ci sont une cause de gêne dans un espace bâti (Hamayon, 2014). Il est important de signaler son lien important avec la subjectivité et même s'il existe des normes à respecter, le consensus sur les bonnes caractéristiques d'une salle au niveau acoustique parait plus compliqué à établir (Cabrera Ortiz, 2010).

Selon l'usage, les caractéristiques acoustiques recherchées sont différentes et en conséquence différentes conceptions architecturales peuvent être proposées. Il y a deux concepts principaux sur lesquels l'acoustique architecturale est axée: l'**isolation acoustique** et l'**acoustique interne** (Sola Pérez, 2010; Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017).

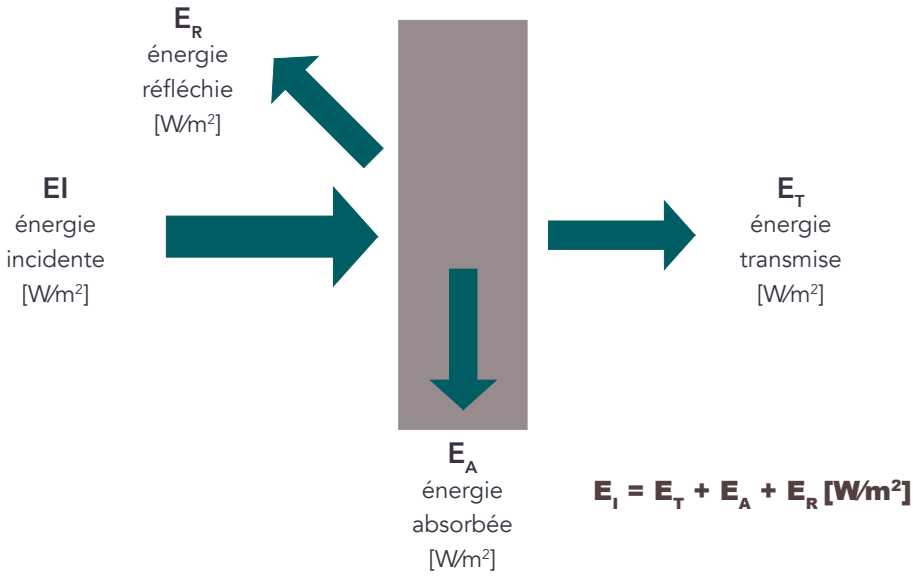


Figure 28 Distribution de l'énergie (Avilés López et Perera Martín, 2017).

Pour comprendre les deux concepts, il est important d'analyser la répartition de l'énergie quand une onde sonore rencontre une surface (Figure 28). Dans cette rencontre, une partie de l'énergie incidente passe ou arrive à une autre ambiance ou un autre local (Énergie transmise (E_T)), une autre partie de l'énergie est transformée en autres formes d'énergie (par exemple en énergie calorifique) ainsi qu'atténuée ou absorbée pendant sa propagation (Énergie absorbée (E_A)) et enfin dans une plus ou moins grande mesure (selon les propriétés des matériaux en surface) une partie de l'énergie incidente retourne vers le côté de provenance de l'onde sonore (Énergie réfléchie (E_R)). Donc l'énergie incidente de l'onde sonore sur une paroi ou une surface correspondra à l'addition de l'ensemble de ces énergies exposées (Équation [2]) (Sola Pérez, 2010; Redonda Fernández, 2013; Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017).

$$E_I = E_T + E_A + E_R \text{ [W/m}^2\text{]} \qquad [2]$$

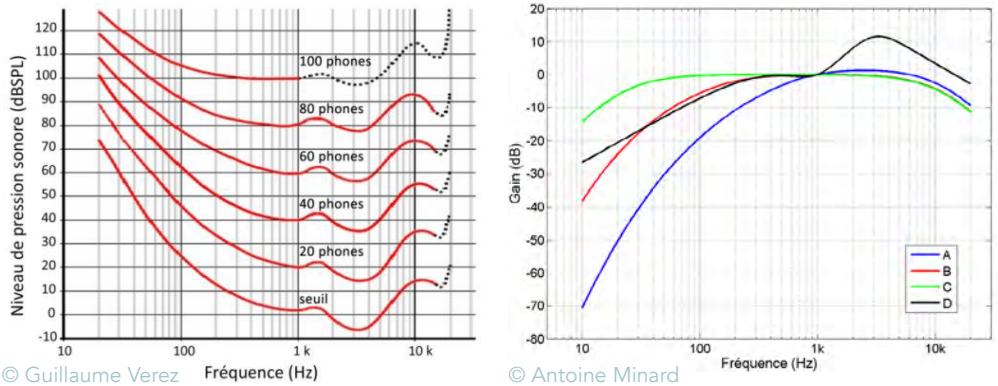
E_I = énergie incidente [W/m²] E_T = énergie transmise [W/m²]

E_A = énergie absorbée [W/m²] E_R = énergie réfléchie [W/m²]

3.2.1.1 Isolation acoustique

L'isolation acoustique correspond aux moyens utilisés pour séparer, contrôler ou protéger les conditions sonores d'un environnement de celles qui existent dans un autre. Le but est de réduire les niveaux d'énergie acoustique transmise entre différents environnements et assurer une bonne habitabilité (Carrascal et Romero Fernández, 2005; Redonda Fernández, 2013; Glé, 2014; Hamayon, 2014; Saint-Gobain, 2016; Avilés López et Perera Martín, 2017).

La sensibilité du système d'audition n'est pas le même pour toutes les fréquences. Pour les fréquences graves l'oreille a une sensibilité mineure, pour les fréquences moyennes (parole humaine) ou les fréquences aigües la sensibilité est majeure. Entre 500Hz et 5000Hz se trouvent les fréquences auxquelles nous sommes plus sensibles (Hamayon, 2014). Cette variation de sensibilité du système d'audition ont fait apparaître dès 1930, sous l'impulsion de Fletcher et Munson, des courbes d'égale sensation sonore (courbes isosoniques) (Figure 29) (Hamayon, 2014).



© Guillaume Verez © Antoine Minard

Figure 29 Courbe isosoniques (à gauche) et courbes de pondération (à droite).

La sensation auditive va dépendre principalement de l'énergie sonore (intensité) et de la fréquence, mais le fait d'avoir une sensibilité différente suivant la fréquence fait qu'un même niveau d'intensité peut être perçu différemment. Ce fait connu a été pris en considération avec le développement des courbes de pondération fréquentielle, à appliquer sur les mesures physiques afin d'approcher la mesure à la réalité ressentie par l'oreille humaine (Figure 29) (Hamayon, 2014). Il existe plusieurs courbes de pondération mais la plus utilisée et la plus adaptée à l'ouïe est la courbe de pondération A (Figure 29) (Avilés López et Perera Martín, 2017).

Cependant, l'oreille humaine ne perçoit pas le son de manière linéaire et par exemple une variation de 3dB sera à peine perceptible, même si une variation de 3dB signifie une réduction ou une augmentation de 50% de l'énergie sonore (Reardon and Australian Greenhouse Office, 2010). Dans la Tableau 4 des références sur la perception subjective de l'énergie sonore sont exposées.

Réduction en dB	% énergie sonore	Perception subjective
3	50	À peine perceptible
4-5	70	Significatif
6	75	Le son semble être réduit d'environ 1/4
7-9	87	Réduction importante
10	90	Le son semble être inférieur à la moitié du son original

Tableau 4 Appréciation subjective de la réduction du niveau sonore (dB) (Reardon and Australian Greenhouse Office, 2010).

3.2.1.1.1 Modes de transmission de l'énergie

La transmission de l'énergie acoustique d'un environnement à un autre peut être produit suite à l'activation d'une source sonore dans un environnement autre que celui où la réception est réalisée. La source peut être génératrice d'un son ou bruit aérien (par exemple une conversation) mais aussi être le résultat d'une force comme un impact ou un choc (par exemple les pas d'une personne à l'étage supérieur). Dans ce dernier cas le niveau d'énergie acoustique produit est transmis dans un premier temps par la vibration d'un élément constructif puis par l'air. Suite à la mise en vibration de l'élément constructif, l'énergie acoustique continue son chemin par l'intérieur de l'élément. Une fois que l'énergie acoustique atteint la surface en contact avec l'environnement de réception, celle-ci se propage par le milieu (l'air) jusqu'à atteindre le récepteur (Figure 30) (Möser, 2009).

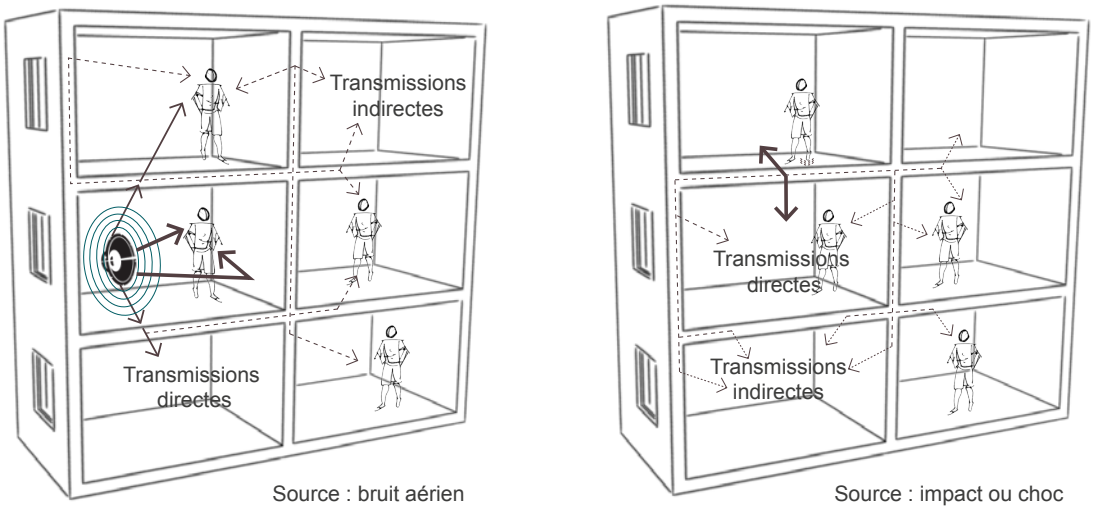


Figure 30 Génération et distribution des bruits dans les bâtiments (Saint-Gobain 2016).

La transmission de l'énergie des bruits entre deux environnements dans le bâtiment peut suivre différents chemins (Figure 31). Elle peut être transmise par le passage de l'énergie directement par l'élément qui sépare les deux environnements (**Transmissions directes**) (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017). Cette transmission va être dépendante de la performance de l'élément séparatif (caractérisée par l'indice d'affaiblissement acoustique (R)) et la surface de l'élément (Hamayon, 2014). La transmission peut aussi se réaliser à partir des éléments constructifs liés à l'élément principal de séparation des deux environnements (**Transmission latérales**) (Hamayon, 2014). Les transmissions latérales dépendent principalement de l'indice d'affaiblissement acoustique (R) et des masses surfaciques des éléments par lesquelles l'énergie acoustique se propage. Les défauts des éléments constructifs ou de mise en œuvre ainsi que divers discontinuités dus par exemple au passage de réseaux peuvent aussi générer certaines transmissions d'énergie acoustique entre différents environnements, ces types de transmission sont connus comme transmissions parasites (Hamayon, 2014).

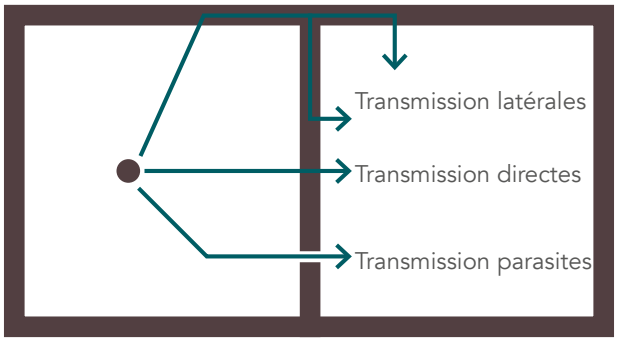


Figure 31 Transmission de l'énergie des bruits entre deux environnements (Hamayon, 2014).

La différence arithmétique des niveaux de pression entre deux environnements correspond à l'isolement acoustique brut (Équation [3] (AFNOR, 2014)). Dans cette valeur, les corrections relatives aux conditions acoustiques du local récepteur ne sont pas prises en compte (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017).

$$D_b = L_1 - L_2 \ [dB] \qquad [3]$$

L_1 = niveau de pression acoustique émis [dB]

L_2 = niveau de pression acoustique reçu [dB]

L'isolement acoustique est conditionné principalement par les différents types de transmissions, le volume de la pièce de réception et l'aire d'absorption équivalent de la pièce d'émission (Équation [4] et [5]) (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017).

De même, des corrections basées sur l'aire d'absorption acoustique du local récepteur peuvent être calculées avec l'équation [4] D_n isolement acoustique normalisé (AFNOR, 2014). Cette équation permet de prendre en compte les modifications possibles du niveau de pression dans le local de réception en fonction de ses caractéristiques d'absorption (Avilés López et Perera Martín, 2017).

$$D_n = L_1 - L_2 - 10log\left(\frac{A_2}{A_0}\right) \text{[dB] ou } D_n = R' + 10log\left(\frac{10}{S}\right) \text{[dB]} \qquad [4]$$

A_0 = aire d'absorption acoustique de référence [m²]

A_2 = aire d'absorption acoustique du local de réception [m²]

S = surface de l'élément de séparation entre les deux locaux [m²]

$$A_2 = \frac{0{,}16 \cdot V}{T_2} \qquad [5]$$

V= volume de la salle [m³]

T_2 = Temps de réverbération [secondes]

Il est récurrent d'utiliser le temps de réverbération comme facteur correcteur afin de simplifier l'expression (Équation [6] (AFNOR, 2014)). Cette valeur est obtenue directement avec des mesures in situ au contraire de l'aire d'absorption acoustique (Avilés López et Perera Martín, 2017).

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10log\left(\frac{T_2}{T_0}\right) \text{[dB] ou } D_{nT} = R' + 10log\left(\frac{0{,}32 \cdot V_2}{S}\right) \text{[dB]} \qquad [6]$$

T_0 = temps de réverbération de référence (0,5 secondes pour toutes les fréquences)

T_2 = temps de réverbération du local de réception [secondes]

S = surface de l'élément de séparation entre les deux locaux [m²]

V_2 = Volume du local de réception

3.2.1.1.2 L'indice d'affaiblissement acoustique (R)

Toute paroi ou élément constructif peut transmettre des sons (Hamayon, 2014). L'aptitude à atténuer la transmission du son entre deux environnements pourra être plus ou moins importante (Hamayon, 2014). Celle-ci sera caractérisée par l'indice d'affaiblissement acoustique (R) (Équation [7]) (Hamayon, 2014).

$$R = 10\log\frac{1}{\tau}\ [dB] \text{ ou } R' = 10\log\frac{W_1}{W_2}\ [dB] \quad [7]$$

$$\text{où } \tau = E_T/E_I \quad [8]$$

E_I = énergie incidente [W/m^2]

E_T = énergie transmise [W/m^2]

W_1 = puissance acoustique incidente [W/m^2]

W_2 = puissance acoustique transmise [W/m^2]

L'indice R caractérise l'isolation qu'apporte uniquement un élément (passage du son direct). Il est déterminé en conditions de laboratoire en l'absence de toute autre transmission latérale ou parasites et pour différentes bandes de fréquences (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017). Plus petit est l'indice R plus importantes sont les transmissions directes (Hamayon, 2014).

L'indice R peut aussi être calculé et mesuré en laboratoire avec l'équation [9], en éliminant les transmission d'énergie des parois communes aux locaux d'expérimentation (Delebecque et Romagnoli, 1975) (Figure 32).

$$R = L_1 - L_2 + log\frac{S}{A_2}\ [dB] \quad [9]$$

L_1 = niveau de pression dans le local d'émission [dB]

L_2 = niveau de pression dans le local de réception [dB]

S = surface de la paroi expérimentée (échantillon) [m^2]

A_2 = aire d'absorption équivalente de local de réception [m^2]

$$A_2 = \frac{0{,}16 \cdot V}{T_2} \quad [10]$$

V= volume de la salle [m^3]

T_2 = Temps de réverbération [secondes]

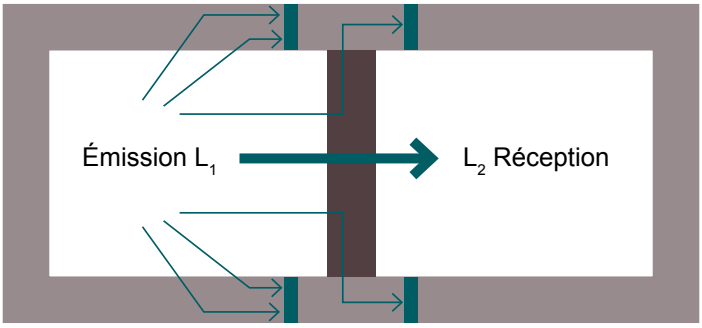


Figure 32 Local d'expérimentation pour calcul de R (Delebecque et Romagnoli, 1975).

Une fois l'élément positionné dans une construction, l'isolation acoustique dépendra aussi de la perte d'énergie sonore par d'autres éléments (transmission indirecte). Dans ce cas-là la différence entre les niveaux sonores moyens (L_1-L_2) prend en compte l'énergie perdue par la voie directe mais

aussi par l'indirecte. Même s'il est possible de calculer cet indice comme l'indice d'affaiblissement (R), la grandeur R' inclut le qualificatif "apparent" dans sa définition et il sera obtenu in situ (Avilés López et Perera Martín, 2017).

Dans les deux cas précédents, les indices sont donnés en fonction de la fréquence. Donc pour chaque bande de fréquence il y a une valeur. Le travail avec autant de valeurs peut devenir, parfois, compliqué. À ce propos, les indices globaux ont été développés. Ils sont associés à un type de bruit normalisé, comme peut être le bruit rose, le bruit de trafic, etc. Son obtention peut être réalisé principalement par méthodes de comparaisons ou par méthodes de pondération (Avilés López et Perera Martín, 2017).

La méthode de comparaison utilisée couramment est celle décrite par la norme NF EN ISO 717-1 Mai 2013 où la courbe d'isolation obtenue en fonction de la fréquence est comparée à une courbe type donnée (Avilés López et Perera Martín, 2017). Ceci permet de convertir les valeurs d'isolement en fonction de la fréquence en une valeur unique (R_w, R'_w) (AFNOR, 2013). Dans les méthodes de pondération la courbe d'isolation obtenue en fonction de la fréquence est pondérée à partir de son spectre (Avilés López et Perera Martín, 2017). À cet effet l'équation [11] est employée, elle permet d'additionner arithmétiquement au niveau de chaque bande de fréquence la valeur de pondération correspondant à la fréquence et après additionné logarithmiquement la valeur obtenue dans toutes les bandes (AFNOR, 2013; Avilés López et Perera Martín, 2017). Donc par exemple, en partant de l'indice de l'élément constructif (R) et en utilisant le spectre de référence du bruit rose (pondération A), l'indice global obtenu pour l'élément constructif est R_A (Avilés López et Perera Martín, 2017).

$$X_{Aj} = -10log\left(\sum 10^{\frac{(L_{i,j}-X_i)}{10}}\right) \text{ [dB]} \quad [11]$$

i = est l'indice des bandes de tiers d'octave de 100Hz à 3150Hz ou des bandes d'octave de 125Hz à 2000Hz

$L_{i,j}$ = sont les niveaux donnés dans la partie 4.3 de la norme NF EN ISO 717-1 :2003 à la fréquence i pour le spectre j

X_i = l'indice d'affaiblissement acoustique R_i, ou l'indice d'affaiblissement acoustique apparent R_{i}, ou l'isolement acoustique, $D_{n,i}$, ou l'isolement acoustique normalisé, $D_{nT,i}$, à la fréquence de mesurage i, donnés avec une décimale.

$$R_W\,(C;\,C_{tr})[dB] \quad [12]$$

$$R_A = RW + C\,[dB] \quad [13]$$

$$R_{A,tr} = R_W + C_{tr}\,[dB] \quad [15]$$

3.2.1.1.3 Systèmes constructifs pour l'isolation – Simple et double parois

La protection face aux bruits aériens peut être abordée avec différents éléments et/ou systèmes constructifs composés d'une ou plusieurs parois homogènes ou pas (Möser, 2009; Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017).

Dans le cas des éléments constructifs d'une seule paroi - composés d'une ou plusieurs couches à condition qu'elles soient unies entre elles et que ses deux faces extérieures se déplacent comme une

seule - la réponse en tant qu'élément isolant est décrit à partir de l'indice de réduction acoustique au bruit aérien (R) déterminé en laboratoire (Avilés López et Perera Martín, 2017). L'indice varie en fonction de la fréquence (Figure 33) (Avilés López et Perera Martín, 2017).

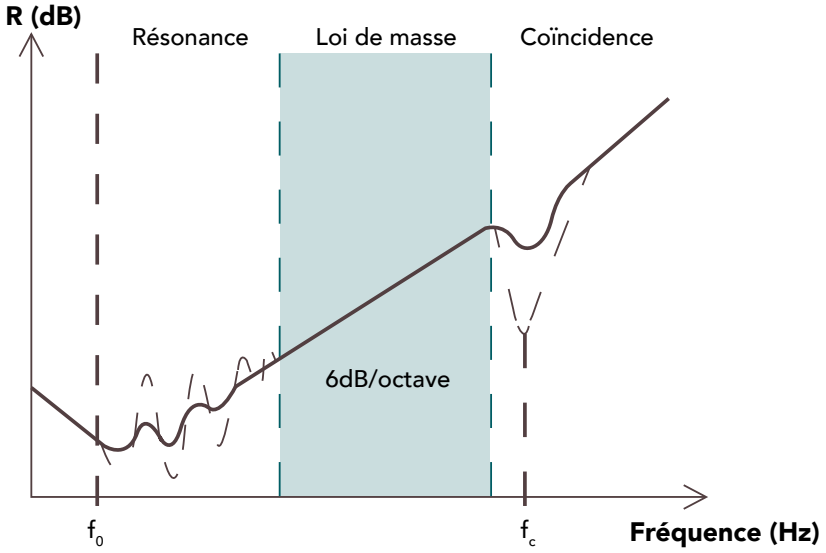


Figure 33 Indice de réduction acoustique d'une paroi simple (Avilés López et Perera Martín, 2017).

De façon générale, l'isolation est plus importante pour des hautes fréquences que pour des basses (Figure 33). Il y a deux fréquences où l'isolation diminue considérablement (Figure 33) : la fréquence propre (équation [15]) et la fréquence critique (équation [16]). Dans ces fréquences les systèmes ont plus de facilité à suivre une certaine vibration (résonance). Ces fréquences sont propres à chaque système ou élément constructif (Avilés López et Perera Martín, 2017).

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{s}{m'}}\ [\mathrm{Hz}] \qquad [15]$$

s = la rigidité de la paroi par la surface

m'= la masse de l'élément par la surface [kg/m^2]

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi}\sqrt{\frac{m'}{B}} = \frac{c^2}{2\pi d}\sqrt{\frac{12\rho(1-\nu^2)}{E}} = \frac{c^2}{1{,}8\,c_L h}\ [\mathrm{Hz}] \qquad [16]$$

c = vitesse du son dans l'air

B = la rigidité dynamique de l'élément par le large

ρ = la densité du matériau de l'élément

ν= le coefficient Poisson

E = le module de Young

c_L = la vitesse des ondes longitudinales

h= l'épaisseur de l'élément

La fréquence critique correspond à la fréquence à laquelle se produit une coïncidence par rapport à la fréquence émise et la fréquence de résonance de la paroi. La fréquence critique est inversement proportionnelle à l'épaisseur de l'élément. Donc pour un même matériau plus important est son épaisseur et plus petite est la fréquence critique. Elle dépendra principalement de la masse et de la rigidité de l'élément (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017).

La capacité d'isoler l'élément est engagée si la fréquence de l'onde incidente correspond avec une de ces fréquences (Avilés López et Perera Martín, 2017). Il se produit un phénomène de résonance qui augmente la transmission d'énergie par l'élément et en conséquence la descente de l'indice d'affaiblissement acoustique (Hamayon, 2014). Il est donc important d'utiliser des systèmes avec des fréquences de résonance et critiques les plus éloignées possible des fréquences principales des bruits à isoler (Avilés López et Perera Martín, 2017).

Au moment où les bruits à isoler correspondent à des fréquences supérieures à la fréquence naturelle, l'isolation de l'élément dépend de la masse du système et de la fréquence (Figure 33). Pour ce cas de figure, au XIXème siècle Lord Rayleig a établi la loi de masse théorique pour les parois simples homogènes (fictives) qui permet d'estimer l'indice de réduction acoustique (R) en considérant une paroi fine, homogène et isotrope (Hamayon, 2014). Cette équation (équation simplifiée [17]), permet de vérifier que doubler la masse d'une paroi produit une augmentation de 6dB sur l'indice d'affaiblissement acoustique (R). Ce qui justifie le fait que plus la masse est importante plus l'élément est isolant et de même, doubler la fréquence du son incident augmente aussi de 6dB par octave l'indice d'affaiblissement acoustique (R) de la paroi (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017).

$$R = 20log\left(\frac{\omega\, m\, cos\theta}{2\,\rho\, c}\right) \text{ [dB] * N'est pas directement applicable} \quad [17]$$

ω = pulsation $\omega=2\pi f$, f étant la fréquence [Hz]

m = masse surfacique de la paroi [kg/m^2]

ρ = masse volumique de l'air, soit 1,293kg/m^3

c = célérité du son dans l'air [m/s]

θ = angle de l'onde incidente [°]

Pareillement, cette loi est valable jusqu'aux alentours de la fréquence critique où l'isolation baisse sensiblement et pour des fréquences supérieures à la fréquence propre (Avilés López et Perera Martín, 2017).

La paroi soumise à des ondes incidentes planes a bien une augmentation de R de 6dB. En revanche, dans la réalité les ondes sonores incidentes arrivent sur la paroi sous plusieurs angles. Dans ce cas l'augmentation de l'indice d'affaiblissement acoustique (R) est plus proche de 4dB (Hamayon, 2014).

Les équations de la loi de masse sont établies à partir d'essais de laboratoire. Il est donc possible d'estimer le R avec l'équation [18] semi empirique (Hamayon, 2014).

$$R = 20log(mf) - 47{,}5 \ [dB] \quad [18]$$

m = masse surfacique de la paroi [kg/m^2]

f = fréquence du son incidente sur la paroi [Hz]

Selon la norme NF EN ISO 12354-1 2018 (m>150kg/m^2), il est possible d'obtenir la valeur globale R_w avec l'équation [19] :

$$R_w = 37{,}5\ log(m) - 42 \ [dB] \quad [19]$$

m = masse surfacique de la paroi [kg/m^2]

Très souvent les éléments constructifs sont composés des différentes couches indépendantes conformes aux parois doubles et même plus. Le principe des parois doubles est la mise en place des deux parois simples séparées entre elles d'une certaine distance remplie ou non de matériau absorbant (Hamayon, 2014) (Figure 34). Pour le bon fonctionnement aucun pont acoustique (unions rigides) ne peut exister entre les deux parois (Avilés López et Perera Martín, 2017).

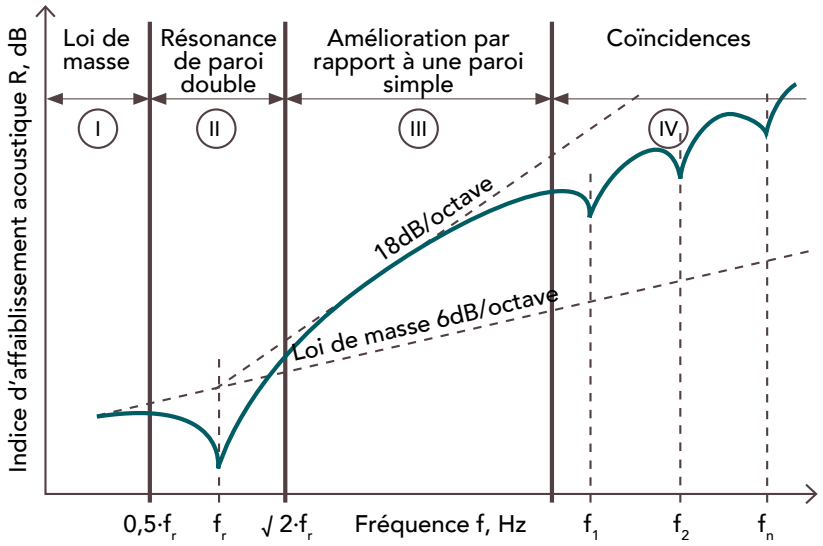


Figure 34 Tracé qualitatif de l'isolement d'une double paroi en fonction de la fr (Zürcher et Thomas, 2014).

De façon générale, la composition de double paroi a une plus grande isolation que celle que pourrait avoir une paroi simple avec la même masse. Mais comme les parois simples, ces systèmes ont normalement une meilleure isolation pour les fréquences hautes. D'autre part, les systèmes de double parois ont un plus grand nombre de fréquences critiques, correspondant aux fréquences critiques de chaque feuille de la paroi, de l'ensemble et de la cavité (Avilés López et Perera Martín, 2017). Les systèmes de double parois sont particulièrement efficaces pour des fréquences comprises entre la fréquence de résonance du système (équation [20] – appelé aussi fréquence masse-ressort-masse) et la première fréquence de résonance de la cavité (équation [21]) (Avilés López et Perera Martín, 2017). Il est préférable que la fréquence de résonance du système soit la plus petite possible (au-dessous de 60Hz) et la première fréquence de résonance de la cavité soit élevée (au-dessus de 4000Hz) (Avilés López et Perera Martín, 2017).

$$f_r = 80\sqrt{\frac{1}{d}\left(\frac{1}{m_1}+\frac{1}{m_2}\right)}\ [\text{Hz}] \qquad [20]$$

d = distance entre les deux parois [m]

m_1 = masse surfacique d'une paroi [kg/m^2]

m_2 = masse surfacique de l'autre paroi [kg/m^2]

$$f_{r\ cavité} = n\,\frac{c}{2\cdot d}\ [\text{Hz}] \qquad [21]$$

(quand la cavité n'a pas de matériel absorbant)

d = distance entre les deux parois [m]

c = vitesse du son ; environ 340 m/s dans l'air

n = entier positif, c'est à-dire un nombre entier égal à 1, 2,3,4 etc. Les fréquences préjudicielles pour l'isolement sont obtenues avec valeurs de n= 1 et 2.

Entre la fréquence de résonance du système et la première fréquence de résonance de la cavité, l'indice d'affaiblissement acoustique (R) (quand il n'y a pas d'absorbant dans la cavité) peut être déterminé de façon approximative avec l'équation [22] :

$$R \approx R_1 + R_2 + 20log\, f\, d - 29\ [dB] \qquad [22]$$

R_1 = R de la première feuille (paroi)

R_2 = R de la deuxième feuille (paroi)

d = distance de la cavité [m]

f = fréquence du son incidente sur la paroi [Hz]

$$R_i \approx 20log\, m_i f - 47{,}5\ [dB] \qquad [23]$$

m = masse surfacique de la paroi [kg/m^2]

f = fréquence du son incidente sur la paroi [Hz]

Les équations théoriques sont imprécises donc serviront uniquement comme une première approximation. Cependant, elles permettront de voir comment la R évolue avec des changements dans les différents paramètres. Il est possible de vérifier qu'en doublant la fréquence, l'isolation augmentera de 18dB face au 6dB d'une paroi simple.

L'ajout d'absorbant dans la cavité entre les deux parements amortit les ondes stationnaires et supprime les fréquences de résonances de la lame d'air, mais augmente aussi l'indice d'affaiblissement acoustique à toutes les fréquences (Hamayon, 2014).

Le milieu de propagation des sons est principalement l'air, donc une corrélation existe entre le passage de l'air et l'isolation aux bruits. Plus la perte de transmission du son est élevée, plus le taux d'infiltration de l'air est faible (Iordache et Catalina, 2012). Donc une bonne gestion de l'étanchéité est essentielle pour assurer la bonne isolation acoustique.

3.2.1.2 Acoustique interne

L'acoustique interne, appelé aussi acoustique des salles ou correction acoustique, fait référence aux moyens utilisés pour contrôler le comportement du son à l'intérieur de la même pièce, dans le but d'assurer la bonne qualité sonore selon l'usage (Glé, 2014; Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017). Les sons et les bruits cesseront d'être considérés comme des éléments non souhaités, qu'on cherche à diminuer au maximum, pour essayer de les renforcer et les percevoir dans les meilleures conditions possibles selon l'usage. De ce fait, même si l'acoustique interne s'intéresse principalement à la propagation des sons, l'objectif final est d'améliorer la perception des sons à la réception (Avilés López et Perera Martín, 2017).

3.2.1.2.1 Comportement des sons dans un local

Dans un local, une fois qu'une source est activée, le premier son qui va arriver au récepteur est appelé son direct qui suit le chemin de propagation le plus court. Son niveau de pression à la réception va dépendre de son atténuation pendant le parcours principalement dû à la divergence géométrique. Après le son direct, le récepteur reçoit le premier son réfléchi qui correspond au parcours le plus court mais après la rencontre avec des surfaces du local. Dans ce cas-là, le niveau

de pression à la réception va dépendre de son atténuation pendant le parcours mais aussi de la fraction d'énergie absorbée par la surface rencontrée. Par la suite, d'autres réflexions précoces commencent à atteindre le récepteur après avoir rencontré une ou plusieurs surfaces. Normalement, sont considérées comme réflexions précoces celles qui arrivent au récepteur dans les premières 80-100 millisecondes après l'arrivée du son direct. Par la suite, les réflexions qui arrivent au récepteur seront appelées réflexions tardives. L'ensemble des réflexions précoces et tardives constitue le champ diffus (Figure 35 et Figure 36) (Avilés López et Perera Martín, 2017).

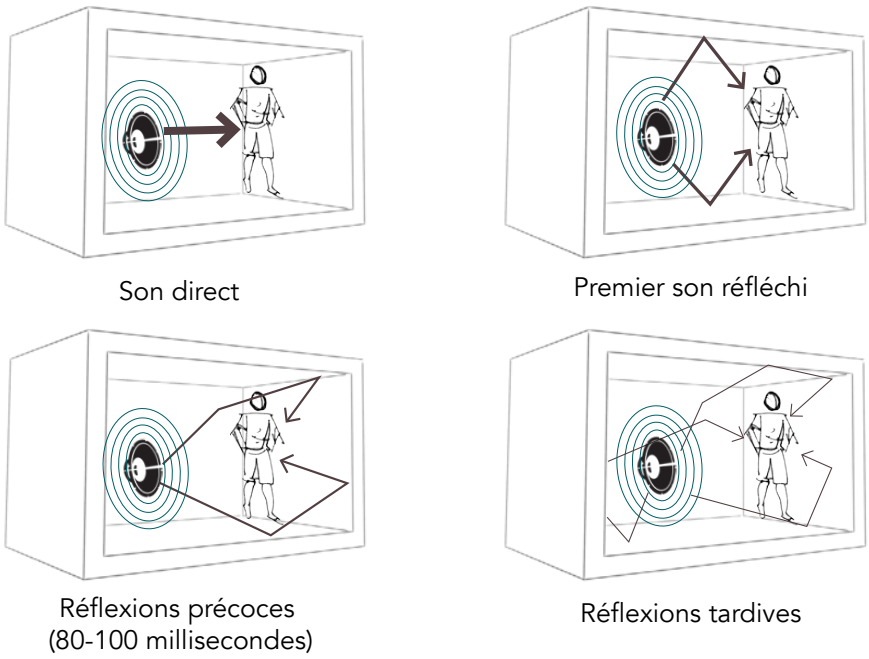


Figure 35 Comportement des sons (Saint-Gobain 2016).

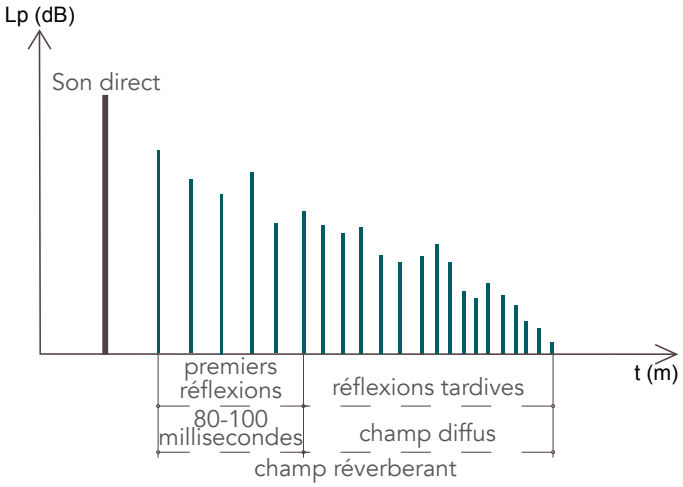


Figure 36 Champ réverbérant (Avilés López et Perera Martín, 2017).

Quand une source arrête son émission l'énergie sonore générée ne disparaît pas directement. Elle reste dans le local où elle continue à se propager et à être absorbée à chaque réflexion. Jusqu'à que cette énergie devienne très faible et elle finit par disparaître. Cette permanence de l'énergie dans un local après la finalisation de l'émission est connue comme réverbération et elle caractérise, en partie, l'acoustique d'un lieu (Avilés López et Perera Martín, 2017).

Le paramètre le plus connu et le plus utilisé pour quantifier la réverbération est le phénomène appelé durée de réverbération ou temps de réverbération (Tr). Il définit le temps en secondes qui passe après l'interruption de la source sonore pour que l'énergie acoustique du local descende jusqu'à la millionième part de la valeur au moment de son interruption. En termes de niveau de pression ou d'intensité sonore la descente correspond à 60dB (Figure 37) (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017).

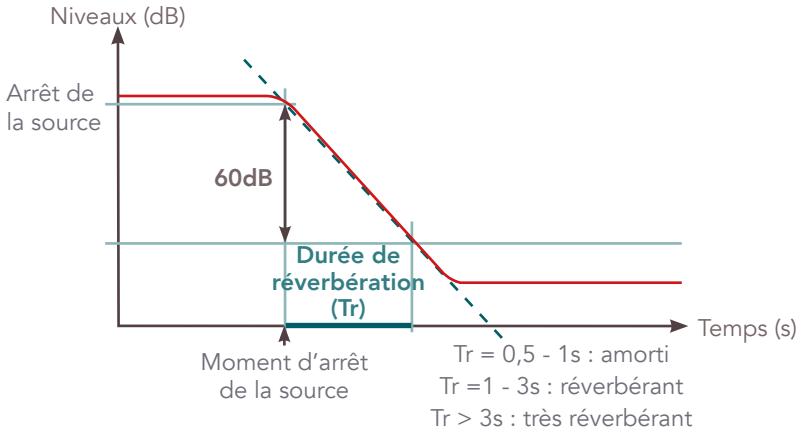


Figure 37 Durée de réverbération (Saint-Gobain 2016).

Le calcul le plus simple et le plus connu pour obtenir la durée de réverbération est celui proposé par W. Sabine (Avilés López et Perera Martín, 2017) (Équation [24]):

$$T = \frac{0{,}16 \cdot V}{A} \text{ [secondes]} \qquad [24]$$

V= volume de la salle [m^3]

A = aire d'absorption équivalente du local [m] (équation [5])

En revanche, cette formule n'est pas très précise pour les locaux peu réverbérants (très absorbants) (Avilés López et Perera Martín, 2017).

De la même manière, il est rarement possible de mesurer un décroissement de 60dB si le bruit de fond est très élevé. Dans ce cas Tr doit être déterminé à partir d'une plage plus étroite, par exemple de 30dB (Hamayon, 2014).

3.2.1.2.2 Paramètres de l'acoustique interne

L'acoustique interne dépend principalement du **volume** et de la **forme du lieu** (conception architecturale), et de la **qualité et performance de correction des parois,** déterminées principalement par les matériaux utilisés (Hamayon, 2014; Saint-Gobain, 2016; Avilés López et Perera Martín, 2017).

Au niveau perceptif, l'ouïe interprète comme un même son le son direct et les sons réfléchis, avec la différence d'une durée et un niveau de pression plus grands. Cet effet peut être avantageux par sa capacité à renforcer et relier les sons émis par la source, mais si la prolongation est excessive, les sons peuvent être superposés en masquant et en compliquant la reconnaissance du message sonore (Avilés López et Perera Martín, 2017). En revanche, si le son qui arrive à l'auditeur après réflexion est distinct du son lui parvenant directement, il est appelé écho (Hamayon, 2014).

Le phénomène de réverbération dépend à la fois des trois phénomènes associés à la propagation du son en entrant en contact avec des matériaux : **absorption**, **réflexion** et **diffusion** (Figure 38) (Avilés López et Perera Martín, 2017).

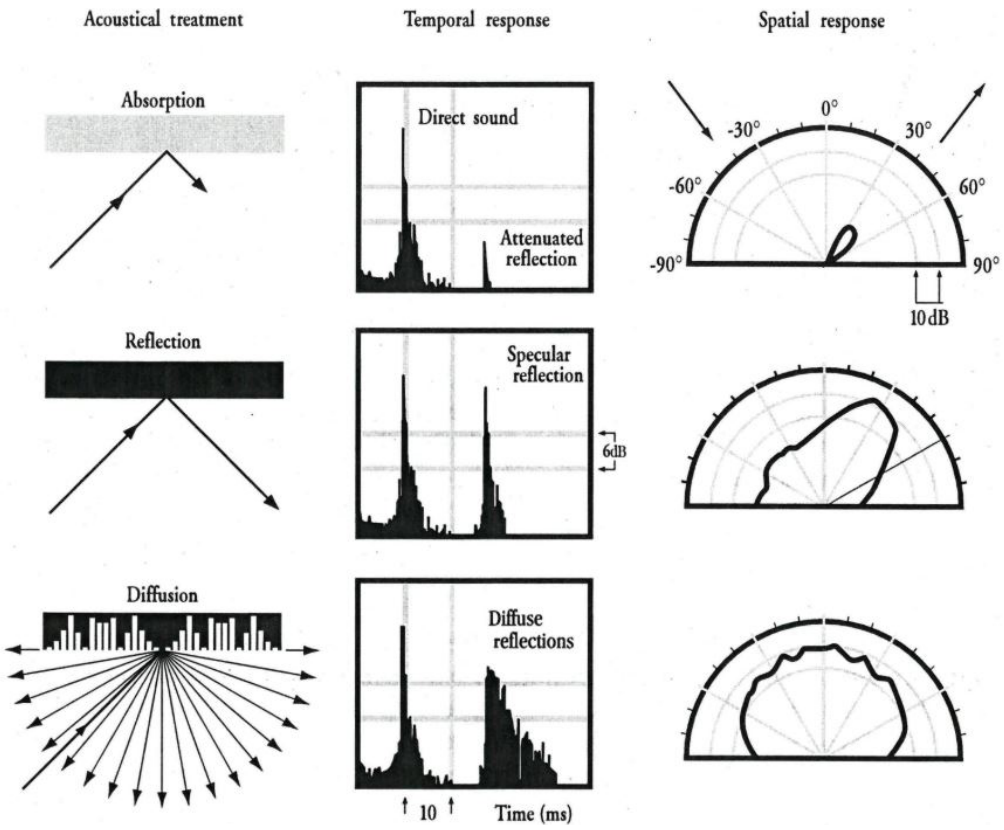


Figure 38 Phénomènes associés à la propagation du son (Cox and D'Antonio, 2009).

3.2.1.2.2.1 Absorption

L'absorption fait référence à la partie de l'énergie qui « disparaît » de l'intérieur de la pièce et qui n'est pas transmise de l'autre côté des éléments séparatifs. De façon plus précise, elle fait référence à la partie de l'énergie incidente qui se dissipe en contact avec un matériau ou élément de la pièce (Avilés López et Perera Martín, 2017).

La proportion d'énergie absorbé est établie à partir du coefficient d'absorption acoustique (α) :

$$\propto = \frac{E_A}{E_I} \quad [25]$$

E_A = énergie acoustique absorbée [W/m^2]

E_I = énergie acoustique incidente [W/m^2]

Il est compris entre 0 : toute l'énergie est réfléchie, et 1 : toute l'énergie est absorbée (Hamayon, 2014) (Équation [26]).

$$0 < \alpha \leq 1 \quad [26]$$

L'absorption des parois et de ses matériaux est différente pour chaque fréquence, donc les coefficients d'absorption sont représentés au moins par bandes d'octave entre 125Hz et 4000Hz (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017).

La capacité d'absorption d'une paroi dépend aussi de son angle d'incidence. Sa prise en considération a une influence sur la méthode à utiliser pour son obtention ainsi que sur les valeurs obtenues. Suivant la méthode utilisée, trois coefficients d'absorption acoustique peuvent être obtenus (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017) :

- α_{ram} Coefficient d'absorption acoustique statistique ou aléatoire, en champ sonore parfaitement diffus.

- α_s Coefficient d'absorption acoustique en chambre réverbérant ou coefficient d'absorption acoustique de Sabine où le champ acoustique n'est pas complètement diffus.

- α_n Coefficient d'absorption acoustique à ondes planes et incidence perpendiculaire, il prend en compte la réponse du matériau quand le son arrive perpendiculairement (tube de Kundt).

Bien que l'absorption soit différente pour chaque fréquence, des indices globaux sont employés pour la caractériser. La réglementation fait référence à α_w : appelé indice d'évaluation de l'absorption ou indice de l'absorption acoustique pondéré (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017). Il s'agit d'une valeur unique, indépendante de la fréquence, égale à la valeur à 500Hz indiquée sur une courbe de référence définie dans la norme NF EN ISO 11654.

Chaque matériau a ses caractéristiques propres d'absorption au son et, pour chaque surface, il est possible d'évaluer et valoriser sa contribution à l'acoustique interne. L'aire d'absorption équivalente (A) pour une bande d'octave peut être calculée avec l'équation suivante (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017) (Équation [27]):

$$A_{surfaces} = \sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i \cdot S_i \ [m^2] \qquad [27]$$

α= coefficient d'absorption de la paroi ou du matériau

S = surface de la paroi ou du matériau [m^2]

Pour avoir l'aire d'absorption acoustique totale d'une pièce ou d'un local le calcul des surfaces n'est pas suffisant car les éléments unitaires peuvent aussi avoir une influence importante, par exemple les personnes ou le mobilier. Dans des volumes conséquents, l'air peut même jouer un rôle important dans l'absorption acoustique totale, spécialement en hautes fréquences. Donc l'absorption acoustique totale d'une pièce est (Avilés López et Perera Martín, 2017) :

$$A_{pièce} = A_{surfaces} + A_{éléments} + A_{personnes} + A_{air} \ [m^2] \qquad [28]$$

L'absorption due aux surfaces peut être abordée avec différentes solutions constructives et mises en œuvre possibles. Les plus couramment utilisées reposent sur les effets de la porosité, du diaphragme (membrane) et des résonateurs couplés ou pas (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017). Chacune de ces familles correspond à une gamme d'efficacité différente (Voir Figure 39).

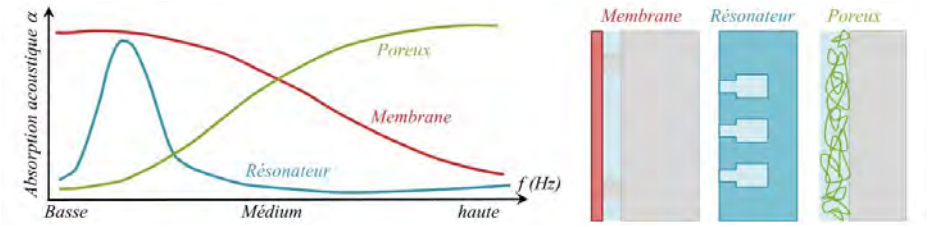


Figure 39 Game d'efficacité - trois types de matériaux absorbants (DE SA et Horsin Molinaro, 2017).

L'effet de la porosité

La porosité apportée par la structure granulaire ou fibreuse du matériau permet la pénétration des ondes sonores dans ses pores reliés entre eux (porosité ouverte). Les ondes font vibrer l'air contenu dans les pores, de sorte que le frottement avec la structure du matériau amortissent les vibrations et transforment l'énergie cinétique en chaleur, dissipant l'énergie acoustique (Figure 40). Ces matériaux sont spécialement effectifs dans l'absorption des fréquences aiguës. En contrepartie, l'augmentation de l'épaisseur pourra accroître l'absorption aux fréquences basses et moyennes (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017).

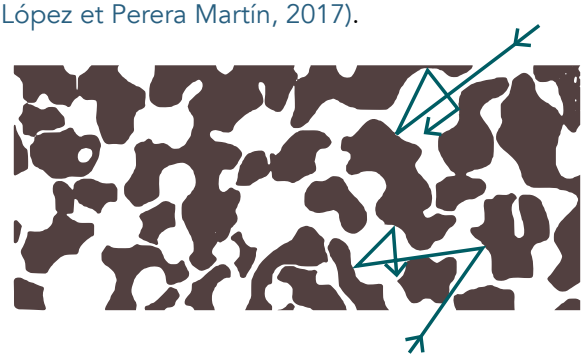


Figure 40 Porosité ouverte (Hamayon, 2014).

L'effet du diaphragme (membrane)

Les membranes ou plaques sont constitués d'un panneau avec une surface de matériau étanche à l'air (non poreux) et flexibles, placés à une certaine distance d'un parement rigide, laissant une chambre d'air entre les deux (Figure 41) (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017).

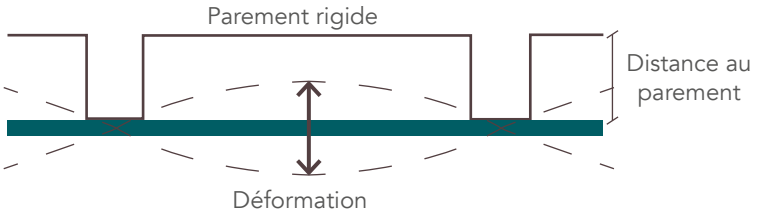


Figure 41 Schéma membrane (Avilés López et Perera Martín, 2017).

Ce type de montage permet que lorsqu'une onde sonore arrive au panneau celui-ci rentre en vibration, de telle manière qu'une partie de l'énergie acoustique est perdue dans la vibration du matériau et dans le frottement de l'air dans la chambre, se transformant en chaleur (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017).

La plus grande vibration se produit dans la fréquence de résonance (ou fréquence propre) du système masse-ressort formé par le panneau et la chambre d'air et elle est donnée par la formule suivante (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017) (Équation [29]) :

$$f_r = \frac{60}{\sqrt{m \cdot d}} \text{ [Hz]} \qquad [29]$$

m = masse surfacique du panneau (kg/m^2)

d = distance séparant le panneau et la paroi (m)

L'augmentation de la masse du panneau et de l'épaisseur de la chambre donne lieu à une plus petite fréquence de résonance (Avilés López et Perera Martín, 2017).

Ce système a une absorption plus importante aux fréquences graves et en même temps la plage d'absorption peut augmenter quand la lame d'air est amortie par un matelas fibreux ou poreux (Hamayon, 2014).

L'effet des résonateurs

Le résonateur est une cavité remplie d'air communiquant avec l'extérieur par un tube ou un conduit étroit appelé col (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017). Quand la pression acoustique arrive sur l'entrée du col celui-ci se déplace et comprime la masse d'air contenue dans le résonateur qui après cette compression se détend et crée une vibration (Hamayon, 2014). Chaque résonateur a une fréquence propre (ou de résonance) autour de laquelle l'énergie acoustique va être absorbée. Celle-ci va dépendre de la longueur du col, le diamètre du col et de sa section et le volume du corps (Figure 42) (Hamayon, 2014).

Les résonateurs sont efficaces pour les basses et moyennes fréquences à condition que la longueur du col soit beaucoup plus petite que l'onde sur laquelle nous cherchons une absorption acoustique (Avilés López et Perera Martín, 2017).

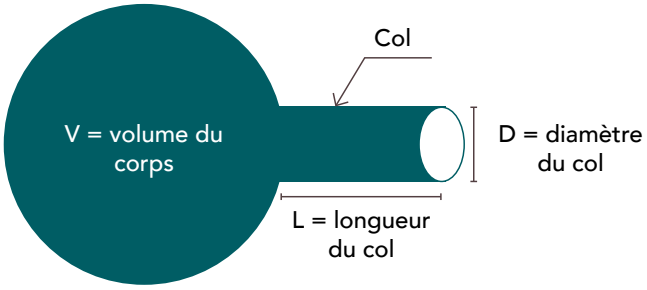


Figure 42 Schéma résonateur (Hamayon, 2014).

Quand l'ouverture est circulaire la fréquence de résonance du résonateur est donnée par la formule suivante (Hamayon, 2014) (Équation [30]) :

$$f_r = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{V\,(L+0{,}8\,D)}}\ [\mathrm{Hz}] \qquad [30]$$

c = célérité du son dans l'air (m/s)

S = section du col (m^2)

L = longueur du col (m)

D = diamètre du col (m)

V = volume du corps (m^3)

Normalement ces types de résonateurs ne sont pas employés de façon isolée car leur absorption acoustique est très petite (Avilés López et Perera Martín, 2017). Une absorption significative est possible si un ensemble de petits résonateurs est employé dans la même pièce (Hamayon, 2014). L'effet résonateur, aujourd'hui, est surtout employé par des panneaux perforés.

3.2.1.2.2.2 Réflexion

L'énergie qui n'est pas absorbée reste dans la pièce, elle continue à se propager et elle peut se retrouver plusieurs fois en contact avec des surfaces intérieures. Suivant les matériaux employés les ondes peuvent se réfléchir considérablement (Avilés López et Perera Martín, 2017).

3.2.1.2.2.3 Diffusion

La diffusion est la répartition plus ou moins homogène et en différentes directions de l'énergie sonore après la rencontre d'une surface irrégulière (Figure 43) (Hamayon, 2014; Avilés López et Perera Martín, 2017). Elle est provoquée simultanément par des phénomènes de réflexion, de réfraction et de diffraction (Hamayon, 2014).

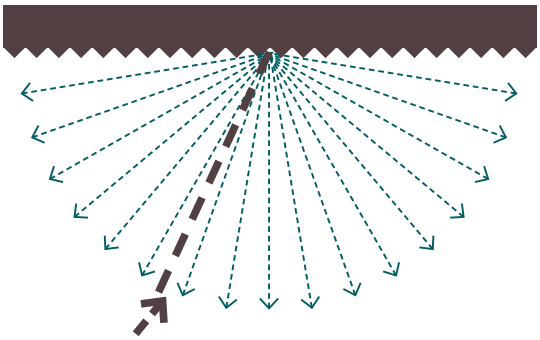


Figure 43 Schéma du comportement du son par diffusion (Avilés López et Perera Martín, 2017).

C'est un phénomène intéressant pour des auditions musicales, cela permet que le son arrive partout depuis toutes les directions, créant une plus grande impression spatiale (Avilés López et Perera Martín, 2017).

3.2.1.3 L'intelligibilité à la parole

L'intelligibilité de la parole, conjointement avec le temps de réverbération, est un facteur essentiel de qualité du moment que l'usage du lieu comporte la transmission d'un message oral (Rosas et Sommerhoff, 2008; Saint-Gobain, 2016; Avilés López et Perera Martín, 2017). L'intelligibilité fait référence à la bonne compréhension du message oral par le récepteur (Avilés López et Perera Martín, 2017). La bonne réception du message nécessite un niveau de pression suffisant, un minimum de concordance et de fidélité avec le message émis par l'orateur (Avilés López et Perera Martín, 2017). L'intelligibilité dépend de multiples critères, entre autres le temps de réverbération, le niveau de bruit de fond, la géométrie et le volume de la pièce, les caractéristiques de parois et la distances entre orateur et récepteur (Saint-Gobain, 2016; Jácome González, 2017). L'importance de l'intelligibilité est essentielle, par exemple dans les salles de classe où le moyen de transmission principal est la parole (Lavandier et al., 2003).

Pour évaluer la qualité de l'intelligibilité de la parole, la valeur la plus connue et qui est utilisée dans cette thèse est le STI (Speech Transmission Index) (Avilés López et Perera Martín, 2017), proposé en 1971 par Houtgast & Steeneken (Jácome González, 2017). Sa valeur est comprise entre 0 et 1, 1 étant la valeur correspondant à la meilleure intelligibilité (Saint-Gobain, 2016; Jácome González, 2017).

Le STI permet évaluer la qualité de transmission de la parole dans une pièce (Saint-Gobain, 2016). Cela correspond au rapport entre l'émergence d'items (phrases, mots et syllabes) ou indices de modulation correctement identifiables et le bruit de fond du local étudié dans 7 bandes d'octave (125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz 8000 Hz) avec 14 fréquences de modulation (Fm) (Tableau 5 pour Fm) (Saint-Gobain, 2016; Jácome González, 2017).

Fm (Hz)	0,63	0,8	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	5,0	6,3	8,0	10	12,5

Tableau 5 Fréquences de modulation pour le STI en tiers d'octave (Jácome González, 2017, p. 22).

La perte de modulation entre le signal émis et le signal reçu constitue la perte de modulation dans la parole naturelle. Cela permet de se référer à la mesure de la perte d'intelligibilité. La fonction de transfert de modulation (MTF) ou "modulation transfer function" est définie selon l'équation [31] (Jácome González, 2017) :

$$m(F) = \left[1 + \left(2\pi F \frac{TR}{13{,}8}\right)^2\right]^{-\frac{1}{2}} \left[1 + 10^{\frac{-S/N}{10}}\right]^{-1} \quad [31]$$

F = fréquences de modulation

S/N = relation signal-bruit pour chaque bande d'octave

TR = temps de réverbération pour chaque bande d'octave [secondes]

Pour obtenir la relation S/N c'est possible d'appliquer l'équation [32] :

$$\left(S/N\right)_{ap} = 10log\frac{m(F)}{1-m(F)}\ [dB] \quad [32]$$

Par la suite, le calcul de la valeur moyenne des 14 valeurs de (S/N)app obtenues pour chaque bande d'octave permet d'avoir la relation (S/N)app global. Chaque bande d'octave a aussi son facteur de pondération pour chaque valeur moyenne (Jácome González, 2017).

Avec les différentes valeurs, c'est possible de calculer le STI utilisant l'équation [33] (Jácome González, 2017) :

$$STI = \frac{\overline{(S/N)}_{ap\ global}^{+15}}{30} \quad [33]$$

Dans la Figure 44 l'échelle d'appréciation de STI est exposée (Saint-Gobain, 2016; Jácome González, 2017) :

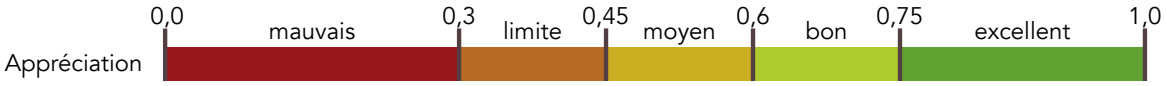


Figure 44 Appréciation STI.

3.2.2 Les techniques et les méthodes utilisées

Depuis 1980 l'OMS aborde le problème du bruit communautaire[22] et en 1999 elle a publié « Guidelines for Community Noise» qui a servi de base pour établir les lignes directrices applicables au niveau mondial pour le bruit communautaire (Berglund et al., 1999).

Dans cette publication quelques valeurs sont abordées pour une bonne qualité sonore dans les écoles. Par exemple, elle stipule que « pour l'écoute des messages, le rapport signal-bruit doit être d'au moins 15dB avec un niveau de voix de 50dB(A). Par conséquent, pour une perception claire de la parole, le niveau de bruit de fond ne doit pas dépasser 35dB (A). Dans les salles de classe ou de conférence, où la perception de la parole est d'une importance primordiale, ou pour les groupes sensibles, les niveaux de bruit de fond devraient être aussi faibles que possible. Des temps de réverbération inférieurs à 1s sont également nécessaires pour une bonne intelligibilité de la parole dans les petites pièces » (Berglund et al., 1999).

Dans les environnements spécifiques, les écoles sont aussi mentionnées et des valeurs sont préconisées. Par exemple, le niveau de bruit de fond pendant les cours ne doit pas dépasser 35dB ($LAeq$) et le temps de réverbération dans la classe doit être d'environ 0,6 secondes. Dans les couloirs et les cantines le temps de réverbération doit être inférieur à 1 seconde et pendant la récréation les bruits provenant de sources extérieures ne doivent pas dépasser 55dB $LAeq$ (Berglund et al., 1999).

En France, les seuils ainsi que les limitations du bruit dans les établissements scolaires sont fixés par « l'arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement » (Legifrance, 2003) et évalués suivant la norme précisée dans chaque cas. Cet arrêté concerne uniquement les bâtiments neufs ou parties nouvelles de bâtiments existants. Des établissements scolaires recensés, tous sont soumis à cet arrêté car leurs constructions datent d'après 2003.

Dans les cas des salles d'expérimentation (Grenoble et Barcelone), le but principal des données physiques est de comparer les valeurs obtenues avec et sans terre crue de les confronter aux retours des participants. Cependant, ces valeurs sont également confrontées à l'arrêté du 25 avril 2003, car dans le cas de Barcelone la pièce étudiée se trouve dans un établissement universitaire et dans le cas de Grenoble la pièce est utilisée souvent comme salle de réunion.

L'ensemble du matériel et des programmes utilisés pour la campagne de mesures sont décrits dans l'Annexe 1.

3.2.2.1 Isolation acoustique entre deux pièces - La prise de mesure in situ

L'isolation acoustique est étudiée uniquement dans les établissements scolaires et pas dans les salles d'expérimentation. Néanmoins, seules des mesures d'isolation acoustique entre pièces sont réalisées. Dans aucun cas l'isolation aux bruits d'impact ou bruits des façades ne sont étudiés. Ce choix est établi d'un côté parce que la totalité des bâtiments ne sont composés que d'un rez-de-chaussée donc l'étude des bruits d'impact est moins déterminante dans la qualité sonore. De l'autre côté, l'ensemble des établissements étudiés sont situés dans des villages de campagne donc avec un niveau sonore extérieur moins important que dans des villes. Donc au vu du calme

[22] Bruit émis par toutes les sources de bruit, en dehors de leur lieu de travail (Berglund et al., 1999).

général de leurs emplacements, l'étude de l'isolation des bruits aériens de façades n'est pas jugée primordiale. D'autant plus que dans la majorité des cas, les murs en terre crue sont placés en intérieur et sans aucun contact avec l'extérieur.

3.2.2.1.1 Domaine d'application et réglementation

L'arrêté du 25 avril 2003, impose la mise en place d'éléments permettant l'isolement acoustique entre locaux ou avec l'espace extérieur en distinguant entre les établissements d'enseignement et les écoles maternelles.

Selon l'article 2, l'isolement acoustique standardisé pondéré, $D_{nT,A}$, exprimé en dB, entre les différents types de locaux doit être égal ou supérieur aux valeurs indiquées dans le Tableau 6 (pour les établissements d'enseignement autres que les écoles maternelles).

LOCAL D'ÉMISSION → / **LOCAL DE RÉCEPTION** ↓	**LOCAL d'enseignement,** d'activités pratiques, administration	**LOCAL MÉDICAL** infirmerie, atelier peu bruyant, cuisine, local de rassemblement fermé, **salle de réunions**, sanitaires	LOCAL CAGE d'**escalier**	**CIRCULATION** horizontale, vestiaire fermé	SALLE de **musique**, salle **polyvalente**, salle de **sports**	SALLE de **restauration**	**ATELIER** bruyant (au sens de l'article 8 du présent arrêté)
Local d'enseignement, d'activités pratiques, administration, bibliothèque, CDI, salle de musique, salle de réunions, salle de professeurs, atelier peu bruyant	**43 (1)**	50	43	30	53	53	55
Local médical, infirmerie	43 (1)	50	43	40	53	53	55
Salle polyvalente	40	50	43	30	50	50	50
Salle de restauration	40	50 (2)	43	30	50	-	55

(1) Un isolement de 40 dB est admis en présence d'une ou plusieurs portes de communication.

(2) À l'exception d'une cuisine communiquant avec la salle de restauration.

Tableau 6 «L'isolement acoustique standardisé pondéré DnT,A (dB) » Source JO du 28/05/2003 page 9102 - L'isolement acoustique entre locaux (établissements autres que les écoles maternelles).

Pour les écoles maternelles, l'isolement acoustique standardisé pondéré $D_{nT,A}$ entre locaux doit être égal ou supérieur aux valeurs (exprimées en décibels) indiquées dans le Tableau 7.

LOCAL D'ÉMISSION → / **LOCAL DE RÉCEPTION** ↓	SALLE **de repos**	SALLE **d'exercice** ou local **d'enseignement (5)**	**ADMINISTRATION**	**LOCAL MÉDICAL** infirmerie	**ESPACE D'ACTIVITÉS** **s**alle d'évolution, salle de jeux, local de rassemblement fermé, salle d'accueil, salle de réunions sanitaires (4), salle de restauration, cuisine, office	**CIRCULATION** horizontale, vestiaire
Salle de repos	43 (1)	50 (2)	50	50	55	35 (3)
Local d'enseignement, salle d'exercice	50 (2)	**43**	43	50	53	30(3)
Administration, salle des professeurs	43	43	43	50	53	30
Local médical, infirmerie	50	50	43	43	53	40

(1) Un isolement de 40 dB est admis en cas de porte de communication, de 25dB si a porte est anti-pince-doigts.

(2) Si la salle de repos n'est pas affectée à la salle d'exercice. En cas de salle de repos affectée à une salle d'exercice, un isolement de 25db est admis.

(3) Un isolement de 25 dB est admis en présence d'une porte est anti-pince-doigts.

(4) Dans le cas de sanitaires affectés à un local, il n'est pas exigé d'isolement minimal.

(5) Notamment dans les cas d'un autre établissement d'enseignement voisin d'une école maternelle.

Tableau 7 «L'isolement acoustique standardisé pondéré DnT,A (dB) » Source JO du 28/05/2003 page 9102 - L'isolement acoustique entre locaux (écoles maternelles).

Les valeurs à atteindre correspondent à des valeurs mesurées in situ, selon la norme NF EN ISO 16283-1 (Remplace la norme NF EN ISO 140-4 : 1998). La norme permet de déterminer l'isolation des bruits aériens entre deux salles d'un bâtiment à l'aide de mesurage de la pression acoustique. Ces modes opératoires s'appliquent aux salles dont le volume est compris entre 10m^3 et 250m^3 aux fréquences comprises entre 50Hz et 5000Hz. La conversion des valeurs d'isolement aux bruits aériens en fonction de la fréquence à une valeur unique apte à caractériser la performance acoustique est réalisé selon la norme NF EN ISO 717-1.

3.2.2.1.2 Mode opératoire

Le mode opératoire suivi est décrit dans sa totalité dans la norme NF EN ISO 16283-1. Dans le cadre de cette thèse, un seul haut-parleur (source omnidirectionnelle Type 4296-12-speaker high power de Brël & Kjaer) est utilisé. Le signal de bruit à large bande utilisé dans le mesurage est le bruit rose.

Les positions et distances spécifiées dans la partie 7.2.2 de la norme sont dans leur totalité respectées.

Des différentes possibilités de positionnement des microphones de mesure (sonomètre BEDROCK SM90 et/ou micro de mesure M2010 ½'' de NTI voir Annexe 1 pour connaître les caractéristiques du matériel utilisé), le déplacement manuel est choisi dans ces cas d'études. Entre les quatre possibilités de déplacements manuels (Figure 45), de par sa simplicité, la trajectoire circulaire est choisie (Voir partie 7.52 de la).

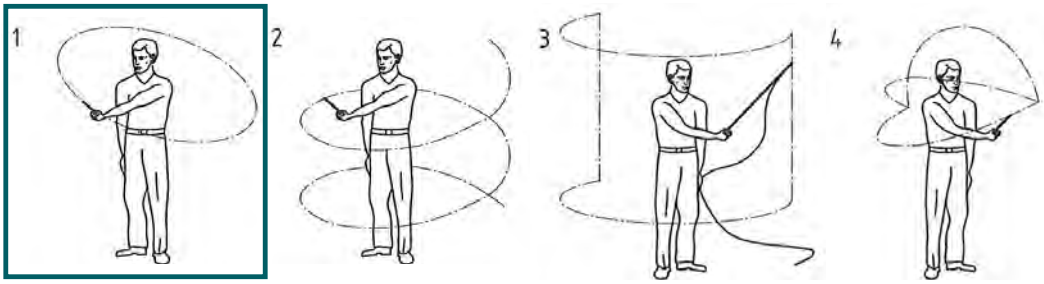


Figure 45 Trajectoires de déplacement manuel NF EN ISO 16283-1.

3.2.2.1.3 Expression des résultats

Les résultats obtenus sont exprimés en dB graphiquement par octave entre 125 et 4000 Hz mais également la valeur D_{nT} pondérée pour un bruit rose à l'émission donc D_{nTA} est calculée. Sur le rapport d'essai d'autres valeurs comme le temps de réverbération calculé par la méthode de bruit interrompu selon la norme ISO 3382 ou le bruit de fond, tous deux nécessaires pour le calcul du $D_{nT,}$ sont également indiqués.

3.2.2.2 Acoustique interne – La prise de mesure in situ

Dans le cas de la mesure in situ pour l'étude du comportement du son à l'intérieur d'un espace, trois types de données sont récoltées (Figure 46). Premièrement, le niveau de pression acoustique (bruit de fond). Deuxièmement, la durée de réverbération et plus précisément le T30. Dans l'annexe 3.3 un exemple de l'ensemble des mesures réalisés est présenté et dans la partie 3.4 de l'Annexe 3, l'ensemble des temps de décroissance initiale (Early Decay Time (EDT)). L'EDT va mieux représenter la façon dont la réverbération est perçue dans une salle (del Solar Dorrego et Vigeant, 2022). Finalement, des mesures sur le coefficient de l'absorption acoustique de la terre crue in situ sont pareillement réalisées.

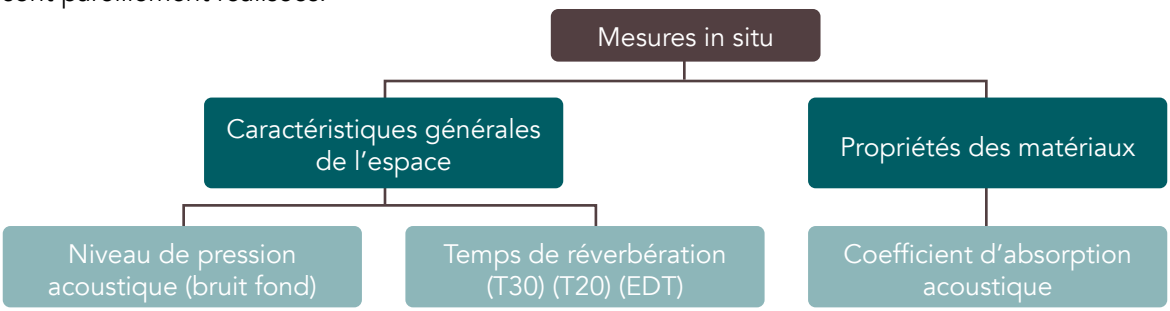


Figure 46 Mesures in situ réalisées sur les caractéristiques de la salle et les matériaux des surfaces.

La durée de réverbération et le niveau de pression acoustique sont mesurés dans les établissements scolaires et dans les salles d'expérimentation. En revanche, le coefficient d'absorption acoustique est mesuré uniquement dans les établissements scolaires pour, par la suite, pouvoir l'incorporer dans les simulations acoustiques.

3.2.2.2.1 Niveau de bruit normalisé des équipements techniques $\mathbf{L_{nAT}}$ à l'intérieur des locaux et niveau de bruit de fond

3.2.2.2.1.1 Domaine d'application et réglementation

L'OMS dit que pour une perception claire de la parole, le niveau de bruit de fond ne doit pas dépasser 35dB (A).

En France, dans l'article 4 de « l'arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement » (Legifrance, 2003) dit également que :

« La valeur du niveau de pression acoustique normalisé L_{nAT} du bruit engendré dans les bibliothèques, centres de documentation et d'information, locaux médicaux, infirmeries et salles de repos, les salles de musique par un équipement du bâtiment ne doit pas dépasser 33 dB(A) si l'équipement fonctionne de manière continue et 38 dB(A) s'il fonctionne de manière intermittente. Ces niveaux sont portés à 38 et 43 dB(A) respectivement pour tous les autres locaux de réception visés à l'article 2. Article ».

Dans les établissements scolaires étudiés, l'article 4 concerne principalement le bruit engendré par la ventilation des salles de classe ou des bibliothèques. Donc, les valeurs atteintes sont les suivantes :

Bibliothèque > L_{nAT} : 33dBA (fonctionnement continu) / 38dBA (fonctionnement intermittente)
Local d'enseignement > L_{nAT} : 38dBA (fonctionnement continu) / 43dBA (fonctionnement intermittente)

Les valeurs à atteindre sont mesurées in situ, selon le point « 9. Bruit de fond (mode opératoire par défaut et mode opératoire pour les basses fréquences) » de la norme NF EN ISO 16283-1.

3.2.2.2.1.2 Mode opératoire

Le mode opératoire suivi est décrit dans sa totalité dans le point 9 de la norme NF EN ISO 16283-1. Les valeurs de bruit de fond sont également nécessaires pour le calcul de l'isolation et la mesure de STI. Ces valeurs permettront également d'établir les L_{nAT} des salles de classe.

Les durées minimales pour la mesure du bruit de fond doivent correspondre aux exigences décrites dans le point 7.7 de la norme donc 15 secondes minimum pour des positions fixes et 30 secondes pour des déplacements manuels.

3.2.2.2.1.3 Expression des résultats

Les résultats obtenus par fréquence sont convertis en une valeur unique dBA apte à caractériser les valeurs de niveau de pression acoustique.

3.2.2.2.2 Le temps de réverbération

Comme dans le cas de l'isolation acoustique entre locaux, l'arrêté du 25 avril 2003 stipule des durées de réverbération souhaitées pour locaux d'enseignement selon le volume des pièces. Ces valeurs correspondent à la moyenne arithmétique des durées de réverbération dans les intervalles d'octave centrés sur 500, 1000 et 2000 Hz (Légifrance, 2003; CNB, 2017). Pour des **volumes ≤**

250m³ les valeurs Tr seront comprises entre **0,4 et 0,8 secondes** et pour des **volumes > 250m³** entre **0,6 et 1,2 secondes** (Légifrance, 2003; CNB, 2017). Dans tous les cas, ces valeurs s'entendent pour des locaux normalement meublés et non occupés (Légifrance, 2003; CNB, 2017).

Les valeurs à atteindre correspondent à des valeurs mesurées in situ, selon la norme NF EN ISO 3382-2 : 2008. L'ensemble des mesures sont également réalisées avec l'émission d'une réponse impulsionnelle de signal de séquences de longueur maximum (MLS).

3.2.2.2.2.2 Mode opératoire

Dans cette norme NF EN ISO 3382-2 : 2008, le nombre minimal de positions et de prises de mesure selon le type de mesurage souhaité est aussi spécifié (Tableau 8). Dans les établissements scolaires, la source est placée dans deux positions avec un minimum de 6 positions des microphones pour chaque position de source, donc un minimum de 12 combinaisons de mesurage. Cependant, dans les salles d'expérimentation de taille plus réduite, les microphones sont placés en 3 ou 4 positions différentes, donc un total de 6 à 8 combinaisons. Dans chaque position source-micro, la mesure est réalisée deux ou trois fois. Cela correspond selon la Tableau 8 à un mesurage d'expertise ou de précision quand la décroissance dans la position est réalisée 3 fois.

	Contrôle	Expertise[a]	Précision
Combinaisons de source et de microphone	2	6	12
Positions de source[b]	1	2	2
Positions de microphone[c]	2	2	3
Nombre de décroissances dans chaque position (méthode du bruit interrompu)	1	2	3

[a] Lorsque le résultat est utilisé pour un terme de correction dans d'autres mesurages du niveau d'expertise, une seule position de la source et trois positions de microphones sont nécessaires.
[b] Pour la méthode du bruit interrompu, des sources non corrélées peuvent être utilisées simultanément.
[c] Pour la méthode du bruit interrompu, et lorsque le résultat est utilisé pour un terme de correction, une perche de microphone rotatif peut être utilisée à la place de plusieurs positions de microphone.

Tableau 8 Nombre minimal de positions et de mesurage NF EN ISO 3382-2 : 2008

Aucune position de microphone ne doit être très proche de la position de la source, afin d'éviter une influence trop importante du son direct. La distance minimale en mètre peut être calculée avec la formule suivante [34] (Légifrance, 2003) :

$$d_{min} = 2\sqrt{\frac{V}{c\,\hat{T}}} \qquad [34]$$

V est le volume, en mètre cubes ;

c est la vitesse du son, en mètres par seconde ;

$\hat{T}$ est une estimation de la durée de réverbération attendue, en secondes

La séparation entre les éléments de mesure (source et microphone) et les surfaces de la pièce (murs, sol, plafond, etc.) doit être au moins d'un quart de longueur d'onde (environ un mètre). Il convient d'éviter aussi les positions symétriques (Légifrance, 2003).

Dans les modes opératoires de mesurage de la norme, deux procédés possibles sont décrits : méthode de bruit interrompu et méthode de réponse impulsionnelle intégrée. Nous utilisons la méthode de bruit interrompu, une source omnidirectionnelle (Type 4296-12-speaker high power

de Brël & Kjaer) pour la génération d'un bruit rose et un sonomètre de classe 1 - BEDROCK SM90 pour l'enregistrement.

Dans les établissements scolaires, la durée de réverbération est également mesurée avec l'émission d'un signal MLS via la source omnidirectionnelle et l'enregistrement de la réponse de la salle avec un microphone de mesure omnidirectionnel M2010 ½'' de NTI. À partir de la réponse enregistrée, la réponse impulsionnelle est calculée et grâce à la décroissance énergétique de la réponse impulsionnelle le temps de réverbération de la salle est calculé.

3.2.2.2.2.3 Expression des résultats

Les résultats obtenus sont exprimés en secondes et par octave entre 125 et 4000 Hz. Les valeurs sont représentées graphiquement mais également dans un tableau. La durée de réverbération montrée correspond à la moyenne de la totalité des courbes de décroissance de l'ensemble des points de mesure.

3.2.2.2.3 Coefficient d'absorption acoustique in situ

Les valeurs vues auparavant sont des valeurs générales sur les propriétés acoustiques des salles où des facteurs comme le volume et la forme peuvent être aussi déterminantes que la nature des parois. À ce propos et dans le but de connaître un peu plus précisément l'apport de la terre crue dans la qualité acoustique des pièces étudiées, les coefficients d'absorption in situ sont mesurés.

3.2.2.2.3.1 Méthode de mesure directe de l'impédance

L'appareillage et le système de mesure utilisé sont basés sur **la méthode de mesure directe de l'impédance à l'aide d'une sonde PU** (pression P, vitesse des particules).

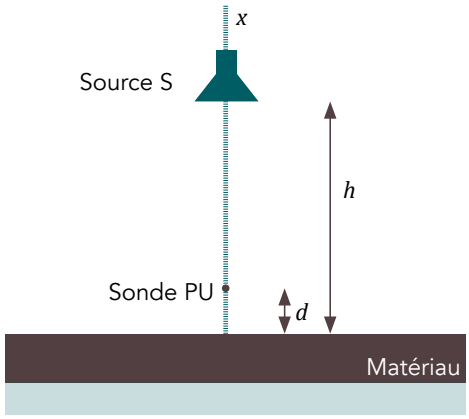


Figure 47 Schéma de la configuration de mesure avec la méthode impulsionnelle sous incidence normale (Benoit, 2013).

La sonde PU combine un capteur de vitesse particulaire et un microphone (pression). Cette combinaison permet de réaliser des mesures de pression et de vitesse simultanément au même point (Lanoye et al., 2004; Benoit, 2013). Donc en plaçant la sonde PU au-dessus du matériau, il est possible d'obtenir directement l'impédance de ce point car l'impédance correspond au ratio de la pression et de la vitesse particulaire en un point (Figure 47) (Benoit, 2013). Cependant, pour pouvoir considérer le point comme la mesure de l'impédance de surface, celui-ci doit être placé très près du matériau (Benoit, 2013).

Pour obtenir l'impédance de surface d'un matériau à partir de l'impédance de champ mesurée dans un point déterminé au-dessus de la surface, l'équipement utilisé se base sur le modèle source-image. Pour la prise en compte de la réflexion, une source-image est placée derrière l'échantillon à la même distance que la source physique de l'échantillon (Figure 48) (Lanoye et al., 2006; Benoit, 2013). Ce modèle considère la réflexion de type ondes planes (Lanoye et al., 2006; Benoit, 2013).

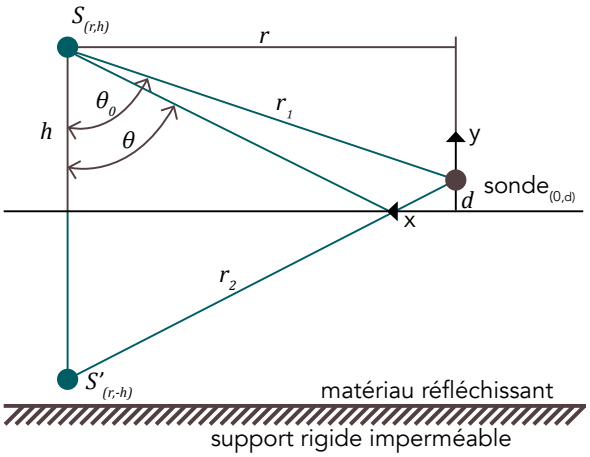


Figure 48 Modèle de source-image de la réflexion d'une onde sphérique sur un plan d'impédance (Lanoye et al., 2006).

Le coefficient de réflexion des ondes planes dépendant de l'angle $R_p\ (w,\theta)$, qui peut être calculé à partir d'une impédance mesurée à une distance normale d au-dessus de la surface, est donné par l'équation [35] (Lanoye et al., 2006) :

$$R_p(w,\theta) = e^{ik(r_1-r_2)}\frac{r_2}{r_1}\frac{Z(d,x)\frac{1-ikr_1}{-ikr_1}\cos\theta_0 - \rho_0 c}{Z(d,x)\frac{1-ikr_2}{-ikr_2}\cos\theta_0 + \rho_0 c} \qquad [35]$$

r_1 est la longueur du trajet direct

r_2 est la longueur du point de mesure à la source-image

θ est l'angle d'incidence spéculaire

θ est l'angle entre la normale à la surface et le chemin qui relie la source et le point de mesure.

Les mesures réalisées sont faites en incidence normale (perpendiculaire à la surface). Cependant il est possible d'obtenir l'absorption en champs diffus α_d par l'équation [36] (Allard, J.F. et Atalla, 2009).

$$\alpha_d = \frac{\int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} \alpha(\theta)\cos\theta\sin\theta\, d\theta}{\int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} \cos\theta\sin\theta d\theta} \qquad [36]$$

Où $\alpha(\theta) = 1 - |R(\theta)|^2$, où $R(\theta)$ est le coefficient de réflexion avec indidence d'angle θ [37]

Le coefficient d'absorption pour un angle θ, peut être obtenu à partir du coefficient de réflexion en incidence normale (θ=0).

Donc, pour commencer, l'impédance caractéristique (Z_0) est calculée :

$$Z_0 = \rho_0 c_0 \qquad [38]$$

Où ρ_0 est la densité de l'air et c_0 la vitesse du son dans le milieu (dans notre cas l'air)

Selon (Allard, J.F. et Atalla, 2009), il est possible d'obtenir le coefficient de réflexion par :

$$R(\theta) = \frac{Z_s \cos\theta - Z_0}{Z_s \cos\theta + Z_0} \quad [39]$$

En incidence normale, $\theta = 0$, ce qui signifie que le coefficient de réflexion R est donné par :

$$R = R(0) = \frac{Z_s - Z_0}{Z_s + Z_0} \Rightarrow \text{selon (Lanoye et al., 2004)} \quad Z_s = Z_0 \frac{1+R}{1-R} \quad [40]$$

Une fois obtenu Z_s par rapport aux $R(0)$, coefficients de réflexions mesurées in situ, en utilisant l'équation [39], il est possible de calculer $R(\theta)$ pour chaque angle nécessaire dans l'équation [37].

3.2.2.2.3.2 Mode opératoire[23]

Les mesures du coefficient d'absorption in situ sont réalisées avec une source et une sonde Pression - Vitesse des particules (PU) de la société néerlandaise Microflown (Annexe 1.1.6). Le système portable développé permet d'obtenir les coefficients d'absorption à partir de la mesure directe d'impédance.

Une fois que l'ensemble des équipements sont branchés et avant commencer les mesures des échantillons, une mesure de calibration avec une mousse de référence est réalisée. Le processus est le suivant :

1. Introduire les données de température ambiante (°C), de pression atmosphérique (Pa) et d'humidité relative % sur le logiciel « Microflown Velo 5 » de l'ordinateur.
2. Réalisation de mesure en champ libre (s'assurer d'être assez éloigné de toute surface réfléchissante) (Figure 49).
3. Réalisation de la mesure sur la mousse de référence (Figure 49).

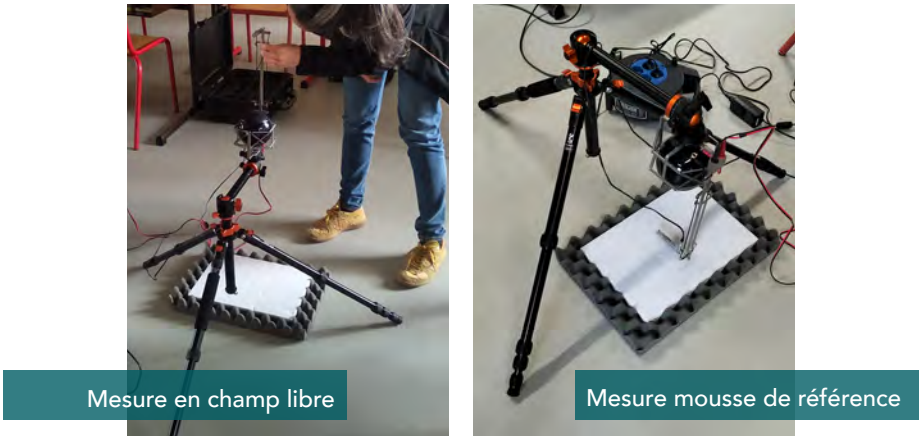


Figure 49 Mesures pour la calibration.

Par la suite, les mesures de différentes parois sont réalisées. Sous incidence normale, une surface de 30x30cm est suffisante pour obtenir des résultats corrects. Selon le manuel et les études menées par la société Microflown, il est recommandé d'être le plus près possible de la surface à mesurer (à environ 5mm). Avant de réaliser la mesure cette donnée doit être introduite dans le programme.

[23] L'ensemble du procès de mesure est expliqué dans la vidéo suivante : https://www.youtube.com/watch?v=dyY9dciGGa4

En basses fréquences le système de mesure n'est pas très fiable. La gamme de fréquences typiquement utilisable va de 300Hz à 10.000Hz. Le système de mesure est également plus adapté pour des surfaces absorbantes donc sur des surfaces plus réfléchissantes, les données obtenues peuvent être moins précises.

Chaque typologie de parois analysée dans cette thèse a impliqué un minimum de 3 points de mesure moyennés par la suite.

3.2.2.2.3.3 Expression des résultats

Le système de mesure et le programme utilisés permettent d'obtenir : l'impédance, la phase d'impédance, l'absorption et la réflexion (Figure 50).

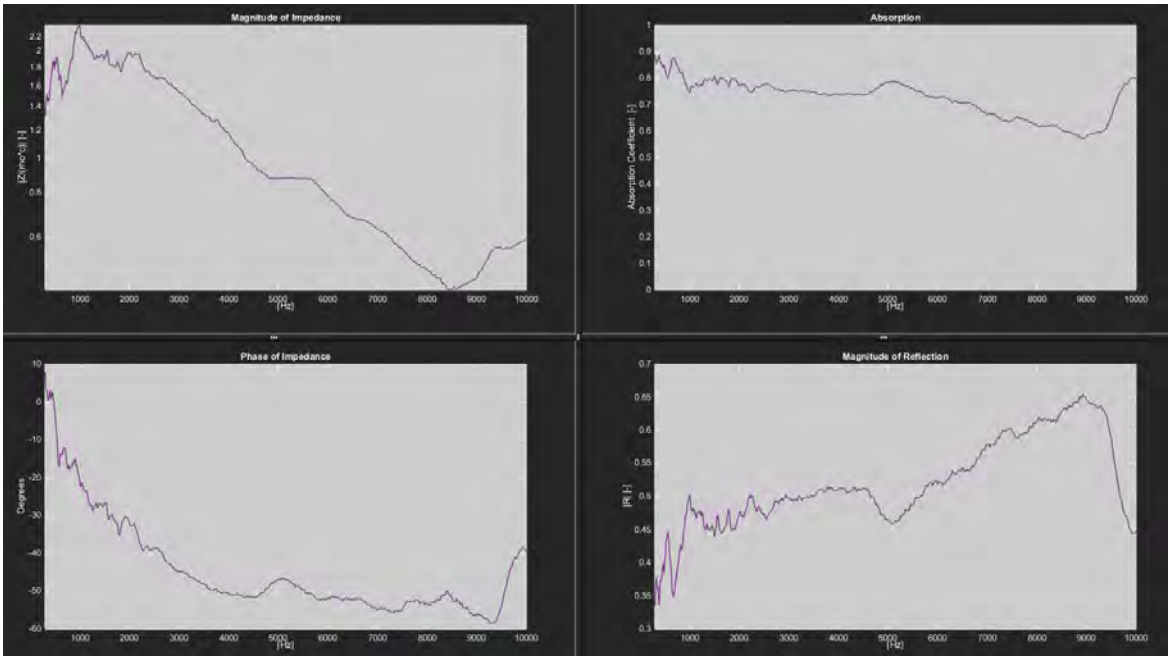


Figure 50 Exemple de mesure réalisée d'une parois terre-chanvre. Programme : Microflown Velo 5.

Dans le cadre de cette thèse, nous nous intéressons particulièrement à l'absorption donc nous analyserons les valeurs moyennes de l'ensemble des points de mesure, tant par fréquence que par tiers d'octave.

3.2.2.3 Acoustique interne – La mesure au laboratoire (tube de Kundt)

En ce qui concerne le laboratoire, la méthode de caractérisation utilisée pour l'absorption acoustique repose sur l'utilisation du tube de Kundt (Annexe 1.3) selon le protocole standard ISO 10534-2. Le principe est basé sur les mesures de la fonction de transfert entre deux microphones. Les pressions acoustiques sont mesurées en deux endroits du tube par les deux microphones placés à une distance de 5cm entre eux. À partir de ces signaux, la fonction de transfert acoustique complexe est déterminée dans la gamme de fréquences entre 400-3150Hz (Lacasta et al., 2021). Les éprouvettes sont cylindriques, d'un diamètre de 50 mm et d'une épaisseur de 10mm pour reproduire l'épaisseur courante d'un enduit. Comme dans les mesures d'absorption in situ les caractérisations se font en incidence normale.

3.2.2.3.1.1 Domaine d'application et réglementation

La méthode d'essai décrite dans la norme ISO 10534-2, est couramment utilisée pour la recherche fondamentale et le développement des produits (AFNOR, 2003). Dans le cadre de cette thèse, cette méthode devient intéressante car elle permet la manipulation des échantillons de faibles dimensions et par conséquent l'étude d'un plus grand nombre de mélanges (en proportion de fibres, nature, etc.).

3.2.2.3.1.2 Mode opératoire

Dans un premier temps les terres utilisées dans les éprouvettes sont caractérisées. Les terres correspondent à celles utilisées dans les établissements scolaires de Bouvron et de Baulon où deux salles de classe sont modélisées par la suite (partie 3.2.2.5.1).

Dans le cas des terres les essais suivants sont réalisés :

- Pour déterminer la distribution granulométrique des particules du sol :
  - Granulométrie par voie humide.
  - Sédimentation selon la norme UNE-EN ISO 17892-4 : 2019- Point 5.3 (AENOR, 2019).
- Pour estimer la plasticité et la cohésion des sols :
  - Détermination des limites de liquidité et plasticité selon la norme NF EN ISO 17892-12 (AFNOR, 2018).
- Pour connaitre la structure cristalline des minéraux argileux (la nature) (Hubert, 2008) :
  - Diffraction et fluorescence des rayons X. Voir (Thiry et al., 2013) pour la technique de préparation des échantillons.

Par la suite les éprouvettes sont réalisées avec la terre tamisée à 2,5mm afin d'assurer un enrobage correct de l'ensemble des grains par rapport à l'épaisseur des éprouvettes (10mm). Les fibres sont également tamisées à 4mm pour faciliter la fabrication des éprouvettes. La quantité d'eau est ajustée à chaque mélange pour obtenir des consistances aptes pour le moulage.

Les éprouvettes sont séchées à température et humidité ambiante. Cependant, avant la réalisation des mesures dans le tube de Kundt, elles sont stabilisées dans une chambre climatique à 20°C et 60% d'humidité pour avoir des caractéristiques égales pour l'ensemble d'éprouvettes avant la mesure.

À partir du poids après le passage dans la chambre climatique et le calcul du volume par Scan 3D (Scanner 3D Hybride Shining 3D Einscan HX), la densité apparente en kg/m^3 des éprouvettes est calculée.

Figure 51 Calcule du volume par Scanner 3D Hybride Shining 3D Einscan HX.

Mesures dans le tube de Kundt

Avant toute mesure, la température ambiante (°C), la pression atmosphérique (HPa) et l'humidité relative (%) de la pièce sont enregistrées.

Par la suite, avec une mousse absorbante, les microphones des mesures sont calibrés en échangeant les positions entre eux pour vérifier leur concordance (Figure 52).

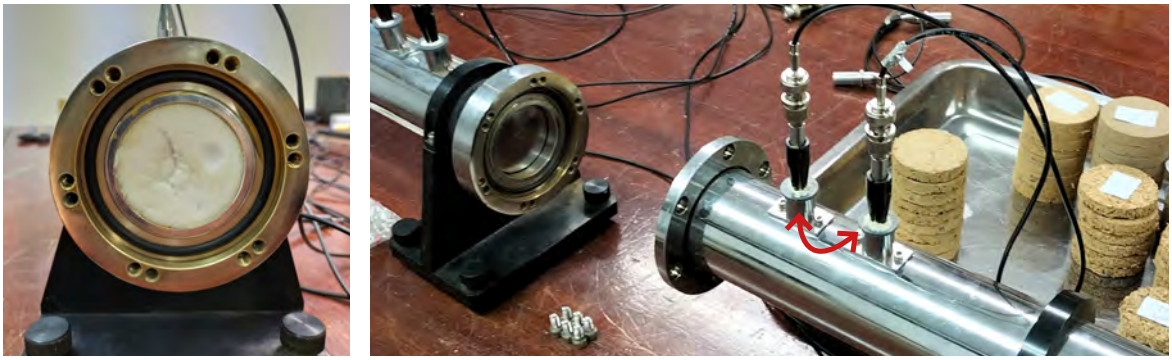


Figure 52 Calibration des microphones de mesure avec la mousse de référence.

Une fois l'étanchéité assurée avec l'incorporation d'une sorte de pâte autour du périmètre de chaque éprouvette à mesurer (Figure 53), la mesure d'absorption est réalisée un minimum de deux fois pour chacune.

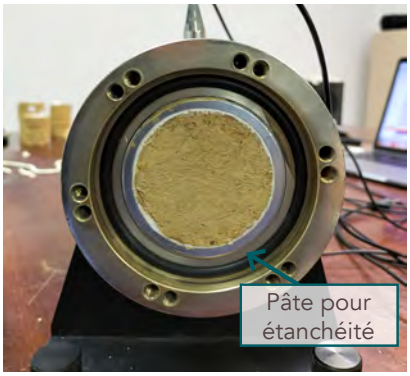


Figure 53 Incorporation de pâte dans le périmètre de l'éprouvette pour assurer l'étanchéité (exemple).

3.2.2.3.1.3 Expression des résultats

Les résultats sont exprimés par fréquence mais entre 400-3150Hz. Elles sont accompagnées à chaque fois de photographies et de données générales comme la référence de la terre, la nature de la fibre, les proportions de terre et de fibre, la densité (kg/m^3), la date de réalisation et les conditions ambiantes de la salle comme la température (°C), l'humidité relative (%) et la pression atmosphérique (HPa) (Annexe 4.5).

3.2.2.4 L'intelligibilité à la parole – La prise de mesure in situ

3.2.2.4.1 STI (Speech Transmission Index)

Le STI est mesuré dans l'ensemble des cas d'études à l'aide du système spécifique de mesure de STI Bedrock (Annexe 1.1.4).

3.2.2.4.1.1 Domaine d'application et réglementation

Comme spécifié dans la norme NF EN 60268-16, l'indice STI peut être utilisé pour mesurer l'intelligibilité potentielle de la parole et la communication dans les salles de classe. Cette norme propose également dans le tableau 2 du point 4.3 les formes de STI recommandées pour divers types d'application. Dans le cas précis de salle pour la communication parlée (sans amplification électronique) comme c'est le cas des salles de classe, il est recommandé de réaliser l'essai STIPA (Speech Transmission Index for Public Address systems). Cependant, le STIPA n'est pas adapté au spectre féminin (spectre masculin uniquement). Donc, en ayant une majorité d'enseignants femmes dans les écoles, l'utilisation de l'essai FULL STI est choisie, plus adapté au deux spectres (masculin et féminin) (AFNOR, 2015).

Dans les cas des salles de classes où il existe des messages complexes mais aussi des mots familiers, la norme considère un STI de 0,62 comme apte pour assurer une bonne intelligibilité de la parole.

3.2.2.4.1.2 Mode opératoire

La prise de mesure est réalisée selon les indications (manuelles) du commercial du système STI Bedrock conforme à la norme NF EN IEC 60268-16. Dans un premier temps, le bruit de fond de la salle est mesuré et introduit sur la fonction FULL STI du sonomètre SM90. Par la suite la source calibrée Talkbox BTB65 est placée dans une position hypothétique que la maitresse ou le maitre aurait pu prendre dans la salle, par exemple à côté du tableau blanc, et le signal prévu pour la mesure de FULL STI est lancé. Pour l'enregistrement, le sonomètre est placé à différents emplacements de la classe (entre 5 et 6 points) (Figure 54). Avoir différents points de mesure permet de comprendre comment l'intelligibilité change dans une même classe, selon la distance à la source, les matériaux des parois autour, la géométrie, etc.

Figure 54 Exemple de mesure de STI avec placement de la source et le sonomètre.

3.2.2.4.1.3 Expression des résultats

Les résultats de la mesure sont exprimés entre 0 et 1, 1 étant la valeur correspondant à la meilleure intelligibilité. Les résultats sont accompagnés des plans avec les points de mesure.

3.2.2.5 La simulation acoustique CATT Acoustique

Le travail sur le logiciel de simulation acoustique CATT-Acoustic (Annexe 1.4.1) a deux objectifs principaux. D'un côté, l'obtention d'un modèle numérique le plus proche de la réalité afin de mieux comprendre l'implication de la terre crue dans la qualité acoustique de la salle. De l'autre côté, relier les mesures in situ avec les mesures en laboratoire. Cette dernière partie permettra de faire des hypothèses, en utilisant les valeurs obtenues dans le tube de Kundt, sur la qualité acoustique des salles de classe si la terre crue avait été travaillée de façon différente ou placée dans d'autres parois de la classe.

3.2.2.5.1 Cas d'études

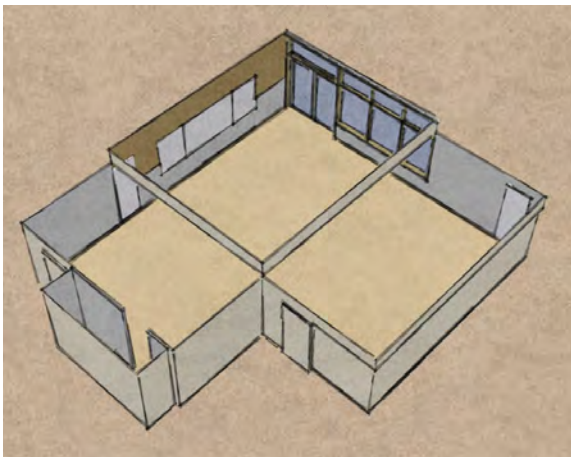
Pour la simulation en CATT- Acoustique, deux salles de classe sur lesquelles il était possible de faire des mesures physiques sans le mobilier sont utilisées. La présence de mobilier a une influence importante sur les données de temps de réverbération et spécialement sur la plage des fréquences moyennes. Donc l'absence de mobilier permet la mise en place d'un modèle numérique plus focalisé sur l'architecture et la composition des parois.

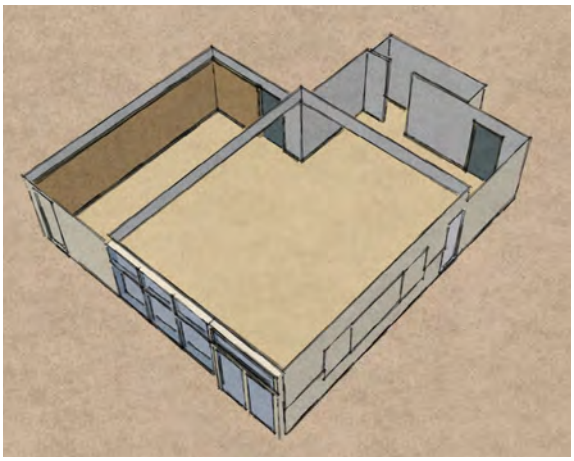
Les deux salles de classe simulées correspondent à une salle de classe de l'école de Bouvron et une de l'école de Baulon.

3.2.2.5.1.1 Classe de Bouvron - Classe 7

La classe numéro 7 a un volume d'environ 240m^3, si les toilettes intégrées dans la classe et sans porte de séparation sont prises en compte. Sans les toilettes la classe a un volume de 231m . La classe est située dans la partie Nord-Est du bâtiment. Toute la façade Nord est un mur de façade avec 2/3 de la surface vitrée. Le mur séparatif avec la classe 6 est réalisé avec de la bauge et avec des briques d'adobe pour la partie haute du mur. La partie inférieure du mur en terre est stabilisée avec de la caséine. Le reste des murs de la classe sont doublés par des plaques de plâtre peints. Le tableau blanc ainsi qu'un revêtement en liège sont fixé sur le mur Ouest. Le sol est du linoléum, le plafond haut est de type résille bois (lames ajourées) avec matelas absorbant acoustique et les plafonds bas sont des panneaux absorbants de type Organic minéral.

La classe n'est pas meublée car elle est utilisée comme classe de motricité mais elle a été conçue comme une salle de classe (Figure 55 et Figure 56).





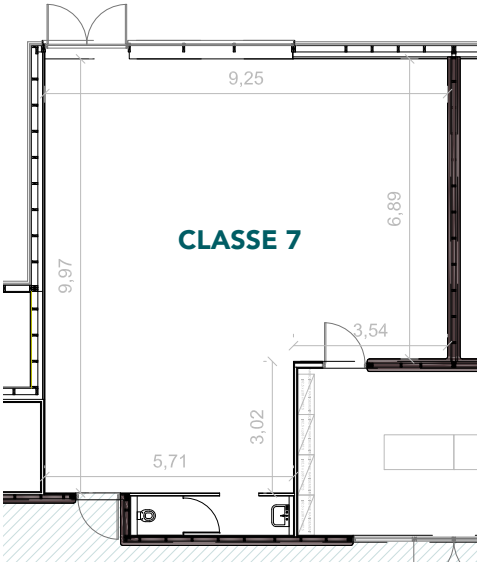


Figure 55 Plan courant de la salle de classe et vue 3D – Bouvron.

Figure 56 Photographies de la classe 7

Caractéristiques des surfaces des salles de classe

Volume de la classe	Surfaces verticales (m²)								
	Mur Placo (classe + bain)	Mur terre	Liège	Tableau blanc	Radiateur	Plinthe bois (classe + bain)	Portes (feuille + bain)	Fenêtres (vitrage + cadre métal + ossature bois)	**TOTAL**
≈240m³ ≈231m³(1)	74,5 (55,5+19)	17,8	8,3	5,2	3,7	4,8 (3,9+0,9)	4,2 (3,7+0,5)	20,2 (11,3+2,2+6,7)	**138.7**
(%)	**53,71%**	**12,83%**	**5,98%**	**3,75%**	**2,67%**	**3,46%**	**3,03%**	**14,56%**	**100.00**

(1) Avec toilette

	Surfaces horizontales (m²)			
	Sol	Plafond h_1 (3,05m)	Plafond h_2 (2,55m) (classe + bain)	**TOTAL**
	85,2	40,2	45,9 (42.6 +3.3)	**171.3**
(%)	**49,74%**	**23,47%**	**26,80%**	**100.00**

Tableau 9 Nature et surfaces des matériaux de la classe 7- Bouvron

3.2.2.5.1.2 Classe de Baulon (Classe 2)

La classe numéro 2 a un volume d'environ 258m^3, elle est située dans la partie centrale du bâtiment. Les murs Nord et Sud sont des murs de façade vitrés en bonne partie et surtout le mur Sud. Les parties intérieures des façades sont réalisées avec des plaques de Placoplatre peints. Les murs de refend à l'Ouest et à l'Est sont en torchis avec une structure en bois et un remplissage en terre crue et chanvre. Le sol est du linoléum. La charpente est apparente et le plafond est réalisé avec un plateau type Globalroof Plus-Arval (des panneaux acoustiques métalliques perforés) (Figure 57 et Figure 58).

La classe est meublée et utilisée comme classe de CE1 actuellement, mais les mesures ont été réalisées pendant la phase chantier et donc sans les meubles.

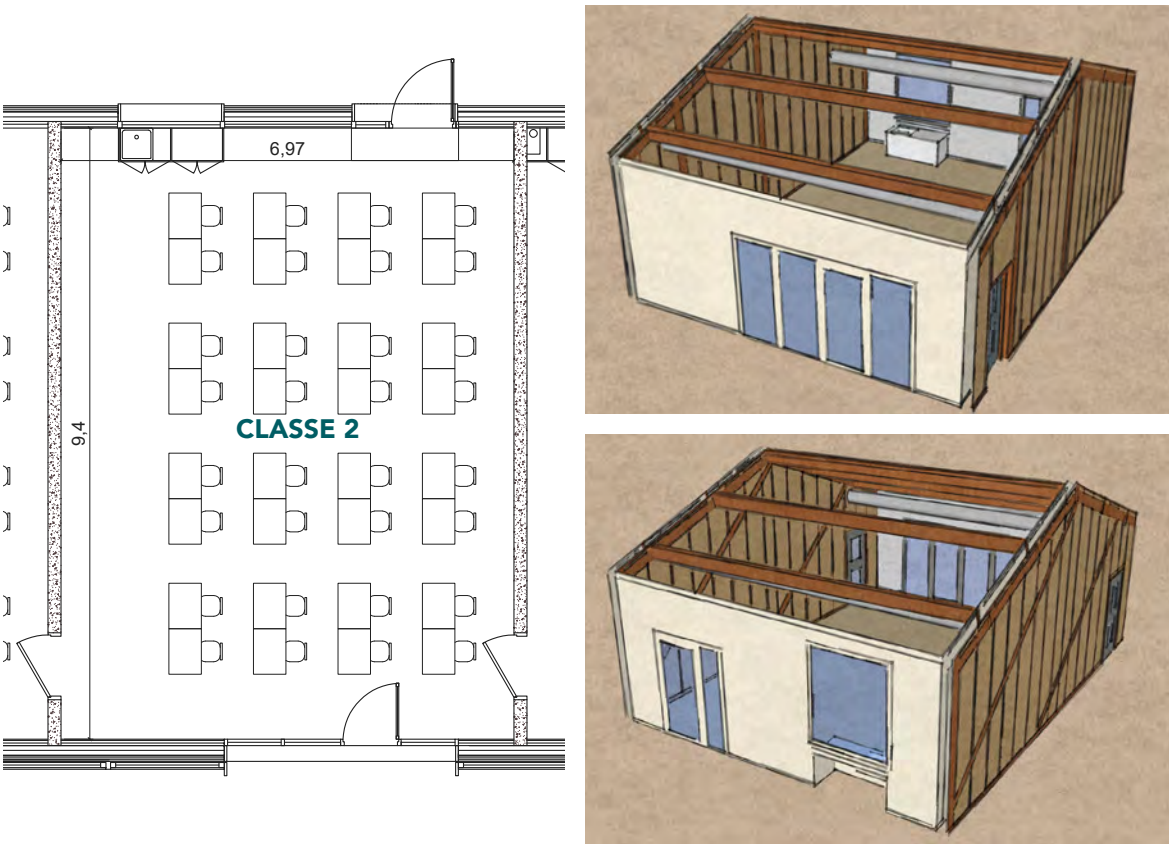


Figure 57 Plan courant de la salle de classe et vue 3D – Baulon.

Figure 58 Photographies de la classe 2, pas meublée.

Caractéristiques des surfaces des salles de classe

Volume de la classe	Surfaces verticales (m²)							
	Mur Placo	Mur terre	Ossature bois (torchis)	Ventilation	Plinthe bois	Portes int. (feuille + vitrage + cadre bois)	Fenêtres-Portes ext. (vitrage + cadre métal)	TOTAL
≈ 258 m³	26	53	16	15,3	2	4,95 (2,8+1+1,15)	15,56 (10,7+4,86)	**132,81**
(%)	**19,58%**	**39,91%**	**12,05%**	**11,52%**	**1,51%**	**3,73%**	**11,72%**	**11.22%**

	Surfaces horizontales (m²)			
	Sol	Plafond	Structure plafond	TOTAL
	64.1	69.3	38	**171.4**
(%)	**37.40%**	**40.43%**	**22.17%**	**100.00**

Tableau 10 Nature et surfaces des matériaux de la classe 7- Bouvron

3.2.2.5.2 Mode opératoire

Modèle géométrique

La simulation acoustique à l'aide de CATT-Acoustic se base sur un modèle géométrique en 3 dimensions qui, dans le cas de cette thèse, est réalisé sur SketchUp (Annexe 1.4.2). À partir d'un plugin spécifique « Sk2Geo» la géométrie est exportée sur le modèle de CATT-Acoustic. Les récepteurs et sources sont placés directement sur le modèle de SketchUp.

L'ensemble des vérifications du modèle géométrique comme l'intersection entre les plans, l'absence de ponts acoustiques, etc. sont réalisées sur CATT-Acoustic. C'est seulement quand le modèle géométrique n'a aucune erreur que les différents calculs peuvent être lancés.

Réglage des paramètres

Avant de lancer tout calcul, il est nécessaire de sélectionner les sources et récepteurs, introduire les données sur l'environnement de la salle (température et humidité relative) et, dans le fichier MAT.GEO (matériaux), préciser les coefficients d'absorption par bande d'octave <125 250 500 1000 2000 4000> et les coefficients de dispersion si nécessaire. Si les coefficients de dispersion ne sont pas spécifiés dans le fichier MAT.GEO, CATT établie un coefficient par défaut égal à 10%. Les valeurs d'absorption sont obtenues des notices de fabricants, des sources bibliographiques, mais aussi des mesures de coefficient d'absorption in situ dans le cas de la terre crue.

Le calcul de vérification

Une fois toutes les données introduites, le calcul par rayon de « Interactive RT estimation » est lancé et comparé avec le temps de réverbération obtenu in situ (Ref RT). Les coefficients d'absorption introduits sont modifiés et adaptés au modèle jusqu'à obtenir un calcul de RT similaire à celui mesuré in situ.

Calculs et variantes

Une fois notre modèle est en accord avec la réalité mesurée, nous réalisons des modifications sur les coefficients d'abortions de parois afin de vérifier si des enduits en terre, plus ou moins fibrés, peuvent générer des changements significatifs dans les propriétés acoustiques des classes. Les valeurs utilisées sont celles obtenues en laboratoire (tube de Kundt).

3.3 L'approche sensible (données subjectives)

Les critères de qualification d'une ambiance sonore sont dépendants des caractéristiques physiques du son, de l'espace où il est entendu mais aussi des conditions socio-culturelles comme l'âge, les expériences antérieures en matière de son, les préférences sonores, etc. (Semidor, 1999; López Barrio et al., 2000). Cependant, la perception d'un environnement est en lien direct avec les rapports sensibles de l'individu et son entourage mais pas que, car elle est aussi construite à partir de représentations individuelles et collectives (le vécu, l'expérience et la remémoration) (Lavandier et Raimbault, 2011).

L'étude des ambiances sonores et plus particulièrement la partie concernant le sensible n'est pas chose aisée. Comme énoncé par (Manola, 2022) : « le sensible englobe à la fois du sensoriel (ce que nous pouvons éprouver par nos sens), du signifiant (le sens donné à ce qui est vécu par les sens) et du qualifiant (le rapport affectif que cela peut produire) ». La complexité à saisir et étudier le sensible nous amène à l'emploi de techniques d'enquête hybrides avec une combinaison d'outils inspirés à la fois des sciences humaines et sociales, des modes de représentation et de conception, de la géographie, de l'art, etc. (Manola, 2022). Comme exposé par plusieurs auteurs, c'est dans la mixité et la combinaison de méthodes que souvent les études sur les ambiances sont situées, les cas où une seule méthode est utilisée sont rares (Grosjean, 2001; Joanne et al. , 2012). Quelle que soit la méthode ou les méthodes utilisées, le véritable enjeu repose sur le passage de l'expérience perçue et vécue dans un espace à son évaluation et son interprétation. Pour celui-ci, la production et le recueil de données pour une analyse ultérieure sont essentiels. Les données proviendront de l'observation, de l'analyse des discours (oral ou écrit) mais également d'autres sources d'expression comme la représentation graphique, la photographie, les interphases numériques, etc.

Dans le cadre de cette thèse, plusieurs techniques d'enquête d'ordre quantitatif et qualitatif sont employées. La différenciation nette entre les deux types de données n'est pas toujours évidente ni absolue, car si nous pouvons penser que les recherches les plus rigoureuses sont celles qui font appel à des méthodes très formalisées, la rigueur peut être également présente dans l'imagination et l'inventif du chercheur/euse (Bryman, 2012; Joanne et al., 2012). Il existe de multiples approches pour documenter et travailler sur une recherche. La plus judicieuse dans le cadre de cette thèse est de parler de méthodologie mixte comprise comme l'approche méthodologique qui combine techniques quantitatives et qualitatives pour répondre à ses questions de recherche (Pacheco, 2002; Bryman, 2012; Hernández Sampieri et al., 2014; Chavez-Montero, 2017; Schoonenboom et Johnson, 2017; Creswell et Plano Clark, 2018). L'utilisation d'une méthodologie mixte a pour but d'obtenir une vision plus complète et large des phénomènes à étudier (Chavez-Montero, 2017; Schoonenboom et Johnson, 2017). En fin de compte, l'utilisation d'une méthodologie mixte consiste à accroître la connaissance et la validité de la recherche menée (Schoonenboom et Johnson, 2017).

La recherche par méthodes mixtes est développée entre les années 1950 et 1980, cependant c'est au début du siècle qu'elle montre une vraie expansion en arrivant à atteindre une reconnaissance et une approche distinctives dans diverses disciplines et dans divers pays du monde. Elle a même été qualifiée de « troisième mouvement méthodologique » (Bryman, 2012; Hernández Sampieri et al., 2014; Creswell et Plano Clark, 2018). En 1989, après l'analyse de plusieurs études ayant utilisé des méthodes mixtes, Greene, Caracelli et Grahan introduisirent une classification, toujours utilisée (Greene, 2007), sur les modèles plus représentatifs de la recherche par méthodes mixtes (Figure 59) (Aldebert et Rouzies, 2010; Schoonenboom et Johnson, 2017; Creswell et Plano Clark, 2018).

La **TRIANGULATION**	La **COMPLÉMENTARITÉ**	L'**EXPLICATION**	L' **INITIATION**	L'**EXPLORATION**
vise la convergence, la corroboration et la correspondance des résultats de différentes méthodes.	cherche l'élaboration, l'amélioration, l'illustration, la clarification des résultats d'une méthode avec les résultats de l'autre méthode.	cherche à utiliser les résultats d'une méthode pour aider à développer ou à informer l'autre méthode, où le développement est interprété au sens large pour inclure l'échantillonnage et la mise en œuvre, ainsi que les décisions de mesure.	vise la découverte de paradoxes et de contradictions, de nouvelles perspectives de cadres, la refonte de questions ou de résultats d'une méthode avec des questions ou des résultats de l'autre méthode.	vise à étendre l'ampleur et la portée de l'enquête en utilisant différentes méthodes pour différentes composantes de l'enquête.

Figure 59 Modèles principaux de la recherche par méthodes mixtes (Schoonenboom et Johnson, 2017).

Suite au travail mené en 2006 par Bryman (Bryman, 2006) ces modèles ont été complétés par d'autres façons de combiner la recherche quantitative et qualitative, dont il énumère les suivantes : triangulation, compensation, exhaustivité, processus, questions de recherche différentes, explication, résultats inattendus, élaboration d'instruments, échantillonnage, crédibilité, contexte, illustration, utilité, confirmer et découvrir, diversité des points de vue et amélioration (Bryman, 2012).

Dans le cadre de cette thèse les modèles les plus adaptés sont la triangulation, la complémentarité et l'explication (Figure 60).

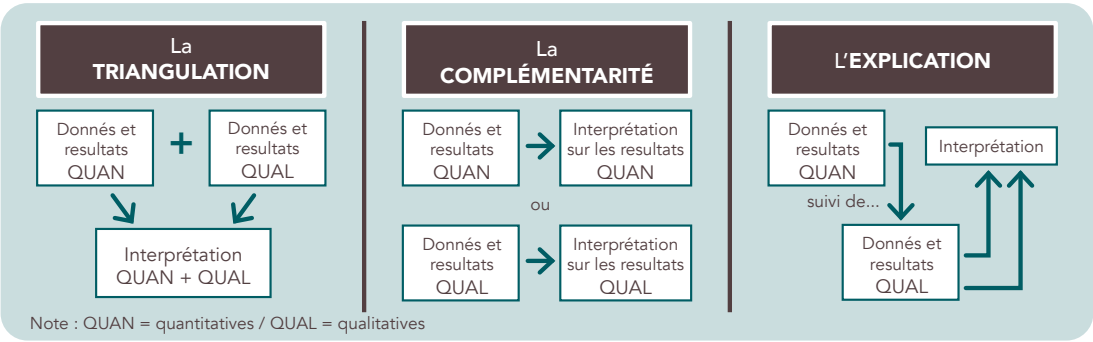


Figure 60 Modèles mixtes utilisés dans le cadre de cette thèse. Schémas inspirés de (Aldebert et Rouzies, 2010; Creswell et Plano Clark, 2011).

Dans la Figure 61, l'ensemble des techniques de collecte et d'analyse des données utilisées dans le cadre de cette thèse sont exposées. Cependant, pour la nature de cette recherche mais également par rapport au public ciblé (adultes et enfants) plusieurs des techniques ont été, à plusieurs reprises, adaptées et même complétées par d'autres travaux et activités propres. Dans la partie 3.3.2, les techniques d'enquête comme les adaptions réalisées sont expliqués précisément.

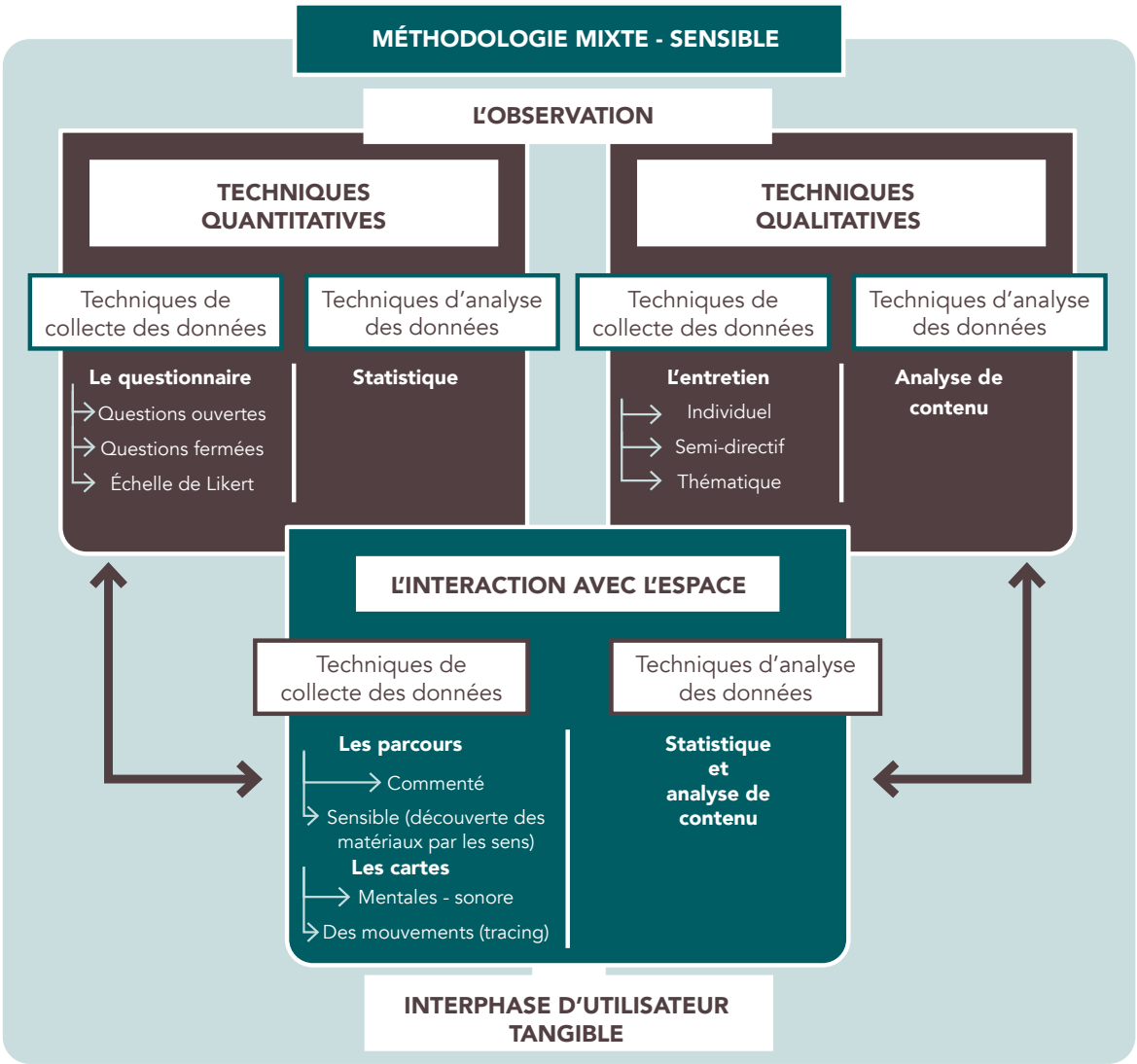


Figure 61 Techniques de collecte et analyse des données sensibles de cette thèse.

3.3.1 Fondements théoriques des techniques de recueil d'information

3.3.1.1 Approche quantitative et ses techniques

L'approche quantitative cherche des explications sur les phénomènes délimités à partir de la relation entre variables objectives des données numériques et comptabilisables collectées (Kamolson, 2007; Bryman, 2012; Hernández Sampieri et al., 2014; Creswell et Creswell, 2018). L'analyse des données et les relations entre variables emploient généralement des méthodes mathématiques et en particulier statistiques (Kamolson, 2007; Bryman, 2012; Hernández Sampieri et al., 2014; Creswell et Creswell, 2018).

Le procès quantitatif est défini comme déductif car il part d'une révision de la théorie pour établir une stratégie de recherche où l'objectif principal est la formulation et la démonstration de théories (Bryman, 2012; Hernández Sampieri et al., 2014). Les études quantitatives portent sur un procès séquentiel et probatoire des théories initialement identifiés (Hernández Sampieri et al., 2014).

De par leur nature, les procédés sont plus facilement reproductibles que les études qualitatives et permettent une facile comparaison avec des études similaires (Hernández Sampieri et al., 2014).

À partir de l'analyse bibliographique, l'approche quantitative peut être abordée comme exploratoire, descriptive, explicative ou relationnelle (Hernández Sampieri et al., 2014). Dans le cas de cette thèse et en ce qui concerne l'approche sensible, nous réaliserons une étude plutôt **exploratoire** car nous cherchons à apporter une nouvelle perspective d'étude depuis l'approche des ambiances pour les constructions en terre crue. Dans un même temps, nous cherchons à apporter des pistes d'analyse pour des futures études (Hernández Sampieri et al., 2014).

Les techniques et les outils de recueil ou les mesure des données quantitatives sont multiples et même parfois sont combinés dans une même étude (Hernández Sampieri et al., 2014). Dans la Figure 62 certains des outils les plus communs et les couramment utilisés selon (Hernández Sampieri et al., 2014) sont exposés.

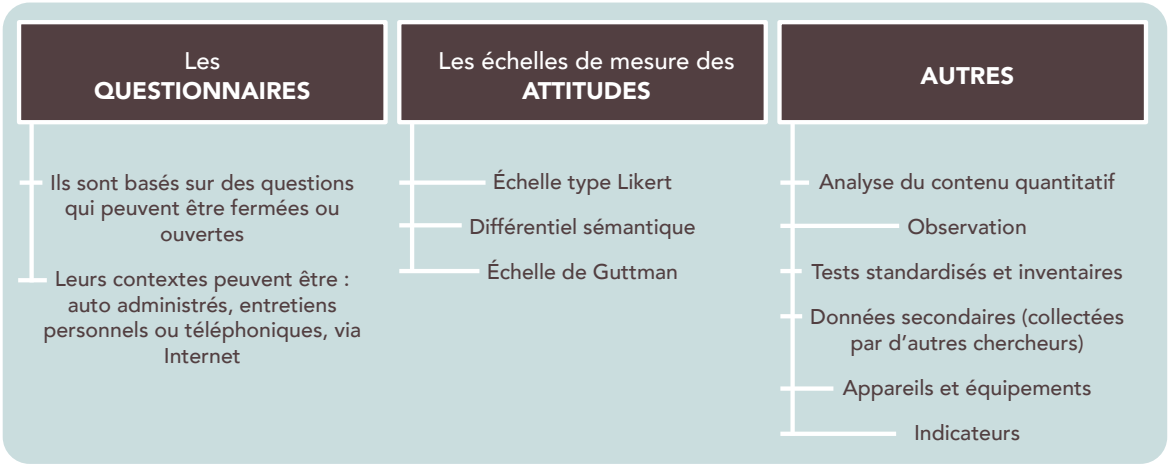


Figure 62 Types d'outils et techniques de recueil des données quantitatives selon (Hernández Sampieri et al., 2014).

Dans le cadre de cette thèse, nous avons opté pour l'utilisation principalement des questionnaires qui à la fois intègrent des questions ouvertes et fermées dans un contexte principalement auto administré (remplis par l'enquêté). Les questionnaires comprennent aussi des échelles type Likert[24] et différentiels sémantiques[25].

[24] « L'échelle de Likert, inventée par le psychologue Rensis Likert (1932), est une échelle bipolaire mesurant le degré d'accord avec une affirmation, aussi appelée item de Likert. Ce degré d'accord est généralement défini par cinq niveaux : 1- Pas du tout d'accord, 2- Pas d'accord, 3- Ni en désaccord ni d'accord, 4- D'accord, 5- Tout à fait d'accord. » (Séguin-Tremblay, 2012). Voir aussi : (Bryman, 2012; Hernández Sampieri et al., 2014).

[25] « La méthode du différentiel sémantique a été développée par le psychologue Charles E. Osgood à la fin des années 1950 dans le but de représenter graphiquement les différentes connotations associées à un concept par différents individus. La méthode consiste à demander aux interviewés de situer leur ressenti quelque part sur une échelle évaluative de sept degrés entre deux adjectifs de sens opposé désignant des qualités abstraites ou sensibles, afin de mesurer leurs réactions. » (Moreno, 2011). Voir aussi : (Martinez, 2011; Hernández Sampieri et al., 2014; Simó Solsona et Suárez Grimalt, 2020).

Dans l'analyse des données quantitatives réalisée, il y a deux principes fondamentaux à avoir en tête : les données statistiques obtenues représentent la réalité étudiée mais jamais la réalité en soi et deuxièmement les données numériques doivent être interprétées dans le contexte obtenu (Hernández Sampieri et al., 2014).

L'analyse quantitative est également employée pour d'autres techniques utilisées comme les « parcours commentés » (partie 3.3.1.3.1) ou les « cartes des mouvements » (partie 3.3.1.3.2).

3.3.1.1.1 Le questionnaire

Le questionnaire est une des techniques de recueil d'information quantitative la plus largement utilisée et surtout dans les disciplines de sciences sociales (Hernández Sampieri et al., 2014; Simó Solsona et Suárez Grimalt, 2020). Le questionnaire est composé d'une série de questions en relation avec une ou plusieurs variables à mesurer ou étudier (Hernández Sampieri et al. , 2014).

Entre la variabilité des questions possibles dans un questionnaire, il est possible de différencier questions fermées et questions ouvertes (Hernández Sampieri et al., 2014; Simó Solsona et Suárez Grimalt, 2020). Les questions fermées ont des réponses préalablement délimitées à option simple, multiple, échelle, etc. (Figure 63). Elles sont plus simples à codifier et analyser mais limitent les réponses des enquêtés et en conséquence les réponses possibles (Hernández Sampieri et al., 2014; Simó Solsona et Suárez Grimalt, 2020). Les questions ouvertes ne se limitent pas à l'avance, les possibilités de réponse donc les options sont multiples et théoriquement infinies (Hernández Sampieri et al., 2014). Les informations apportées sont plus larges et elles sont spécialement intéressantes quand nous n'avons pas assez d'informations pour prévoir des réponses délimitées ou nous estimons que la variété des réponses possibles peut enrichir notre étude (Simó Solsona et Suárez Grimalt, 2020). Elles sont également recommandées quand l'option des réponses que nous considérons possibles est très grande (Simó Solsona et Suárez Grimalt, 2020). Cependant, elles sont plus compliquées à codifier et analyser (Hernández Sampieri et al., 2014; Simó Solsona et Suárez Grimalt, 2020).

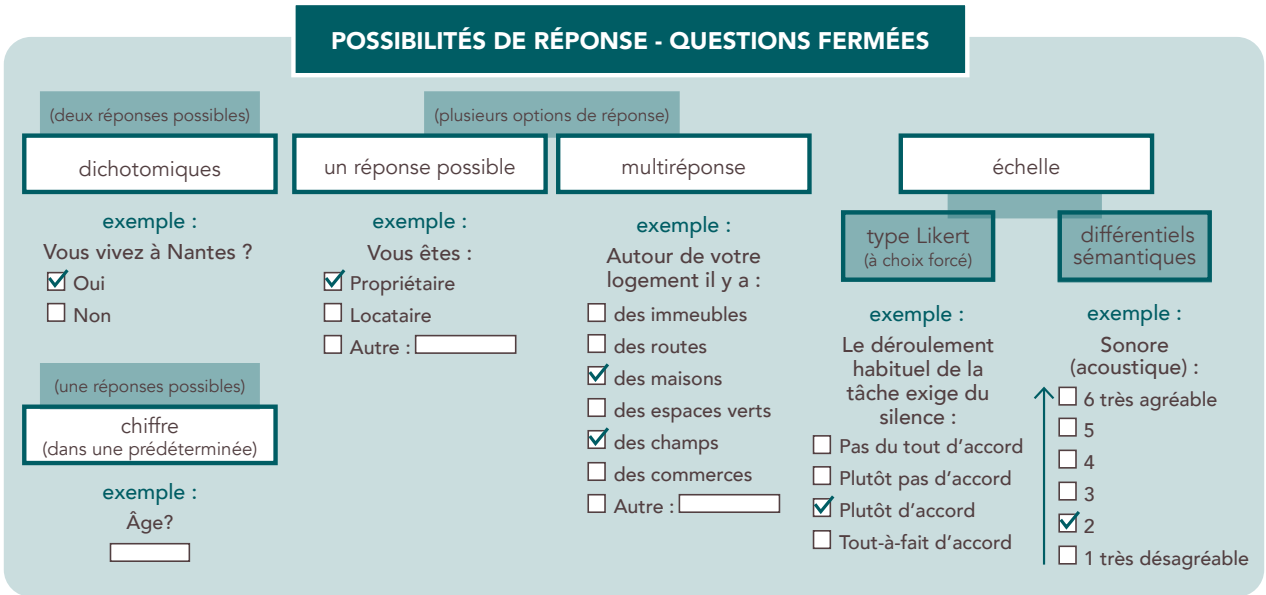


Figure 63 Possibles réponses fermées.

Selon l'information ou les données à obtenir, il existe les types de questions suivantes : questions factuelles (recueil des informations), questions comportementales (sur les activités et les habitudes des personnes enquêtées), questions sur les attitudes, les opinions, les croyances et sur les normes et les valeurs (plus basées sur la subjectivité que sur des faits observables) et les questions hypothétiques (présentant des situations non réelles et qui demandent un positionnement) (Simó Solsona et Suárez Grimalt, 2020).

Dans le cadre de cette thèse, les questionnaires sont composés par des questions fermées et ouvertes. Dans le cas des questions fermées, l'ensemble de possibilités de réponses exposé dans la Figure 63 sont utilisés. Les questionnaires utilisés comportent des questions factuelles, de comportement et d'attitude selon leurs parties.

Selon le mode d'administration des questionnaires, il est possible des distinguer auto administré et entretien structuré (Bryman, 2012; Hernández Sampieri et al., 2014). Les entretiens structurés peuvent être réalisés en personne ou par téléphone mais dans tous les cas c'est l'enquêteur qui pose les questions. En revanche, les questionnaires auto administrés sont remplis en autonomie par l'enquêté, ils peuvent être individuels, groupés, envoyés par courrier ou par internet (Bryman, 2012; Hernández Sampieri, et al., 2014; Simó Solsona et Suárez Grimalt, 2020).

Les questionnaires auto administrés permettent de donner la liberté aux enquêtés de répondre quand ils le veulent et le peuvent ainsi que prendre le temps qu'ils estiment nécessaire. Du fait de ne pas être présente pendant le remplissage du questionnaire, il est également recommandé de privilégier les questions fermées car elles ont tendances à être plus simples et rapides à répondre. Éviter les questionnaires trop longs et complexes pour minimiser le risque de fatigue mais également un bon design harmonisé et compact est fortement encouragé. La rédaction d'une carte de présentation en expliquant les raisons de la recherche et son importance est primordial pour encourager et faire comprendre l'importance de sa participation (Bryman, 2012).

Dans cette thèse les questionnaires sont réalisés principalement en auto administré (individuel et envoyé par courrier ou autres) sauf dans les salles d'expérimentation où les questionnaires ont été remplis sous forme d'entretien structuré. Ce dernier choix est fait principalement par rapport à la difficulté dans l'expression écrite et la lecture de certains participants mais également pour apporter des précisons si besoin.

Avec le travail de terrain accompli, les questionnaires devront être traités et préparés pour pouvoir être analysés. La première étape de ce procès est le codage, qui comporte l'application d'une sorte d'étiquette (numéro, symbole, mot…) pour repérer et identifier certains thèmes ou points dans l'ensemble des retours. Ces codes permettront d'obtenir la valeur des variables qui composeront la matrice des données (López-Roldán et Fachelli, 2015; Simó Solsona et Suárez Grimalt, 2020). Une fois le codage des réponses finalisé, les données sont informatisées pour permettre leur traitement ultérieur et leur analyse statistique (López-Roldán et Fachelli, 2015; Simó Solsona et Suárez Grimalt, 2020).

3.3.1.2 Approche qualitative et ses techniques

L'approche qualitative cherche la compréhension de la signification, les expériences et points de vue des participants avec le « pourquoi » au cœur de la recherche (Quinn Patton, 2015). L'approche qualitative permet également « d'explorer les émotions, les sentiments ainsi que l'expérience personnelle des individus concernés (Pegdwendé Sawadogo, 2020) » . À la différence de l'approche quantitative, l'approche qualitative est focalisée sur les discours, les récits de vie et les études comportementales plus que sur la quantification et l'analyse des données objectivables (Bryman, 2012; Pegdwendé Sawadogo, 2020). Donc la collecte de données est réalisée à partir de l'interaction avec les individus et en les observant (Bryman, 2012; Pegdwendé Sawadogo, 2020).

Les stratégies de recherche qualitatives sont plutôt inductives (elles partent de faits ou de résultats pour retrouver les explications et construire la théorie), constructionnistes et/ou interprétatives (on tente de comprendre les faits par l'interprétation des sujets) (Bryman, 2012). Cependant, il existe une grande variabilité de formes et de façons de mener une recherche qualitative et certaines diffèrent considérablement même entre elles (Bryman, 2012). Dans la Figure 64, un résumé des principales techniques et outils retrouvés dans différentes sources bibliographiques sont rassemblés.

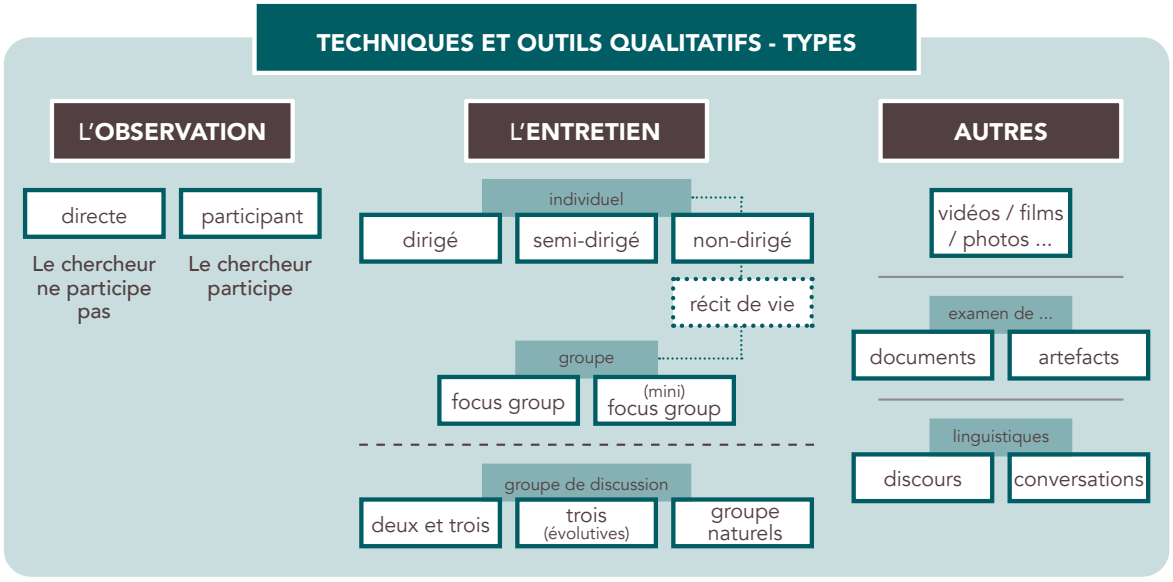


Figure 64 Types d'outils et techniques de recueil des données qualitatives à partir de : (Bryman, 2012; Hernández Sampieri et al., 2014; Pegdwendé Sawadogo, 2020).

Dans le cadre de cette thèse, des techniques d'observation directe, des entretiens semi-dirigés (semi-directifs) et d'autres outils comme des vidéos, des films, des photos et également des adaptions inspirées des cartes mentales, parcours commentés, etc. sont utilisés.

Souvent l'approche qualitative est décrite comme une stratégie plus ouverte qui peut créer des surprises, des changements de direction pendant les processus mais aussi de nouvelles connaissances (Bryman, 2006). Il faut également signaler que cette approche ne cherche pas la production de données représentatives donc généralisables d'un ensemble mais la meilleure compréhension d'un phénomène en tenant compte de son contexte et même souvent ce sont de phénomènes difficiles à mesurer (Pegdwendé Sawadogo, 2020).

Une des façons les plus courante pour l'analyse des données qualitatives récoltées est appelée

analyse de contenu, principalement focalis ée sur l'analyse des documents, des transcriptions et des textes en général mais il peut être élargi à des messages non textuels mais significatifs tels que les iconiques (Riba Campos, 2022). Dans cette technique d'analyse, ce n'est pas le style du texte qui est analysé mais les idées (López-Noguero, 2002). Elle est focalisée sur la signification des messages (mots, phrases, thématiques, etc.) (López-Noguero, 2002). Pour l'analyse des différentes données qualitatives obtenues dans cette thèse, nous travaillons sur la structuration en blocs thématiques définis dans la construction de notre objet d'étude et les questionnements initialement posés.

3.3.1.2.1 L'entretien

L'entretien est probablement la technique de recueil d'information qualitative la plus employée (Bryman, 2012; Verd et Lozares, 2016). Elle consiste en la collecte d'informations d'une ou d'un groupe de personnes par la voie principale de la question-réponse. Elle va intégrer plusieurs des éléments que nous pouvons trouver dans les conversations informelles et spontanées du quotidien mais sans perdre de vue que ce ne l'est pas (Valles, 2002; Verd et Lozares, 2016). Donc elle pourra être définie comme une interlocution basée sur la logique de la question-réponse ou stimuli-réponse pour l'obtention des informations qualitatives (Verd et Lozares, 2016).

Les deux types les plus courants d'entretiens sont possiblement l'entretien non-dirigé (ou pas structuré) et semi-directif (ou semi-dirigé) (Bryman, 2012). Cependant les formats d'entretien sont multiples et divers, par exemple selon les différents degrés de standardisation et la rigidité des questions et des réponses, Verd et Lozares abordent les dimensions suivantes : 1) le degré de structuration du questionnement, 2) le type de contenu, 3) le degré de simultanéité dans la conversation, 4) la finalité de l'entretien et 5) le nombre de personnes (Figure 65) (Verd et Lozares, 2016). Ces dimensions peuvent également être combinées entre elles.

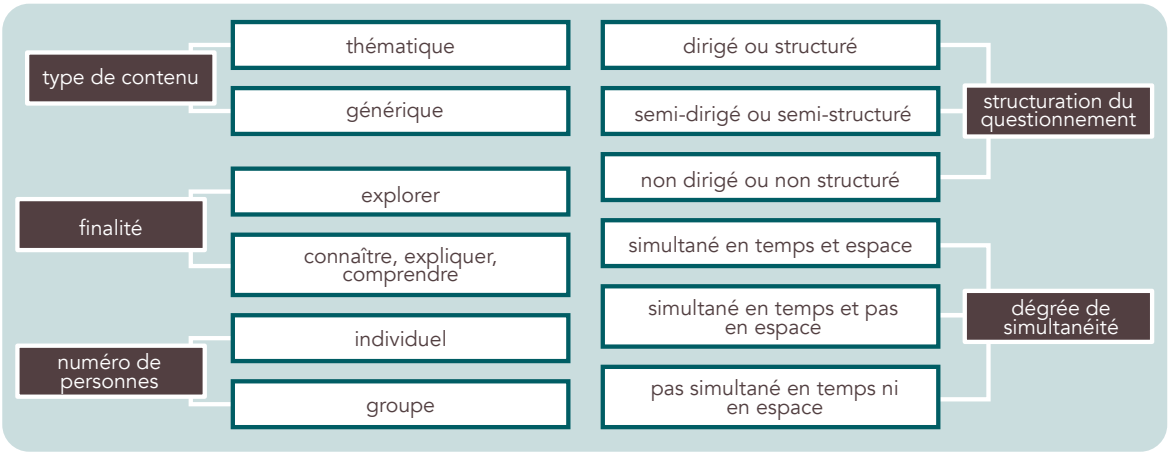


Figure 65 Types d'entretien selon la standardisation et la rigidité des questions et des réponses (Verd et Lozares, 2016).

Au-delà des différentes catégorisations possibles et variées des entretiens, il y a certains éléments communs à toutes les variantes d'entretien (Campos, 2022) :

- L'entretien est une procédure visant à obtenir des informations verbales,
- Une dynamique interactive est nécessaire, principalement pour le fait que l'enquêteur pose des questions et l'enquêté répond,
- L'interaction question-réponse implique un accord ou un pacte initial entre les deux parties,

- En respectant cet accord, l'enquêteur peut appliquer différentes stratégies de persuasion pour motiver la précision attendue dans les réponses (dans les limites de l'éthique et de la morale),
- L'entretien est enregistré (notes écrites, supports électroniques, enregistrements audio, vidéo)

Finalement, un des principaux ingrédients d'un entretien est d'écouter, être attentif à ce que l'interviewé dit même à ce qu'il ne dit pas, donc trouver un juste milieu pour être actif mais sans devenir trop intrusif et céder la place à la personne interviewée (Bryman, 2012).

Pour l'évaluation et l'interprétation des données récoltées (Valles, 2002) énonce 5 formes ou lignes directrices qui peuvent être combinées entre elles dans une même recherche :

- La méthode constructive,
- La méthode de l'exemplification,
- La méthode de l'analyse de contenu,
- Les élaborations statistiques,
- L'analyse typologique.

Dans le cas de cette thèse comme vu juste avant (partie 3.3.1.2 et 3.3.2), nous nous focalisons principalement sur l'analyse de contenu.

3.3.1.2.1.1 Entretien semi-directif

L'entretien individuel semi-dirigé ou semi-directif est structuré selon des thèmes qui sont présents dans l'appelé « grille d'entretien », mais il laisse une grande marge de manœuvre à l'intervieweur qui peut changer l'ordre et la formulation des questions pour les adapter à l'interviewé et rajouter des questions pour creuser certains concepts ou obtenir des informations supplémentaires (Vilatte, 2007; Imbert, 2010; Bryman, 2012; Hernández Sampieri et al., 2014; Verd and Lozares, 2016; Cerema, 2020; Pegdwendé Sawadogo, 2020; Campos, 2022). Donc il se trouve à mi-chemin entre un entretien directif ou structuré, où le nombre, l'ordre et la formulation des questions est fixe, et un entretien non directif ou ouvert, dans lequel il existe une plus grande liberté, c'est « un entre deux » (Verd et Lozares, 2016).

Dans les cas où les résultats vont être comparés avec d'autres études ou quand il existe plusieurs personnes qui mènent les entretiens, il est important de garder une trame commune et assez similaire (Bryman, 2012). Donc, par exemple, l'ensemble des questions ou des thèmes spécifiés dans la grille d'entretien sont abordés dans la majorité des cas (Bryman, 2012).

Dans cette thèse des entretiens semi-directifs sont réalisés pour les cas d'études de Grenoble et de Barcelone. Ce type d'entretien est également employé pour les entretiens avec les acteurs clés comme les architectes des écoles. Pour l'ensemble des entretiens une grille est préparée au préalable avec les questions et thèmes à traiter. Cependant, dans pas mal de cas, l'entretien a mené à la formulation de nouvelles questions pour demander des spécifications, approfondir, etc.

3.3.1.3 Interactions avec l'espace construit

Les techniques de collectes de données que nous allons expliquer par la suite ont la particularité d'avoir un rapport à l'espace construit et vécu dans son identité propre. Car ce sont les parcours, les mouvements ou la représentation de l'espace qui sont la base de l'analyse.

Nous ne sommes pas en mesure de classer ces méthodes ou techniques dans l'une des catégories quantitatives ou qualitatives exposées auparavant ou pas d'une manière certaine et irrévocable. Cependant, plusieurs techniques comme l'observation directe des participants, des discussions en groupe ou des échelles d'attitudes sont employées.

3.3.1.3.1 Parcours commenté[26]

L'objectif de la méthode « parcours commenté » développée par Jean-Paul Thibaud est « d'obtenir des comptes rendus de perception en mouvement. Trois activités sont donc sollicitées simultanément : marcher, percevoir et décrire » (Thibaud, 2001). Donc la démarche mise en place consiste à décrire ce qui est perçu et ressenti dans l'espace au fur et à mesure qu'il est parcouru.

La démarche de terrain mise en place par Thibaud (Thibaud, 2001) pour l'utilisation de cette technique est décrite dans la Figure 66.

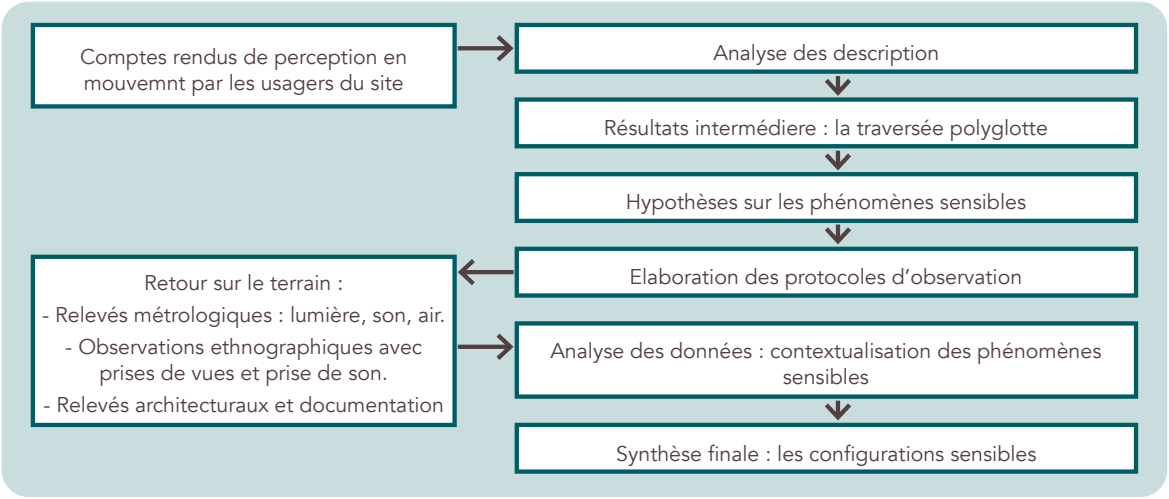


Figure 66 Démarche de terrain de Thibaud (Thibaud, 2001).

Comme exposé par l'auteur « la méthode des parcours commentés doit être considérée comme une méthode ouverte, au sens où elle offre matière à de nombreuses variations possibles » (Thibaud, 2001). Dans le cas de notre travail la technique de « parcours commenté » a été adaptée à nos objectifs de recherche, à l'espace étudié et au public visé. Elle a été également complétée par d'autres outils comme la photographie et un important travail d'observation (partie 3.3.2.2.4).

3.3.1.3.2 Carte des mouvements (méthode du tracing)

Les enregistrements des déplacements des personnes dans l'espace d'un côté peut apporter des connaissances sur les modèles de mouvement mais d'un autre côté met en relief les pratiques spatiales (Solène Marry, 2011; Gehl et Svarre, 2013). Les objectifs concrets peuvent être divers comme par exemple recueillir des informations sur les séquences de marche, les choix, les directions, les flux, les emplacements plus ou moins utilisés, etc. (Gehl et Svarre, 2013).

Dans la technique du « tracing », les mouvements sont observés et tracés sous forme de ligne sur le plan du site par un observateur situé dans l'espace à étudier (Gehl et Svarre, 2013). L'exercice aura

[26] La méthode de parcours commenté est principalement utilisée et focalisé pour l'étude des espaces publics.

une durée déterminée à définir pour l'étude. Le traçage n'est pas exact car il peut être compliqué de représenter les lignes en mouvement mais des options avec des équipements GPS peuvent être également une solution surtout dans des grandes zones (Gehl et Svarre, 2013).

Dans le champ de la psychologie environnementale, des techniques similaires sont utilisées, comme, par exemple, celle appelée « cartographie comportementale ». Ces cartographiques permettent de localiser le comportement des usagers dans l'espace et d'en étudier leur distribution (Legendre et Depeau, 2003). Le terme et ses fondements théoriques et méthodologiques – pas son utilisation - furent introduits pour la première fois par Ittelson, Rivlin et Proshansky en 1970 (Legendre et Depeau, 2003).

Ces cartes sont utilisées largement par exemple dans des espaces publics où elles peuvent être un outil intéressant pour comprendre l'usage et les pratiques réels de l'espace et aménager ou apporter les modifications en fonction des retours (Cosco et al., 2010; Marušić, 2011; Marry, 2011).

Dans nos cas d'études nous avons utilisé cette technique plutôt pour étudier l'influence de la terre crue dans les mouvements et les emplacements dans l'espace des personnes (dans les salles d'expérimentation). Le « tracing » est réalisé à partir de l'étude des enregistrements vidéos.

3.3.1.3.3 Les cartes mentales

Les cartes mentales consistent à traduire les perceptions d'un espace perçu et vécu en une représentation graphique par l'intermédiaire du dessin ou d'autre formes de représentation (Cerema, 2020). L'usager est donc invité à retranscrire son expérience dans l'espace sur une feuille de papier. La carte mentale est devenue un outil incontestable des chercheurs en sciences de l'espace car elle permet une analyse conceptuelle des représentations subjectives de l'espace (Marry, 2011).

Les cartes mentales peuvent également être adaptées à des caractéristiques spatiales comme l'ambiance sonore (Marry, 2011). « La carte mentale sonore est un moyen efficace de transgresser la difficulté inhérente à représenter du son. Elle consiste en fait à mettre le sujet sous la tension d'une injonction paradoxale du type «Dessine-moi ce qu'on ne peut pas dessiner» (du son) ! » (Amphoux, 2003). Les cartes sonores peuvent être un bon complément d'autres techniques de recueil d'informations, comme les entretiens ou les questionnaires, et une façon d'exprimer des non-dits verbaux (Marry, 2011).

3.3.1.4 Interphase d'utilisateur tangible – Le paysage sonore de la classe

Sous l'inspiration du projet de recherche-action « Hyperpaysages : pour le développement urbain participatif » (HPU) (Barlet et al., 2011) menée dans le quartier de Malakoff à Nantes, dans le cadre de cette thèse nous cherchons également un moyen pour offrir la possibilité aux enfants d'exprimer leur rapport à l'ambiance sonore de leur classe. Comme dans le quartier de Malakoff nous souhaitons donner la possibilité à l'utilisateur (enfant) de composer l'ambiance sonore à partir de différentes catégories de sources sonores identifiées et enregistrées in situ. Dans le cas de cette thèse, l'identification et même une bonne partie des enregistrements ont été réalisés avec les enfants (Figure 67).

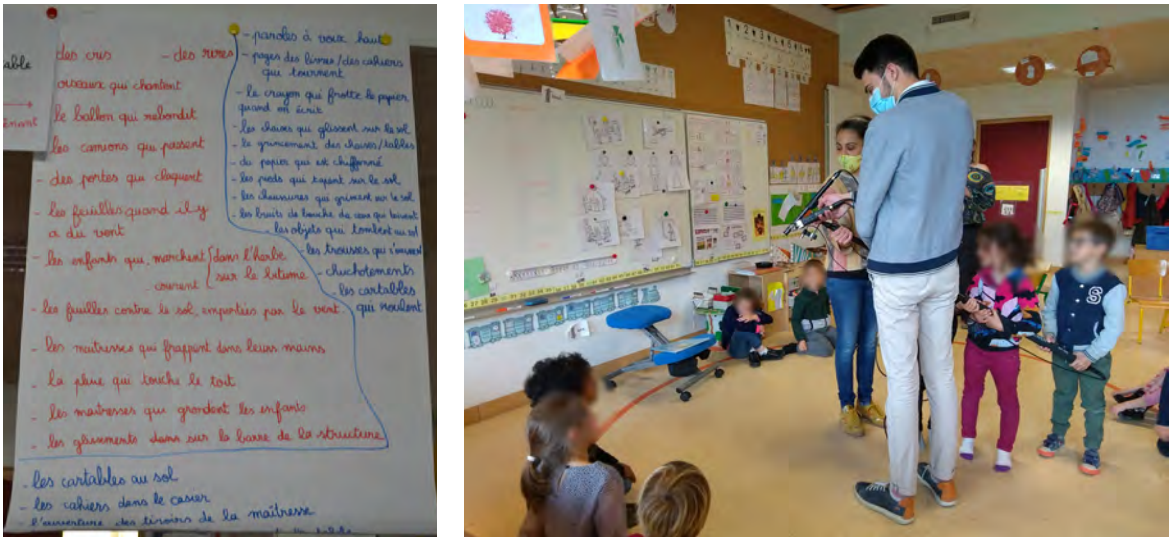


Figure 67 Exemple des sons et bruits identifiés par les élèves (à gauche) et enregistrements de sons (à droite).

La décomposition et recomposition des environnements sonores des classes est mise en relation avec les différentes activités développées en classe (par exemple les cours magistraux). Le but final de cette activité est d'en déduire les éléments saillants, impactant le confort et l'appréciation sensible des situations vécues en classe.

À la place de l'utilisation d'une interface de composition multimédia de type web 2.0 (Woloszyn, 2012) nous optons pour le principe d'interface utilisateur tangible (TUI). Dans ce type d'interface l'utilisateur interagit avec des données numériques par la manipulation physique des objets (Baptiste, 2011). La manipulation physique des objets dans le cas de cette thèse est réalisée à partir d'une maquette 3D à échelle 1 :10 construite par les propres élèves de chaque classe. L'outil utilisé est également inspiré du principe de table interactive et plus particulièrement du projet de « Reactable »[27], développée depuis 2003 par une équipe de recherche de l'Université de la Pompeu Fabra à Barcelone (Espagne). L'utilisation de ce type d'interface a été utilisée à plusieurs reprises comme support d'apprentissage (Kolski, 2015; Roussel et Fleck, 2015; Fan et al., 2016).

3.3.2 Les techniques et les méthodes utilisées

3.3.2.1 Protocol d'enquête dans les établissements scolaires - Adultes

L'enquête menée auprès des adultes utilise des techniques de recueil d'informations quantitatives (questionnaires) et qualitatives (entretiens individuels semi-directifs et groupes de discussions informelles avec les enseignants) (Figure 68). Les informations récoltées viendront compléter les mesures physiques réalisées.

Dans la mesure du possible la totalité des travailleurs des établissements scolaires font partie de l'enquête. D'autre part, seuls les parents avec des enfants dans les classes situées dans les bâtiments avec de la terre crue des écoles de Bouvron et Baulon sont sollicités. Pour compléter les données récoltées sur les usagers, d'autres acteurs comme la maîtrise d'ouvrage ou les architectes sont aussi enquêtés.

[27] https://reactable.com/

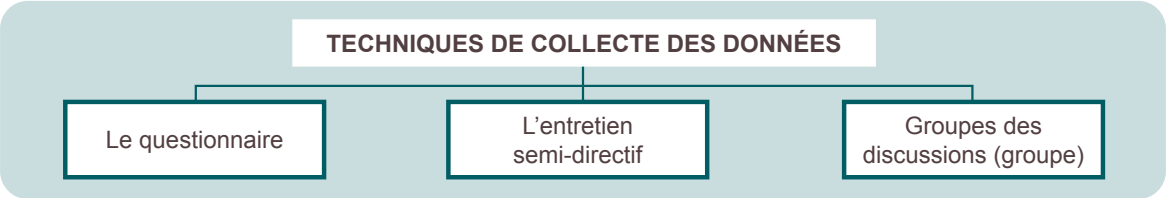


Figure 68 Enquête auprès des adultes – Établissements scolaires.

3.3.2.1.1 Le questionnaire

3.3.2.1.1.1 Mise en place du questionnaire - Parents

Les questionnaires à destination des parents sont composés de 27 questions principalement fermées (dichotomiques, avec une réponse possible et multi réponses) et avec des échelles à différentiels sémantiques. Les questionnaires comptent avec 4 questions ouvertes. Les questions sont structurées en 6 sections (Figure 69).

La **première section** est composée de deux questions concernant le sexe et l'âge de la personne enquêtée. Ce sont principalement des questions d'identification pour caractériser l'enquêté (Salès-wuillemin, 2006).

La **deuxième section** concerne les enfants scolarisés de chaque famille à l'école. Le but de cette partie est d'un côté d'avoir certaines informations sur l'identité des enfants comme le prénom (pour pouvoir les reconnaitre pour les activités réalisées en classe), le sexe, l'âge et la première année de scolarité dans l'école étudiée. D'un autre côté, avoir des informations sur l'environnement sonore de l'enfant dans son logement car les niveaux de bruit auxquels les enfants sont exposés en dehors de l'école, notamment dans leur domicile, peuvent avoir un impact sur leurs performances académiques et leur sensibilité au bruit (Matsui et al., 2004; Muzet et al., 2012; Pujol, 2012; Pujol et al., 2012; Levain et al., 2015). Dans cette section les parents sont aussi questionnés sur la langue principale utilisée à la maison.

La **troisième section** est focalisée sur les caractéristiques du logement et la satisfaction à l'égard de leur logement. Les premières questions portent plutôt sur l'emplacement et le type d'habitat, car la localisation, le type et la qualité de l'habitat, semblent avoir une influence importante sur la gêne ressentie au moins au domicile (Menard et al., 2008; Muzet et al., 2012). Il est donc intéressant d'étudier si ces facteurs peuvent aussi avoir une influence sur la sensibilité au bruit dans les établissements scolaires. Les dernières questions de cette section portent sur les matériaux de constructions utilisés dans les logements, ayant pour but d'identifier s'il peut y avoir un lien entre les atmosphères créées par certains matériaux et les rapports sensibles exprimés.

La **quatrième section** questionne sur la mobilité, car elle parait avoir une certaine influence sur le jugement sonore selon le type de moyen de transport utilisé (Marry, 2011).

Les deux dernières sections sont focalisées sur l'établissement scolaire, sur l'école et sur la classe de l'enfant ; dans ce cas, les parents sont questionnés sur leur perception depuis différents points de vue. La dernière question dans les deux sections a pour but de collecter le vocabulaire utilisé couramment par les enfants pour exprimer leur perception de l'école et de leur classe, et ainsi pouvoir le relier avec certains résultats des activités réalisées en classe.

Les questionnaires adressés aux parents sont accompagnés d'une note explicative du projet, une note du directeur de l'école et un document d'aide pour remplir le questionnaire (Annexe 6.1).

1. IDENTITÉ DE L'INTERVIEWÉ (parent d'élèves) Sexe: ☐ F ☐ M Âge :

2. IDENTITÉ ENFANT/S SCOLARISÉ/S À L'ÉCOLE (Remplissez le tableau suivant le nombre d'enfants que vous avez dans l'école actuellement)

Prénom de l'enfant	Enfant 1 :	Enfant 2 :	Enfant 3 :
Sexe	☐ F ☐ M	☐ F ☐ M	☐ F ☐ M
Âge			
Depuis quand votre enfant est-il dans cette école (année scolaire) ?			
Votre enfant partage-t'il sa chambre avec d'autres habitants du foyer ?	☐ Oui ☐ Non	☐ Oui ☐ Non	☐ Oui ☐ Non
Devant la fenêtre de la chambre de votre enfant il y a (une seule réponse possible) :	☐ Cour intérieure ☐ Esplanade ☐ Jardin ☐ Espace vert (Parc) ☐ Rue ☐ Pas de fenêtre ☐ Autres:	☐ Cour intérieure ☐ Esplanade ☐ Jardin ☐ Espace vert (Parc) ☐ Rue ☐ Pas de fenêtre ☐ Autres:	☐ Cour intérieure ☐ Esplanade ☐ Jardin ☐ Espace vert (Parc) ☐ Rue ☐ Pas de fenêtre ☐ Autres:

2.2 Y-a-t'il d'autres enfants ou jeunes à la maison ? ☐ Non ☐ Oui - Combien ?

2.3 La langue principale utilisée à la maison est : ☐ Français ☐ Autre :

3. VOTRE LOGEMENT

3.1 Votre logement est situé :

☐ dans le bourg d'une ville /village ☐ en périphérie ville /village ☐ en campagne

☐ autre :

3.2 Autour de votre logement il y a * :

☐ des immeubles ☐ des maisons individuelles ☐ des commerces

☐ des rues ☐ des espaces verts ☐ des voies ferrées

☐ des routes ☐ autre :

3.3 Votre logement est (type d'habitat) :

☐ maison individuelle avec murs mitoyens ☐ habitat collectif de moins de 6 logements ☐ habitat collectif de plus de 6 logements

☐ maison individuelle isolée ☐ autre :

Si c'est un habitat collectif à quel étage habitez-vous ?

3.4 Depuis combien de temps vivez-vous dans ce logement ?

3.5 Vous êtes : ☐ propriétaire ☐ locataire ☐ autre :

3.6 Connaissez-vous l'année de construction de votre logement ?

3.7 Connaissez-vous les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement* ?

☐ pierre ☐ parpaing ☐ béton armé

☐ brique cuite ☐ structure bois plus isolation ☐ bottes de paille

☐ terre crue ☐ je ne sais pas ☐ autre :

3.8 Les finitions de votre logement sont principalement* :

☐ peinture ☐ carrelage ☐ lambris bois

☐ maçonnerie apparente ☐ moquette ☐ enduit ciment

☐ enduit chaux ☐ enduit plâtre ☐ enduit terre crue

☐ je ne sais pas ☐ autre :

3.9 Les finitions dans la chambre de votre enfant sont principalement* :

☐ peinture ☐ carrelage ☐ lambris bois

☐ maçonnerie apparente ☐ moquette ☐ enduit ciment

☐ enduit chaux ☐ enduit plâtre ☐ enduit terre crue

☐ je ne sais pas ☐ autre :

3.10 L'ambiance de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) :

	très désagréable	assez désagréable	un peu désagréable	un peu agréable	assez agréable	très agréable
La forme de votre logement (architecture)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
Les espaces intérieurs (aménagements)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La lumière naturelle	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
Le thermique (température)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
L'acoustique (sons et bruits)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6

1

4. AUTRES QUESTIONS

4.1 Moyen de transport utilisé quotidiennement* ?

☐ voiture ☐ transport collectif (tram) ☐ transport collectif (bus)

☐ transport collectif (train) ☐ vélo ☐ à pied

☐ autre :

4.2 Quel transport utilisez-vous pour aller à l'école* ?

☐ voiture ☐ transport collectif (tram) ☐ transport collectif (bus)

☐ transport collectif (train) ☐ vélo ☐ à pied

☐ autre :

5. L'ÉCOLE

Toutes les questions concernent le bâtiment et l'espace construit.

5.1 Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entré à l'école (du point de vue de votre ressenti) ?

5.2 Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'école ?

1. 2. 3.

4. 5.

5.3 L'ambiance de l'école vous paraît (du point de vue de votre ressenti) :

	très désagréable	assez désagréable	un peu désagréable	un peu agréable	assez agréable	très agréable
La forme du bâtiment (architecture)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
Les espaces intérieurs (aménagements)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La lumière naturelle	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
Le thermique (température)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
L'acoustique (sons et bruits)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6

5.4 Quels mots utilise couramment votre enfant pour exprimer sa perception (du point de vue de son ressenti) de l'école ?

6. LA CLASSE DE VOTRE ENFANT

Toutes les questions concernent le bâtiment et l'espace construit.

6.1 Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entré dans la classe de votre enfant (du point de vue de votre ressenti) ?

6.2 Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à la classe ?

1. 2. 3.

4. 5.

6.3 L'ambiance de la classe de votre enfant vous paraît (du point de vue de votre ressenti):

	très désagréable	assez désagréable	un peu désagréable	un peu agréable	assez agréable	très agréable
La forme du bâtiment (architecture)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
Les espaces intérieurs (aménagements)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La lumière naturelle	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
Le thermique (température)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
L'acoustique (sons et bruits)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6

6.4 Quels mots utilise couramment votre enfant pour exprimer sa perception (du point de vue de son ressenti) de sa classe?

** Ces questions ont plusieurs réponses possibles*

2

Figure 69 Questionnaire à destination des parents d'élèves des établissements scolaires.

3.3.2.1.1.2 Mise en place du questionnaire – Travailleurs de l'école

Les questionnaires à destination des travailleurs de l'école sont composés de 27 questions et de 33 questions pour les enseignants, ATSEM ou AESH[28], organisés en 5 et 6 sections respectivement. Dans ce cas-là, une partie du questionnaire porte également sur la typologie de travail développé, l'environnement de travail et les besoins (section 2) et il n'y a pas de questions précises sur les enfants (Annexe 6.2).

Dans un deuxième temps, un deuxième questionnaire est distribué entre les travailleurs des écoles. Celui-ci est composé de 18 questions organisées en 4 sections. Dans la première section (section 7), les travailleurs de l'école sont questionnés plus précisément sur l'ambiance sonore, en fonction des activités de leur travail et selon la gêne occasionnée par différentes sources de bruit, de leur volume sonore et de leur fréquence de répétition dans le temps. Dans la deuxième section (section 8), les questions portent sur la transmission de la parole dans les salles de classe et d'autres aspects en relation avec des paramètres de transmission, au ressenti ainsi qu'à la qualité acoustique des salles de classes. Les questions posées sont inspirées de différents projets menés, spécialement sur l'environnement sonore urbain mais aussi des projets sur l'exposition aux bruits des enfants, comme par exemple : « Projet de Recherche CENSE - Enquête auprès des Lorientais sur leur environnement sonore » (Aumond et Lavandier, 2019) ; « Le bruit environnemental en milieu urbain : exposition d'une population d'enfants et performances scolaires » (Pujol, 2012) ; « L'espace public sonore ordinaire : les paramètres de la perception sonore dans les espaces publics : contribution à une connaissance de l'ambiance sonore » (Marry, 2011) ou « The development of Weinstein's noise sensitivity scale» (Kishikawa et al., 2006) entre autres. Pour finaliser, une section sur la sensibilité au bruit (section 9) et deux questions précises sur l'ambiance sonore et la terre crue sont élaborées. Ces deux dernières questions ont pour but de savoir si les usagers trouvent une relation directe entre la terre et l'ambiance ressentie (Annexe 6.3). Ce questionnaire est accompagné d'une notice avec les définitions des différentes terminologies sonores employées afin d'avoir des réponses homogènes entre les usagers (Annexe 6.4).

La norme ISO 15666 : 2003 fournit des spécifications pour des enquêtes socio-acoustiques et des enquêtes sociales comportant des questions sur les effets du bruit. Elle aussi établit une échelle normative pour évaluer la « gêne » sur un total de 5 paramètres (Pas du tout /Légèrement / Moyennement / Beaucoup / Extrêmement). En revanche, dans les questionnaires réalisés les valeurs des échelles sémantiques utilisées sont des multiples de deux, ce qui permet d'éliminer le positionnement central des personnes interrogées. Ceci permettant d'établir plus facilement des tendances vers l'un des deux côtés de l'échelle sémantique.

3.3.2.1.1.3 Mise en place du questionnaire – Acteurs du projet

Dans le but de comprendre un peu plus les démarches suivies pour l'utilisation de la terre crue dans les différents établissements scolaires ainsi que les obstacles et défis soulevés encore aujourd'hui, une série de questionnaires à destination des acteurs clés du projet est réalisée. Au total cinq questionnaires sont réalisés, un premier avec les informations générales du projet (Annexe 6.5.1),

[28] ATSEM = Agent territorial spécialisé des écoles maternelles / AESH = Accompagnant des élèves en situation de handicap

un deuxième à destination de la maîtrise d'ouvrage (Annexe 6.5.2), un troisième à destination de la maîtrise d'œuvre ou des architectes (Annexe 6.5.3), un quatrième à destination de l'entreprise terre crue (Annexe 6.5.4) et un dernier pour le bureau d'étude acoustique (Annexe 6.5.5). Pour l'élaboration des questionnaires, plusieurs rendez-vous ont eu lieu avec des techniciens afin de bien positionner les questions.

Dans la dernière section de l'ensemble des questionnaires, un retour d'expérience sur le projet est demandé. Ces informations pourront être confrontées aux retours des usagers et permettre ainsi d'évaluer d'éventuelles corrélations.

3.3.2.1.2 Les entretiens

Les entretiens réalisés ont eu lieu avec certains enseignants de l'école de Bouvron et Baulon et avec les architectes des écoles de Bouvron, Fégréac, Baulon et Mouais.

3.3.2.1.3 Mise en place des rendez-vous et « simulations » – Enseignants

Les échanges avec les enseignants n'ont pas la structure classique d'un entretien avec des questions-réponses mais nous avons mis en place des réunions récurrentes au cours de toute une année scolaire. Dans ces réunions, les enseignants partagent leurs impressions sur les activités réalisées avec les enfants et les activités qui ont suivi sont mises au point. Les informations récoltées permettent également d'évaluer la méthodologie mise en place et collecter les notes prises par les enseignants sur les retours des enfants. En même temps, ces moments ont également été l'occasion pour eux de partager leurs ressentis personnels sur les espaces de l'école.

Nous organisons également une « simulation standard » de présentation de l'école et de son organisation par le directeur de l'école de Bouvron à tout nouveau parent. Lors du rendez-vous avec le directeur, celui-ci m'explique l'organisation de l'école et nous réalisons également une visite des bâtiments et des équipements de l'école, comme il le fait pour chaque rentrée. Cette « simulation » a pour but de comprendre un peu plus de quelles informations disposent les parents lorsqu'ils répondent au questionnaire et de voir à quel point la terre est présente dans le discours du directeur. Pendant la visite, le directeur partage de même les réactions les plus courantes des parents quand ils rentrent dans le bâtiment de maternelle (avec de la terre crue). Ces informations nous aideront à mieux analyser les retours aux questionnaires de la part des parents.

3.3.2.1.4 Mise place de l'entretien – Architectes

Parmi les acteurs des projets, nous réalisons des entretiens avec les architectes. Ces entretiens ont pour but d'un côté de compléter les informations des questionnaires sur les aspects opérationnels, sur la phase de conception, la phase chantier et les retours sur l'expérience pour mieux comprendre leurs projets. D'autre part, ils permettent d'aborder d'autres questions plus générales sur la construction en terre afin de comprendre certains des verrous actuels sur son implémentation mais également la façon d'aborder et de soumettre ce type de construction face aux clients ou auprès d'autres professionnels du bâtiment. Cette opportunité d'échange est utilisée aussi pour questionner sur les éléments qu'ils aimeraient avoir à leur disposition pour faire valoir la terre crue dans leurs projets (principalement d'un point de vue acoustique). Ce dernier questionnement

permettra de guider notre recherche vers les besoins de la profession et voir comment les données récoltées peuvent ou pas nourrir les argumentaires de la construction en terre crue. Finalement, ces entretiens donnent l'occasion d'approfondir la construction et la transmission du récit.

Pour soulever les différents questionnements, une grille d'entretien est élaborée. Toutefois, au cours de l'entretien de nouvelles questions sont introduites pour compléter ou approfondir certaines thématiques (partie 3.3.1.2.1.1).

Grille d'entretien - Architecte

1. En tant qu'architectes quels sont les principaux verrous que vous trouvez pour l'utilisation de la terre ?
2. Comment argumentez-vous le confort lié à la terre crue auprès des professionnels du bâtiment (bureaux d'études, etc.) ?
3. Comment argumentez-vous le confort lié à la terre crue auprès de vos clients ?
4. En tant qu'architectes quels éléments aimeriez-vous avoir à votre disposition pour pouvoir intégrer la terre crue dans vos projets ?
5. En tant qu'architecte quels éléments/outils/données aimeriez-vous avoir à votre disposition pour pouvoir conseiller vos clients d'un point de vue acoustique ?
6. Pourquoi la terre ? Comment le récit est transmis ?

3.3.2.2 Protocole d'enquête dans les établissements scolaires - Enfants

Le public dans les établissements scolaires est dans sa grande majorité composé d'enfants. Il semble donc important de pouvoir recueillir leurs perceptions et leurs descriptions des ambiances sonores. Pour cela le premier moyen à utiliser est l'**observation** car les réactions émotionnelles produites par le bruit peuvent être aussi accompagnées, entre autres, par des réactions corporelles (Waye et al., 2013). Chez les enfants, la maitrise de la langue est encore en voie de développement et dans une certaine mesure encore limitée. Ceci est encore plus accentué en ce qui concerne l'expression écrite. Afin de pallier ce manque, mais pouvoir tout de même, comme avec les adultes, collecter les perceptions et les représentations des ambiances sonores, d'autres moyens d'expression sont utilisés avec les enfants, comme par exemple l'expression et la représentation graphique ou le numérique.

De façon plus précise, l'enquête est développée en trois temps (Figure 70). Un premier temps plus focalisé sur les aspects lexicaux de l'expression du ressenti et de la perception en lien avec les sens. Un deuxième temps sur l'espace et sa représentation ainsi que le repérage dans celui-ci. Le dernier temps est focalisé sur l'analyse et l'évaluation des ambiances sonores dans l'école et principalement dans la classe. À cheval entre les trois temps, un parcours commenté est également réalisé dans l'établissement de Bouvron.

L'ensemble des étapes de la méthodologie ici présentée est développé en collaboration avec l'équipe pédagogique de l'école Félix Leclerc de Bouvron et de l'école de Baulon. Le but de cette collaboration est de pouvoir, dans la mesure du possible, adapter les activités proposées au programme pédagogique de chaque niveau pour éviter une surcharge de travail et proposer des méthodologies d'enquête réalistes et adaptées à chaque classe. De ce fait, toutes les activités ne

sont pas réalisées avec chaque classe et ne suivent pas un déroulement identique. Donc parfois, il reste compliqué de tirer des conclusions ou des observations générales en regroupant l'ensemble des classes. Cependant cela permet de tester plusieurs méthodologies et façons d'enquêter auprès des enfants et pour de futures études avoir une idée des techniques d'enquête plus ou moins adaptées.

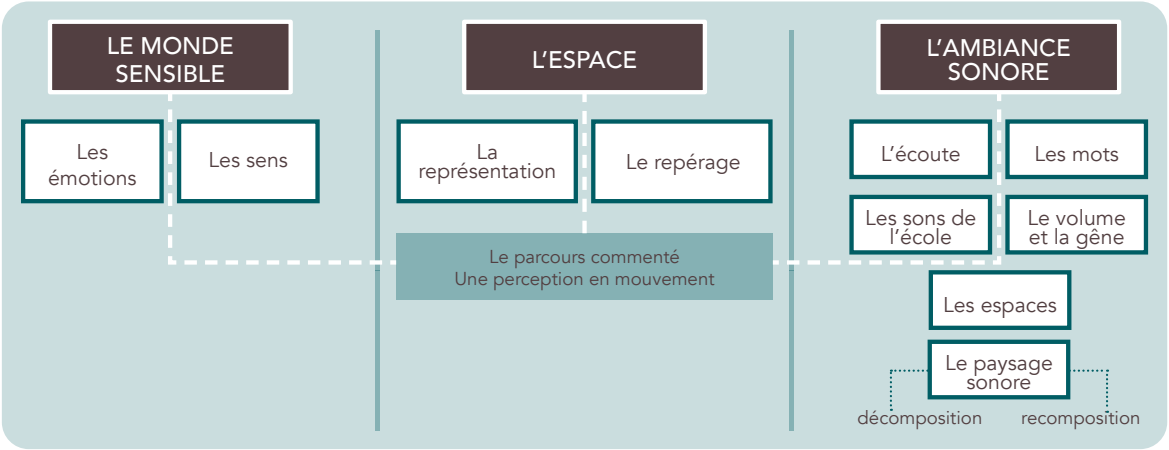


Figure 70 Parties de l'enquête pour les élèves.

3.3.2.2.1 Le monde sensible

Mettre des mots sur les émotions n'est pas toujours facile et encore moins pour un enfant qui est en phase d'apprentissage de la langue. Sachant qu'un des objectifs majeurs de l'école maternelle et élémentaire est précisément la maîtrise de la langue (Florin, 2010). Le but principal de ce temps est donc de donner des clés d'analyse et le vocabulaire nécessaire aux élèves pour le développement des activités suivantes et pouvoir exprimer leur ressenti.

3.3.2.2.1.1 Les émotions

Dans le programme d'enseignement de l'école maternelle, l'enseignant travaille avec les élèves sur la thématique « Vivre et exprimer des émotions » où les enfants apprennent à mettre des mots sur leurs émotions, leurs sentiments, etc. (Ministère de l'Éducation Nationale, 2015). Dans le programme de cycle 2 et 3 l'expression de leurs sentiments et de leurs émotions fait également partie des apprentissages des enfants (Ministère de l'Éducation Nationale, 2015). Cette première partie de l'enquête sensible auprès des enfants de cette thèse s'inscrit dans le cours délivré par les enseignants aux enfants sur les émotions primaires telles que la joie, la tristesse, la peur, la colère, la surprise ou le dégoût dans la maternelle et sa complémentarité avec des émotions secondaires – dérivées des mélanges des émotions primaires - dans les niveaux d'élémentaires (Tcherkassof et Frijda, 2014; Cosnier, 2015).

Une partie du travail développé par les enseignants de l'école de Bouvron sur les émotions est réalisé avec le jeu de cartes « Le langage des émotions » composé par 69 cartes illustrant des émotions (fcppf (Fédération des centres pluralistes de planning familial ASBL), 2019). Utilisant ces cartes comme support, dans le cadre de cette thèse, les élèves des premiers niveaux d'élémentaires (CP et CE1 à Bouvron) travaillent sur la description des émotions représentées sur les cartes. Dans le cas de Baulon, les explications des émotions des cartes prennent la forme d'une représentation

théâtrale. Dans les niveaux de maternelle, les enseignants de Bouvron utilisent plus couramment les supports de « La couleur des émotions » (Llenas, 2014). D'autres activités complémentaires autour de l'identification des émotions sur des photographies sont réalisées dans les classes de maternelle. En respectant les graphismes utilisés (cartes ou livre) dans leurs classes et le travail déjà réalisé dans le cursus habituel, un outil supplémentaire est proposé : « La Roue » (Figure 71). Cette roue est composée de plusieurs disques qui permettent d'associer à une situation ou un élément à analyser (petit disque) une émotion primaire et une émotion secondaire. L'idée de roue a été inspirée par la roue de Plutchik (Plutchik, 2003) et « La roue des émotions » développée par l'équipe de professionnels de « L'Autrement dit » (L'Autrement-Dit, 2018).

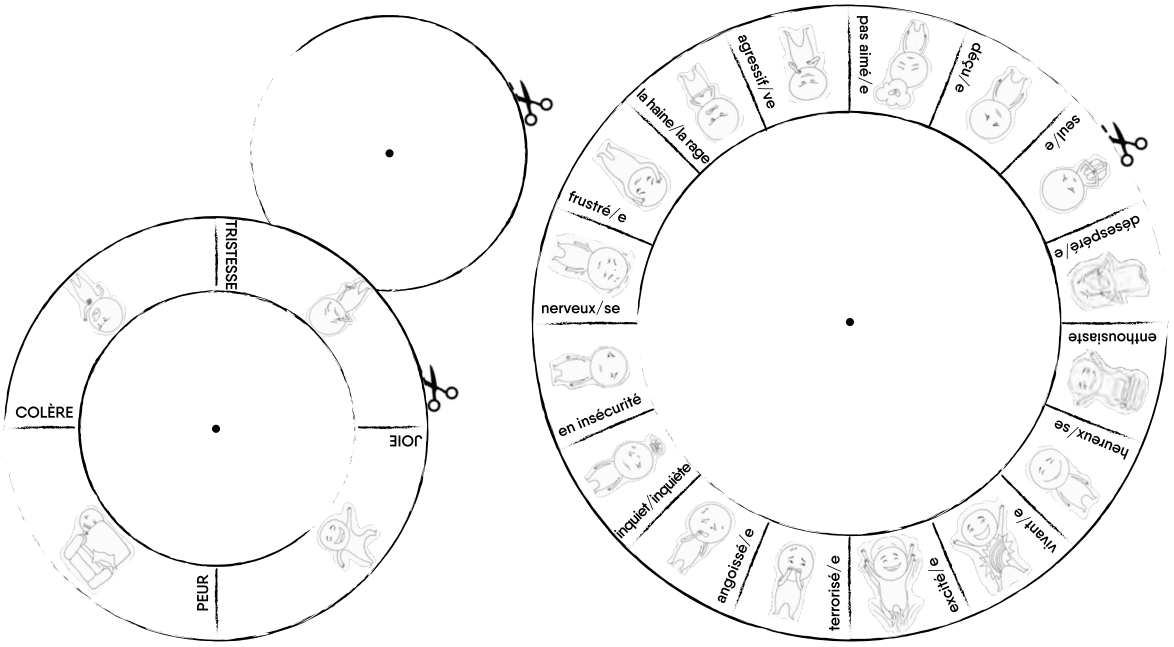


Figure 71 Exemples des disques de la roue proposés pour le Cycle 2 et 3 avec un premier disque pour noter l'activité ou la situation à analyser, un deuxième disque avec les émotions primaires et un troisième disque avec les émotions secondaires. Dans l'annexe 6.6.1 la roue pour la maternelle est présentée.

3.3.2.2.1.2 Les sens

L'analyse des ambiances d'un lieu fait appel à tous les sens (partie 2), donc il paraît pertinent de travailler sur d'autres sens en plus de l'ouïe. Le travail sur d'autres sens permet aussi de ne pas cibler seulement le sonore et avoir une analyse plus complète du ressenti des enfants. En même temps, le travail sur les sens permet de continuer à travailler sur l'expression des émotions et les sentiments mais en faisant appel à un sens concret et donc à du vocabulaire spécifique.

Des ateliers sur le toucher mais aussi sur l'odorat sont mis en place avec les enseignants. En utilisant une quinzaine de matériaux naturels d'origine végétale (paille, lin, chanvre, liège, copeaux de bois, etc.) mais aussi minérale (différentes natures de terre, des sables et des graviers), un parcours est organisé où les enfants doivent toucher avec les mains les différents matériaux cachés dans des boîtes (Figure 72), exprimer les sensations ressenties et essayer de trouver aussi ce qu'ils sont en train de toucher. Pour le déroulement de cet atelier les phrases suivantes sont utilisées :

Avant de commencer : « Vous allez toucher des choses, mais ce n'est rien de dégoûtant, rien de vivant »

Pendant : « Qu'est-ce que vous avez ressenti ? » | « Qu'est-ce que vous avez eu comme impression ? » | « On ferme les yeux, on essaye de se rappeler de ce qu'on a ressenti à tel moment » | « Pourquoi avons-nous proposé ces choses, qu'est-ce qui les lient ? »

Figure 72 Boites noires utilisées pour le travail sur le toucher.

Pour l'odorat, les différents matériaux sont placés dans des petits récipients et les enfants sont invités à sentir et exprimer leurs sensations.

Dans la même dynamique, un parcours sensoriel est aussi proposé. Cette fois, les différents matériaux sont placés dans des bacs dans lesquels les enfants marcheront avec les yeux bandés et encore une fois, ils exprimeront leur ressenti.

3.3.2.2.2 L'espace

Autant pour l'école maternelle que pour le cycle 2 et 3 de l'école élémentaire, « se repérer dans l'espace » mais aussi « représenter l'espace » fait partie du programme d'enseignement (Ministère de l'Éducation National, 2015). Au cycle 2, les élèves vont aussi aborder l'étude des différents modes de représentation de l'espace environnant (maquettes, plans, photos) mais aussi en produire (Ministère de l'Éducation Nationale, 2015). En profitant de ces volets d'entrée, le travail de représentation et de repérage dans l'espace est réalisé sur une maquette[29] 3D des salles de classe à échelle 1:10. La structure principale de la maquette est fournie mais le reste des éléments y compris le mur en terre et une partie du mobilier de la classe sont réalisés par les enfants.

Dans les différentes maquettes des salles de classe plusieurs moments de vie de classe comme : toute la classe en travail individuel, travail en petits groupes, etc. Pour cela le mobilier est agencé dans la maquette et des personnages représentant les enfants et enseignants sont introduites (Figure 73).

Le repérage dans l'espace est également travaillé à partir de la photographie. Plusieurs photographies, avec différents angles de vue, sont montrées aux enfants et avec un cadre en bois (représentant l'appareil photo), ils sont invités à trouver l'endroit d'où la photographie a été prise.

Finalement, la méthode de parcours commenté (partie 3.3.1.3.1) est également utilisée comme partie du travail de repérage dans l'espace (partie 3.3.2.2.4).

[29] La maquette reste à disposition de l'école et de chaque classe, donc elle pourra être utilisée pour le travail d'autres compétences académiques comme par exemple l'expression écrite ou orale pour la description d'un lieu entre autres.

Figure 73 Fabrication du mobilier (à gauche) et exemple de personnages (à droite).

3.3.2.2.3 L'ambiance sonore

Cette dernière partie sur l'ambiance sonore est composée de six activités regroupées en trois temps (Figure 74) :

- Une première partie introductive sur l'écoute, les mots caractérisant les environnements sonores et les notions du son et du bruit,
- Une deuxième partie sur l'identification des sons et des bruits qui composent les différents paysages sonores de la classe et les appréciations des différents espaces de l'école,
- Une dernière partie sur la décomposition et la recomposition des paysages sonores de la classe.

Les temps consacrés à l'analyse et à l'étude des ambiances sonores dans la classe a pour but d'en déduire les éléments saillants, impactant le confort et l'appréciation sensible des situations vécues par les enfants.

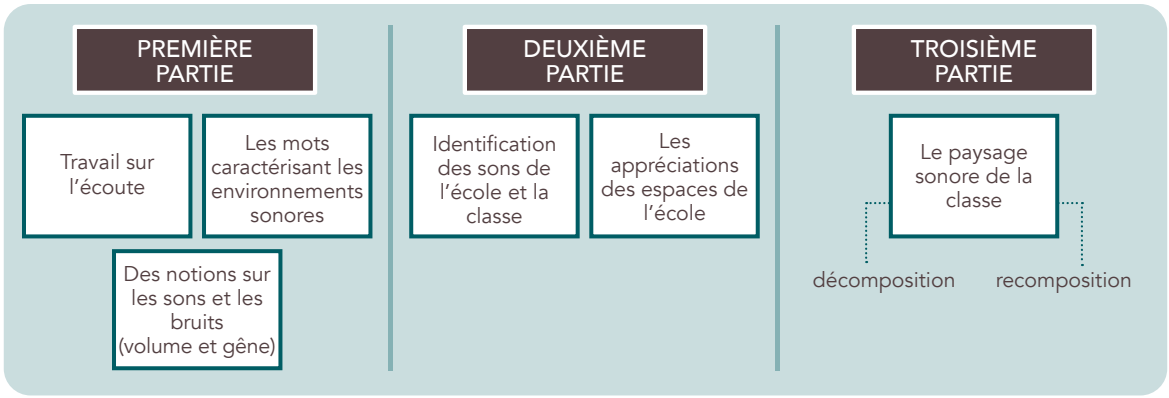


Figure 74 Activités des trois temps de travail sur l'ambiance sonore.

3.3.2.2.3.1 Première partie – Ambiance sonore

Dans la continuité du travail sur les sens, mais pour commencer également à introduire le sonore, une première activité d'écoute est proposée. Pour cela un total de 17 enregistrements de sons et bruits sont fournis aux enseignants. Dans différentes séances, les enregistrements se font écouter aux enfants afin de récupérer leurs impressions. Parmi les sons, il y a des sons du quotidien dans l'école et des sons externes à l'école (Tableau 11).

Ambiance école	Éternuement	Eau des cours d'eau	Règle
Avion	Faire une boule de papier	Marches dans l'escalier	Soupirs
Coupe de papier	Froissement de papier	Ouverture de sac à dos	Traffic avec ambulance
Cour de récréation	Grincement de porte	Récréation école primaire	Règle
Écrire avec un crayon	Bruit de la foule		

Tableau 11 Enregistrements pour les travaux d'écoute.

Dans cette première partie, une recherche des mots avec les élèves de chaque classe est proposée pour catégoriser les environnements sonores de la classe selon les 4 émoticônes suivants (voir Figure 75) :

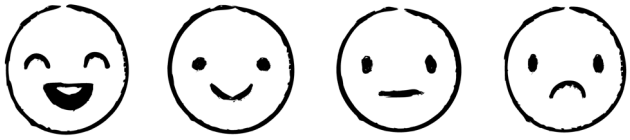


Figure 75 Émoticônes utilisés pour la recherche des mots.

L'ambiance n'est pas un concept statique, elle est changeante (partie 2.1). Donc, afin d'évaluer auprès des enfants, l'influence des facteurs externes comme la météo, l'heure, le moment de la journée mais surtout l'ambiance sonore générés par l'usage du lieu, les élèves sont interrogés à plusieurs reprises sur leurs ressentis selon le moment de vie de classe en utilisant les 4 mots trouvés auparavant (Figure 75). Pour garder une trace de leurs réponses, elles sont notées sur un tableau récapitulatif (Figure 76).

Situation de classe						DATE	HEURE	Avant	Après										
1	2	3	4	5	6														

1. Toute la classe en magistral (regroupement, QLM)
2. Demi-groupe avec enseignant (+ un groupe en autonomie)
3. Toute la classe en petits groupes (2/3 élèves)
4. Toute la classe en travail individuel (écriture)
5. .....
6. .....

Figure 76 Tableau récapitulatif sur les retours des élèves par rapport à l'ambiance sonore.

Les activités qui suivent exposent les différences entre les sons et les bruits et leurs caractéristiques (la hauteur, la durée, l'intensité et le timbre) mais introduisent également la notion de décibel comme unité de mesure et les différences entre le volume et la gêne. Pour introduire les premières

notions et les différences entre sons et bruits, un exposé, adapté à chaque niveau, est réalisé. Des questions comme : « Vous êtes-vous déjà posé la question de la différence entre un son et un bruit ? Tous les sons sont-ils des bruits ? Tous les bruits sont-ils des sons ? Qu'est-ce qui définit un son ? » sont employées (Colot et al., 2015).

Dans la continuité, l'idée de l'échelle des décibels est utilisée (Vermonden, 2007). Dans un premier temps, avec toute la classe, les enfants analysent des dessins donnés en recréant les sources sonores avec leur voix, leur corps, etc. (Figure 77). Ils peuvent aussi récréer des situations à plusieurs quand il y a plus d'une source présente, par exemple une conversation. Pour aider dans l'analyse des dessins type: « Qu'est-ce qui fait ce bruit /son ? Comment est fait ce bruit/son ? » sont utilisées (La main à la pâte, 2012). Par la suite, les enfants tentent de placer les différents dessins sur une échelle en fonction de leur puissance sonore.

Figure 77 Dessins utilisés pour l'analyse du volume et la gêne. © Dessins : Sergi Miranda.

Une fois les dessins placés sur l'échelle collective (toute la classe), des pistes audio correspondant à chaque dessin sont reproduites (pistes audio) pour aider les enfants à mieux comprendre les sons représentés.

Ces mêmes dessins sont placés sur une échelle mais cette fois par rapport à la gêne occasionnée. Pour aider à la compréhension des plus petits, l'échelle de gêne a été illustrée avec des dessins d'une petite fille plus au moins gênée par le bruit (Figure 78). Des questions type : « Est-ce un son/bruit agréable ou déplaisant ? » (La main à la pâte, 2012) peuvent être formulées pour aider à identifier le niveau de gêne.

Pour avoir une meilleure compréhension des rapports des élèves au volume et à la gêne, ces activités collectives sont répétées avec des plus petits groupes, de 3 ou 4 élèves, avec l'ensemble des classes.

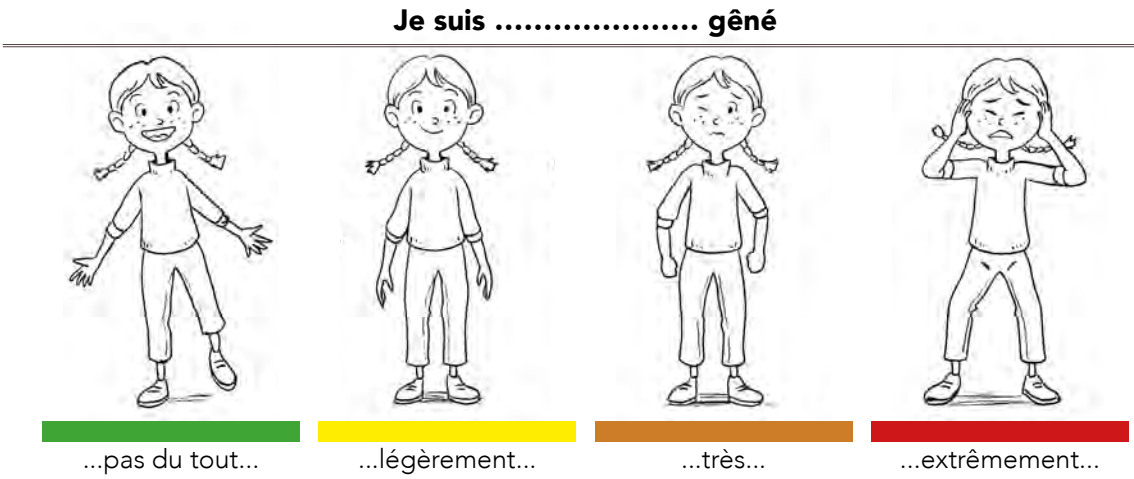


Figure 78 Échelle de gêne (Waye et al., 2013) © Dessins : Sergi Miranda.

3.3.2.2.3.2 Deuxième partie - Ambiance sonore

Les activités de cette deuxième partie sont plus focalisées sur les sons et les bruits de l'école et de la classe, et l'évaluation sonore des espaces. Dans un premier temps, les élèves de forme collectif sont invités à identifier et à décrire les différents bruits et sons qui composent leur quotidien dans la salle de classe et l'école. Toujours sur le travail d'identification des sons/bruits, en s'inspirations des cartes mentales (3.3.1.3.3), les élèves des derniers cours d'élémentaire sont invités à récréer « une journée sonore à l'école » en forme de bande dessinée. Dans cette représentation graphique, ils mettront en évidence les sons/bruits de leur environnement sonore quotidien à l'école. La bande dessinée permet également d'analyser les modes de représentation des sons et des bruits de la part des élèves.

De façon individuelle, les enfants ont placé 3 gommettes correspondant à une échelle avec les catégories suivantes : calme (vert), moyennement calme ou bruyant (orange) et bruyant (rouge) dans un plan de l'école (Figure 79). L'emplacement des gommettes représentait leur choix porté sur les lieux jugés plus calmes et plus bruyants dans l'école.

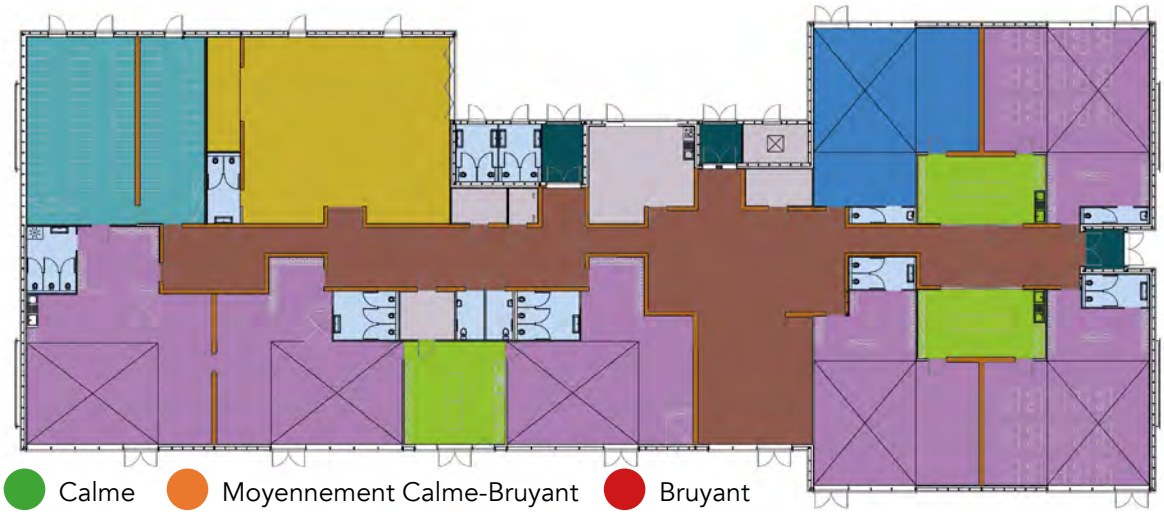


Figure 79 Plan de l'école et gommettes à utiliser.

3.3.2.2.3.3 Troisième partie – Ambiance sonore

Une fois familiarisés avec les différents sons et bruits de leur environnement quotidien dans l'école, nous proposons de décomposer et recomposer les paysages sonores des classes (partie 3.3.1.4). Cette partie cherche à comprendre un peu plus quels sont les sons/bruits que les enfants mettent en avant et comment les paysages sonores des classes sont construits et perçus par les élèves.

Pour ceci nous avons compté sur la collaboration active de Maxime Renaud, étudiant en architecture, qui pendant son stage de recherche facultatif développe une application de spatialisation sonore en réalité augmentée. Le développement et le test de l'application au sein des écoles compte avec sa collaboration et son travail de mars à mi-juillet 2021. Dans la notice de l'Annexe 2, développé par Maxime Renaud, l'installation, le développement ainsi que l'utilisation de l'application sont détaillés.

En ce qui concerne les activités développées avec les élèves, il est possible de différencier 5 étapes (Figure 80). Tout d'abord, (i) les sons identifiés par les enfants sont reproduits et enregistrés. Par la suite, (ii) un moment de vie de classe est sélectionné et représenté dans la maquette 3D de chaque classe. Les sons et bruits associés à ce moment de classe sont (iii) identifiés et associés à une cible qui est (iv) placé dans la maquette. Quand la totalité des éléments nécessaires pour la reproduction de la situation de classe choisis sont introduits dans la maquette, (v) le son est activé et les différentes sources sonores sélectionnées commencent à être entendues. L'application développée permet de monter et de baisser le volume des pistes sonores, en fonction du ressenti des élèves. L'application permet aussi de placer les sons dans le temps, par exemple le bruit de la chaise est entendu toutes les deux minutes, en revanche le bruit de la ventilation est entendu pendant la totalité de la reproduction, etc. Il y a aussi la possibilité d'enlever des sons comme d'en introduire de nouveaux en mettant en pause la reproduction et en démarrant à nouveau.

L'introduction ou la suppression des sons et la variation du volume des pistes sonores continuent jusqu'à ce que le groupe d'élèves considère qu'ils ont trouvé l'ambiance sonore du moment de vie de classe choisie et représentée dans la maquette. L'application permet de sauvegarder la composition finale, leurs volumes et leur temporalité. L'emplacement des objets sur la maquette est pris en photo.

À partir des compositions finales sauvegardées, il est possible d'analyser les pistes sonores que les enfants mettent en avant et de cette manière, en ressortir des valeurs comme le volume ou la typologie de son auxquels les enfants sont plus sensibles ou avec un plus grand impact sur leur confort.

L'application développée est conçue initialement pour une écoute spécialisée avec le positionnement de 5 enceintes (partie 2.2.2.3 de l'Annexe 2). Cependant, une variante pour mobile (Android) et simplifiée du projet est également développée et fournie aux enseignants des deux écoles.

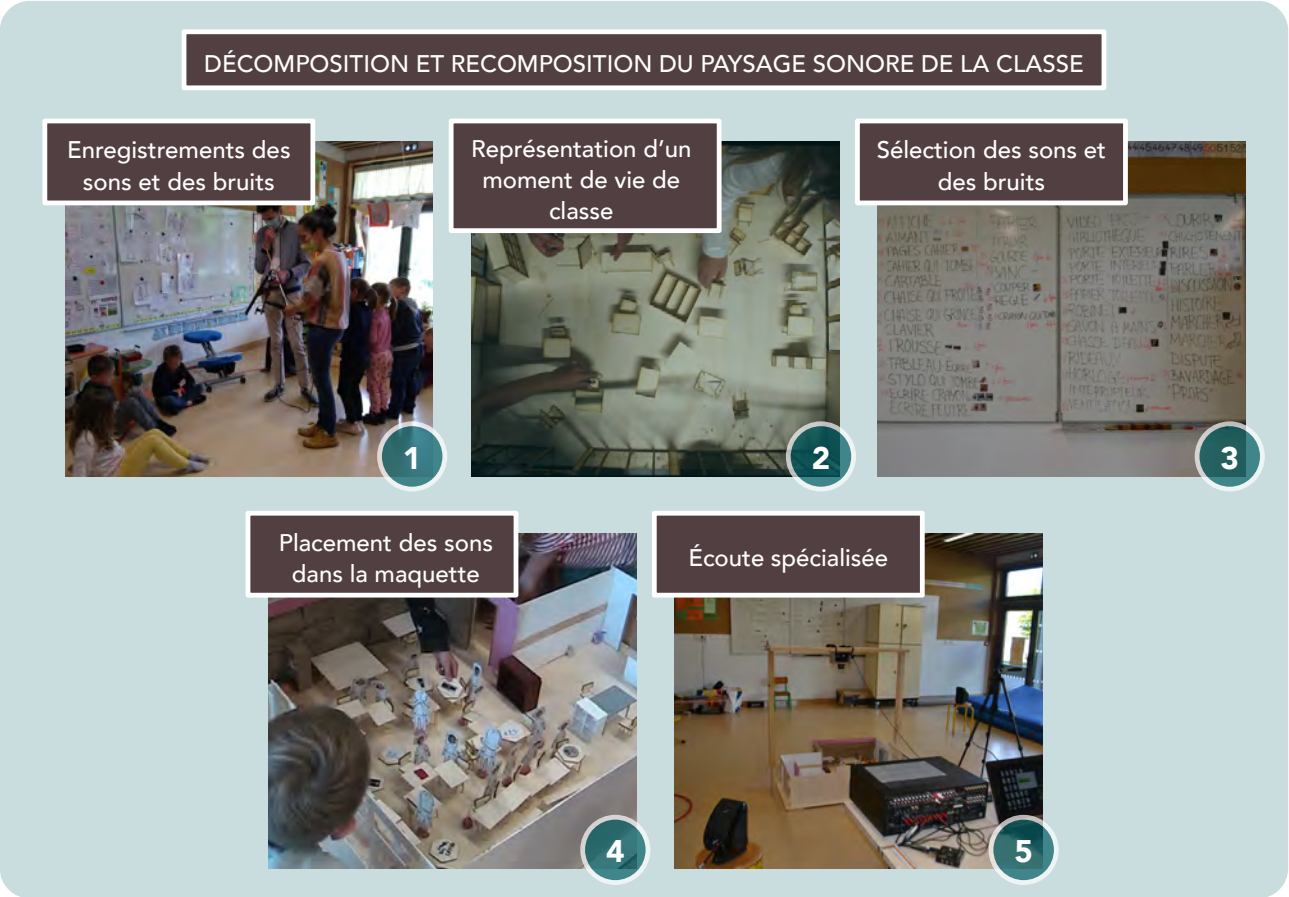


Figure 80 Activités et étapes réalisées.

3.3.2.2.4 Le parcours commenté

Sur le principe de la méthode du parcours commenté (Thibaud, 2001) (3.3.1.3.1), nous proposons la réalisation de promenades commentées au sein de l'école de Bouvron. Toujours sur réadaptations de l'outil initial, ce type d'enquête en mouvement a déjà été utilisée avec des enfants dans des recherches précédentes comme par exemple sur les espaces urbains (Audas et al., 2020) ou, pas tout à fait pareil, mais avec des éléments en commun, sur des méthodes de parcours iconographiques des espaces public urbains (Le Guern et Themines, 2011). Avec plus ou moins de difficultés, ils se sont révélés être des outils intéressants pour la récolte de la perception et de l'appréhension des espaces de la part des enfants.

Dans le cas de cette thèse, un point est fait avant les promenades avec l'ensemble de la classe sur les trois consignes de base introduites dans le « parcours commenté » : marcher, percevoir et décrire. Pour éclaircir ces concepts, surtout pour les plus petits, les définitions suivantes sont données :

MARCHER

Se déplacer en mettant un pied devant l'autre. S'avancer vers quelqu'un, quelque chose. Donc ne pas courir !

PERCEVOIR

Saisir, prendre connaissance par les sens (CNRTL, 2012).

Dans ce cas, nous avons fait appel au travail réalisé auparavant sur les sens et les émotions.

DÉCRIRE

Exposer quelque chose, dépeindre quelqu'un par l'écriture ou par la parole (Larousse, 2022).

Ces définitions sont accompagnées d'exemples et d'une discussion avec toute la classe afin d'assurer la compréhension de ces consignes par l'ensemble des élèves.

Les parcours sont réalisés pendant les heures de cours afin d'éviter la perturbation d'autres enseignements ainsi que le sommeil des plus petits (dortoirs). Les balades sont réalisées seulement dans les parties communes de l'école : couloir, bibliothèque et salle de motricité.

Les promenades sont réalisées en groupes de trois élèves et dans le cas des maternelles les enseignants nous accompagnent. Pour la balade, les élèves sont équipés d'un dictaphone pour enregistrer leur discours, d'un plan où marquer leur parcours (le choix est laissé libre à chaque groupe) et d'un cadre en bois de 26x20cm pour prendre une « photo » de leur endroit préféré de la balade et celui le moins aimé (Figure 81). Pour une analyse plus complète de l'expérience, la totalité des parcours sont enregistrés également en vidéo.

Figure 81 Matériel utilisé pendant le parcours.

Pendant le parcours, les élèves sont questionnés sur leur perception et leur ressenti, en essayant de faire appel au travail réalisé auparavant sur les émotions et les sensations. Ils sont aussi invités à décrire ce qu'ils voient, entendent, sentent ou touchent, en leur rappelant qu'il y a différents sens et qu'il est important de faire appel à tous les sens pour décrire leur parcours. Les parcours ont une durée de 20 à 30 minutes par groupe.

3.3.2.3 Les salles d'expérimentation

La méthodologie utilisée intègre des techniques de recueil d'informations quantitatives et qualitatives, comme le questionnaire, l'entretien semi-directif ou des cartes des mouvements (Figure 82).

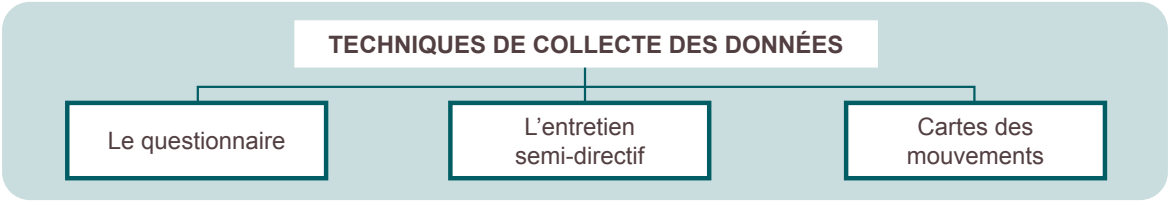


Figure 82 Techniques de collecte des données employées.

3.3.2.3.1 Mise en place du questionnaire

Les questionnaires utilisés sont composés d'un total de 10 questions fermées (dichotomiques, avec une réponse possible et multi réponses) et avec des échelles à différentiels sémantiques. Les questions sont structurées en 3 sections. La première section est composée de quatre questions concernant le sexe, l'âge de la personne enquêtée, la ville d'habitation et le métier. Ce sont principalement des questions d'identification pour caractériser l'enquêté (Salès-Wuillemin, 2006). La deuxième section porte sur la perception de la salle d'après différents paramètres composant l'ambiance d'un lieu. Les questions de la dernière section concernent les matériaux de constructions utilisés dans les logements des participants et la perception de l'ambiance chez eux. Le but de cette dernière partie est, d'un côté, d'identifier s'ils sont familiarisés avec la terre crue ou autres matériaux naturels dans leur quotidien et, d'un autre côté, de savoir s'il peut y avoir un lien entre les ressentis de sons quotidiens (chez eux) et ceux de la pièce étudiée (Figure 83).

Certains participants n'avaient pas une maitrise complète de l'écriture donc afin de procéder de la même manière à chaque fois, la totalité des questions sont posées oralement et remplies en collaboration entre l'enquêté et l'enquêteur.

IDENTITÉ DE L'INTERVIEWÉ

Id. : .....

Sexe: …… Âge : .....

Date : .....

Habitant du quartier : …… si oui, depuis quand ?.....

De Grenoble ? ……..

LA SALLE DE L'EXPÉRIENCE

1. Du point de vue de votre ressenti, l'ambiance de la salle vous paraît :

	très désagréable	assez désagréable	un peu désagréable	un peu agréable	assez agréable	très agréable
Visuellement (forme, couleurs, architecture...)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La lumière naturelle	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
L'éclairage	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La thermique (température)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La thermique (humidité)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
Sonore (acoustique)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6

2. De tous les éléments signalés dans la question précédente quel élément vous a le plus marqué / surpris **positivement** dans la salle (une seule réponse possible) ?

☐ Le visuel ☐ La lumière naturelle ☐ L'éclairage
☐ La thermique (température) ☐ La thermique (humidité) ☐ Sonore (acoustique)
☐ autre :

3. De tous les éléments signalés dans la question précédente quel élément vous a le plus marqué / surpris **négativement** dans la salle (une seule réponse possible) ?

☐ Le visuel ☐ La lumière naturelle ☐ L'éclairage
☐ La thermique (température) ☐ La thermique (humidité) ☐ Sonore (acoustique)
☐ autre :

VOTRE LOGEMENT

4.Connaissez-vous les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement* ?

☐ pierre ☐ parpaing ☐ béton armé
☐ brique cuite ☐ structure bois plus isolation ☐ bottes de paille
☐ terre crue ☐ je ne sais pas ☐ autre :

5. Les finitions intérieures des murs et sols de votre logement sont principalement* :

☐ peinture / papier peint ☐ carrelage ☐ lambris bois
☐ maçonnerie apparente ☐ moquette ☐ enduit ciment
☐ enduit chaux ☐ enduit plâtre ☐ enduit terre crue
☐ parquet ☐ lino ☐ tapisserie
☐ je ne sais pas ☐ autre :

6. Du point de vue de votre ressenti, l'ambiance de votre logement vous paraît:

	très désagréable	assez désagréable	un peu désagréable	un peu agréable	assez agréable	très agréable
Visuellement (forme, couleurs, architecture...)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La lumière naturelle	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
L'éclairage	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La thermique (température)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La thermique (humidité)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
Sonore (acoustique)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6

Figure 83 Questionnaire utilisé

3.3.2.3.2 Mise en place de l'entretien

Afin de garder en tête les thèmes abordés lors de l'entretien, une grille d'entretien est élaborée. Cette grille aborde les thématiques et questionnements d'une partie de cette recherche (partie 1.2 et Chapitre 5). La grille d'entretien est composée initialement de 7 questions pour l'état initial des salles, donc sans terre crue et de 8 questions pour l'état final avec terre crue. Cependant, au cours de l'entretien de nouveaux questionnements sont apparus et des questions qui n'étaient pas initialement prévues sont ajoutées (questions 9,10 et 11).

Grille d'entretien

Questions posées avec et sans terre crue et objectifs des questions :

1. *Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit après ce moment dans la salle.*

Cette première question cherche à recueillir les premières réactions ou ressentis des participants par rapport à l'espace mais d'une manière sommaire et concise.

2. *Quelle est la première chose que vous avez remarquée (qui vous a le plus attiré) quand vous êtes rentré.e dans la salle?*

Cette question a un but comparatif car nous cherchons à voir si, du moment que la terre crue est présente, elle crée une sorte d'attirance ou d'ambiance particulière au premier abord.

3. *Comment définiriez-vous l'ambiance générale de cette salle ? Qu'est-ce qu'on ressent ?"*

Le but principal de cette question est de comprendre et d'analyser comment l'ambiance est perçue et décrite avec et sans terre crue, voir si le changement de matérialité apporte une variation significative dans l'ambiance perçue et leur façon de la décrire.

4. *D'après vous, quels sont les sens les plus stimulés en étant dans la salle ?*

Tout en étant conscient de l'importance de tout notre sensorium, nous demandons aux participants de séparer les sens ; le but étant d'observer si une différenciation se produit avec la présence de la terre crue.

5. *Si vous vous concentrez sur le sens de l'ouïe, pouvez-vous décrire votre expérience dans la salle ?*

Cette question cherche à comprendre comment l'environnement sonore de la pièce est décrite avec et sans terre crue. Afin d'analyser si une connexion peut exister entre l'expérience sonore de la pièce et sa matérialité.

6. *Si vous vous concentrez sur le sens tactile, pouvez-vous décrire votre expérience dans la salle ?*

Pour la même raison que dans la question 5 mais cette fois sur le travail de thèse mené par Nuria Alvarez Coll sur le sens tactile, les participants sont questionnés directement sur le sens tactile.

7. *Avant de finir, aimeriez-vous signaler ou apporter quelque chose ?*

Cette question a pour but de donner la possibilité avant de finir l'entretien, d'apporter des commentaires ou précisions aux participants s'ils le jugent nécessaire.

Au cours de l'entretien, il a été jugé pertinent de rajouter les questions 9, 10 et 11. Les deux premières permettent d'explorer d'autres sens mais également de comprendre plus largement la perception de l'ambiance perçue par les participants car parfois différents sens sont mélangés. La question 11 est rajoutée suite à la différenciation réalisée par plusieurs participants sur la façon d'appréhender l'espace selon l'activité qu'ils étaient en train de réaliser.

8. *Si vous vous concentrez sur le sens visuel, pouvez-vous décrire votre expérience dans la salle?*

9. *Si vous vous concentrez sur le sens olfactif, pouvez-vous décrire votre expérience dans la salle?*

10. *Avez-vous des ressentis différents selon votre comportement dans la salle (mode découverte / mode actif) ?*

Questions posées seulement avec de la terre crue :

Quand la personne remarquait la présence de la terre crue la question suivante était posé :

11. *Pensez-vous que la présence de la terre crue contribue à votre perception du lieu général et l'ambiance sonore en particulier (du point de vue de votre ressenti) ? Si oui, comment expliquez-vous cela ? Si non, pourquoi ?*

Avec cette question nous cherchons à comprendre de quelle manière la terre peut influencer l'ambiance perçue et vécue de la pièce.

Comme vu dans la partie 3.3.1.2.1.1, la grille est uniquement une base sur laquelle l'enquêteur va s'appuyer mais il est important de l'adapter à chaque enquêté. Donc même si ces questions restent les principales d'autres ont aussi apparu au cours de l'entretien pour affiner ou compléter certaines informations apportées par les participants.

3.3.2.3.3 Mise en place de cartes de mouvements

Parfois il n'est pas évident de mettre des mots sur les ressentis ou d'exprimer correctement les perceptions d'un lieu. À ce propos, dans l'expérience développée dans les salles d'expérimentation, les mots et descriptions apportés par les participants sont complétés par un travail d'observation.

Pour ce faire, deux caméras vidéos (GoPro) sont installées à Grenoble et une caméra à Barcelone. Ces caméras ont pour but d'enregistrer les déplacements des participants et voir si la présence de la terre génère un changement dans leurs mouvements dans l'espace.

Les déplacements sont tracées sous forme de lignes sur les plans des salles d'expérimentation (3.3.1.3.2).

3.3.2.3.4 Protocole mise en place

L'expérience menée est basée sur un protocole d'isolement d'un total de 10 minutes dans l'espace à étudier (Figure 84). Le temps d'isolement est précédé d'un accueil où des consignes et des explications sont données. Par la suite, les participants sont invités à s'étirer, se frotter légèrement le corps avec les mains et à faire tout autre mouvement qu'ils jugent pertinent pour rentrer dans la pièce de façon tranquille et sereine (mouvement d'activation des sens). Après cela l'entretien semi-directif et le questionnaire sont réalisés. Les protocoles d'isolement dans un espace suivis des entretiens, ne sont pas un procédé inconnu dans l'étude des ambiances ; l'expérience menée par Nielsen et al. sur le potentiel de l'ambiance d'illuminations colorées dans l'architecture en est un exemple (Nielsen et al., 2018).

Plus concrètement, l'isolement dans la pièce est décomposé en deux temps. Un premier temps de **découverte**, d'environ 2 minutes, où l'interviewé est invité à appréhender le lieu à partir de sa lecture de la réalité. Cette lecture passe par un minimum de trois étapes. D'abord une étape sensorielle basée sur la réception des stimulus extérieurs via la totalité du corps propre et notre sentiment affectif de l'existence (Bernay-Angeletti, 2016; Pallasmaa, 2017). Par la suite, une deuxième étape d'analyse où une mise en forme de cette lecture est réalisée et enfin une étape d'interprétation des données acquises (Bernay-Angeletti, 2016). Cette dernière étape consiste à attribuer une signification à l'information récoltée en l'ancrant dans le contexte temporel, social et culturel ainsi qu'aux connaissances et aux vécus propres à chaque individu.

Par la suite, l'interviewé est invité **à faire** quelque chose, ou plus précisément à lire, boire du thé, du café ou écouter de la musique. Des choses qu'il aurait pu faire dans cette pièce hors du cadre de l'expérience. Le but de cette différenciation de temps est d'analyser les rapports sensibles selon l'action que nous sommes est en train de mener et voir si une différenciation dans la perception des ambiances est signalée.

Comme exposé juste avant, la totalité de l'isolement dans la pièce est filmé par une caméra vidéo à Barcelone et deux caméras vidéo à Grenoble. Les participants sont informés de l'existence de ces dispositifs. Cependant, le lieu exact n'est pas donné pour permettre des déplacements les plus naturels possibles et éviter de possibles blocages.

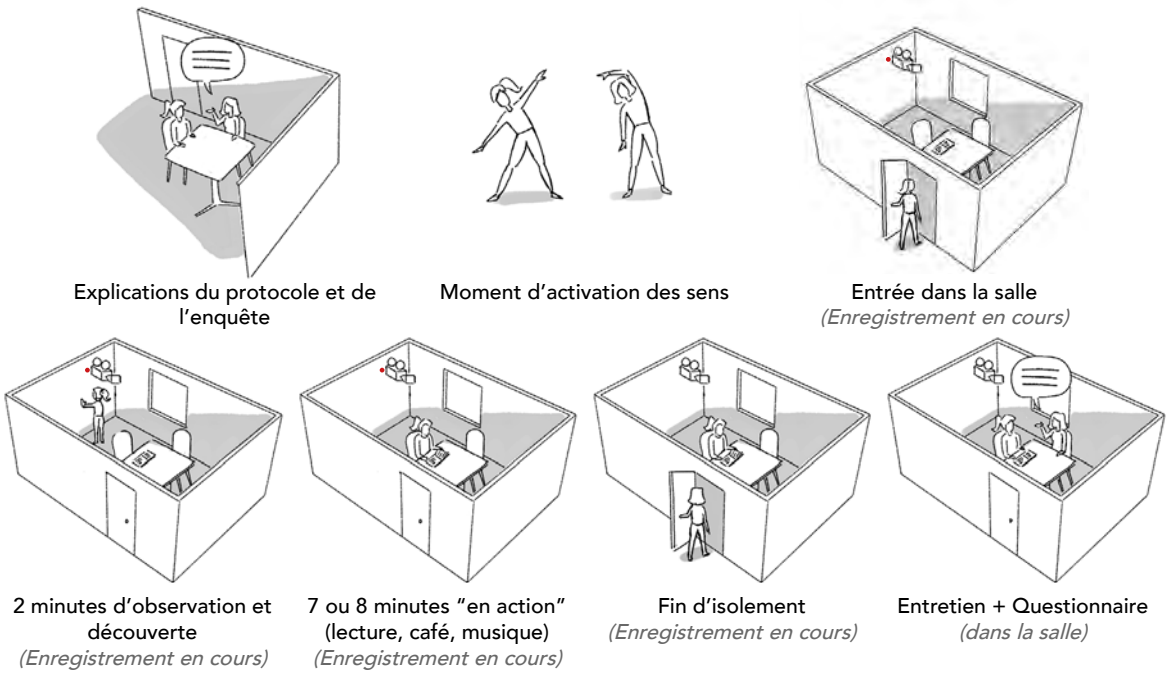


Figure 84 Protocole mis en place © Dessins : Sergi Miranda.

Cinq profils différents de personnes interrogées sont définit (Figure 85). Un premier profil où les participants réalisent un seul entretien dans l'état initial de la salle (sans terre crue). Un deuxième profil pour lequel un seul entretien est réalisé, mais cette fois-ci après la mise en place du mur en terre crue. Avec ces deux profils, nous cherchons à appréhender l'espace sans aucune information complémentaire, au-delà du corps et du contexte individuel. Cependant, les participants du profil 3 ont réalisé l'expérience deux fois – une fois avec l'état initial et une deuxième avec le mur en terre. Cette fois-ci, ils ont l'information complémentaire de l'état de la pièce, sans et avec la présence de la terre crue. Cette expérience cherche à établir si la participation dans la phase de chantier peut influencer l'ambiance perçue par un individu. À ce propos, une nouvelle variable est introduite pour les deux derniers profils de participant : « le chantier ». Les participants du profil 4 réalisent l'expérience une seule fois en présence de la terre, mais avec l'avantage d'avoir participé au chantier. Finalement, les participants du profil 5, ont à leur tour, participé au chantier mais ils réalisent l'isolement dans la salle deux fois, avec et sans terre.

PROFIL 1	PROFIL 2	PROFIL 3	PROFIL 4	PROFIL 5
État initial *Avant transformation* 1 entretien	**État final** *Après transformation* 1 entretien	**État initial** *Avant transformation* 1 entretien + **État final** *Après transformation* 1 entretien	**Chantier** + **État final** *Après transformation* 1 entretien	**État initial** *Avant transformation* 1 entretien + **Chantier** + **État final** *Après transformation* 1 entretien

Figure 85 Profils des participants

Chapitre 4. Cas d'études : les établissements scolaires

4.1 Introduction

Les constructions en terre crue ont connu un regain d'intérêt les dernières décennies (1.1.4). Des opérations d'aménagement comme le Grand Paris (Express, 2021) ou, à plus petite échelle, la ZAC Maison Neuve à Guérande (Ville de Guérande et Loire-Atlantique développement, 2019) sont en train de prendre également de l'ampleur. Cependant, encore aujourd'hui, la décision de construire avec de la terre dans des pays comme la France, très souvent, repose sur une certaine sensibilité pour le matériau ou la faible empreinte environnementale des matériaux. Si l'étude avait été focalisée sur le logement par exemple, elle aurait concerné un public particulièrement sensibilisé à la terre crue. En revanche, dans le cas des établissements publics, les usagers n'ont pas particulièrement choisi l'utilisation de la terre crue. Ce travail permet l'accès à un échantillon plus large et varié à enquêter (adultes, enfants, profils socio-culturels différents, etc.). La diversité du public ouvre la possibilité d'étudier les rapports à l'espace et à la terre crue **des différents types d'usagers**. Par exemple, le rapport que peut avoir un enseignant qui passe la totalité de son temps de travail dans l'établissement, sera différent de celui des parents d'élèves ou des enfants eux-mêmes. À partir de ce postulat nous nous questionnons sur :

Quelles sont les différences des rapports à l'espace des différents types d'usagers ? Comment sont-ils construits? La terre joue-t-elle un rôle particulier dans leurs perceptions ?

Au-delà du large panel de profils que l'étude des écoles nous offre, la gestion des ambiances sonores dans les établissements scolaires est primordiale pour une bonne qualité d'usage (3.1.1). Cette étude paraît alors avoir tout à fait du sens dans ce type d'établissement, mais :

Comment l'ambiance sonore est perçue et vécue par les usagers ? La terre a-t-elle un rôle particulier dans la construction de cette ambiance sonore ?

L'étude dans les écoles nous permet également la réalisation d'une investigation purement physique des paramètres comme la réverbération, l'isolation entre salles ou encore l'intelligibilité de la parole (Speech Transmission Index STI). Les mesures seront également confrontées aux retours des usagers afin de vérifier si :

Il existe des convergences ou des contradictions entre les mesures physiques et les ressentis des usagers ?

En ce qui concerne l'acoustique interne, nous chercherons dans ce chapitre également à étudier le potentiel des enduits en terre crue en parement, fibré ou pas, pour moduler la porosité en surface. Pour cela nous étudierons différentes solutions et leurs influences sur les paramètres physiques du lieu en mêlant la mesure in situ, la mesure en laboratoire et la simulation sur CATT- Acoustic. Donc, pour finaliser, une dernière question se pose :

Les finitions des parements en terre peuvent-elles avoir une influence mesurable sur la qualité acoustique des salles ?

4.2 Analyse de résultats

L'analyse des résultats est dissociée entre données physiques et données sensibles. Cependant, dans la dernière partie de ce chapitre les deux types de données sont confrontés.

4.2.1 Approche physique

Dans les parties qui suivent, l'ensemble des résultats des mesures physiques obtenues et les simulations est exposé (Tableau 12).

Mesures physiques – In situ	Établissement scolaire	Technique de mise en œuvre	N° de classes mesu-rées
Niveaux de bruit de fond	École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44	Bauge	5 classes
	École publique les Lucioles – Baulon 35	Torchis et terre allégée	4 classes et bibliothèque
	École Publique de la Madeleine – Fégréac 44	Brique de terre comprimée	3 classes
	École Publique de Mouais –Mouais 44	Enduit sur support bottes de paille et terre allégée	2 classes
Isolation entre pièces	École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44	Bauge	3 classes
	École publique les Lucioles – Baulon 35	Torchis et terre allégée	3 classes
	École Publique de la Madeleine – Fégréac 44	Brique de terre comprimée	3 classes
Le temps de réverbération (Tr)	École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44	Bauge	6 classes
	École publique les Lucioles – Baulon 35	Torchis et terre allégée	4 classes et bibliothèque
	École Publique de la Madeleine – Fégréac 44	Brique de terre comprimée	3 classes
	École Publique de Mouais –Mouais 44	Enduit sur support bottes de paille et terre allégée	2 classes
	École publique La Hulotte – Treffieux	Brique	1 classe
Speech transmission Index (STI) - Intelligibilité	École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44	Bauge	5 classes
	École publique les Lucioles – Baulon 35	Torchis et terre allégée	2 classes
	École Publique de la Madeleine – Fégréac 44	Brique de terre comprimée	3 classes
	École Publique de Mouais –Mouais 44	Enduit sur support bottes de paille et terre allégée	2 classes
Coefficient d'absorption in situ	École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44	Bauge	1 mur – 2 parties
	École publique les Lucioles – Baulon 35	Torchis et terre allégée	2 murs
	École Publique de la Madeleine – Fégréac 44	Brique de terre comprimée	1 mur
	École Publique de Mouais –Mouais 44	Enduit sur support bottes de paille et terre allégée	2 murs
Mesures physiques – Labo	**Terre**	**Nature de fibre**	**N° d'éprouvettes**
Coefficient d'absorption dans le tube de Kundt (laboratoire)	Terre 1 Baulon	Chanvre I Paille I Lin	79
	Terre 3 Baulon	Chanvre I Paille I Lin	79
	Terre 2 Bouvron	Chanvre I Paille I Lin	39
Simulation	**Établissement scolaire**	**Technique de mise en œuvre**	**N° de classes étu-diées**
Simulation acoustique – CATT-Acoustic	École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44	Bauge	1 classe non meublée
		Torchis et terre allégée	1 classe non meublée

Tableau 12 Ensemble des mesures analysées au cours de ce chapitre.

4.2.1.1 Niveaux de bruit de fond

Dans le point 3.1.1 nous avons exposé l'importance du niveau de bruit et ses conséquences tant pour les élèves que pour les enseignants. Or, l'augmentation plus importante du bruit dans les salles de classe est attribuée à l'activité des enfants (Sato et Bradley, 2004). Elles peuvent augmenter les niveaux de bruit jusqu'à 10dB pendant les activités d'enseignement (Sato et Bradley, 2004). Pour le contrôle des bruits occasionnés par les activités des enfants, les recherches n'ont pas prouvé qu'une absorption supplémentaire puisse diminuer ces bruits car la plupart sont des sons directs proches des élèves (Sato et Bradley, 2004). Le contrôle pourra donc se faire presqu'exclusivement à la source (Sato et Bradley, 2004). En même temps, il faut être prudent car un ajout surdimensionné d'absorption peut entraîner une réduction trop importante des réflexions. L'excès de réflexions n'est pas souhaitable mais sa réduction totale non plus, car les réflexions précoces peuvent améliorer la transmission du message de l'enseignant de 5dB (Sato et Bradley, 2004).

Toutefois, comme abordé sur la partie 3.2.2.2.1 pour une perception claire de la parole, le niveau de bruit de fond ne doit pas dépasser **35dB (A)** selon « Guidelines for Community Noise» de l'OMS (Berglund et al., 1999). En outre, l'article 4 de l'arrêté du 25 avril du 2003 (Legifrance, 2003) dispose que le bruit engendré par les équipements, par exemple la ventilation, ne doit être supérieur à:

Bibliothèque > L_{nAT}[30] : **33dBA** (fonctionnement continu) / 38dBA (fonctionnement intermittent)

Local d'enseignement > L_{nAT}: **38dBA** (fonctionnement continu) / 43dBA (fonctionnement intermittent)

Donc, les valeurs mesurées dans les salles de classe ne devront pas dépasser le niveau global pondéré de 35dB(A) selon l'OMS. Pour obtenir la valeur globale, en raison de l'échelle logarithmique, il n'est pas possible d'additionner arithmétiquement les niveaux sonores exprimés en dB (Pujol, 2012). Les sommes et les soustractions sont réalisées de manière énergétique, c'est-à-dire en faisant la moyenne de l'énergie acoustique présente à chacun des points de mesure (Avilés López et Perera Martín, 2017) (Équation [41]).

$$L_r = 10 \cdot log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} 10^{\frac{L_i}{10}}\right) \quad [41]$$

L_r = niveau sonore résultant au point de réception en provenance des sources sonores (dB)

L_i = niveau sonore de chacune des sources quand elle fonctionne seule (dB)

n = chacun des points de mesure

Pour le calcul de L_{nAT} abordé dans l'arrêté, le temps de réverbération est intégré au niveau de pression standardisé (équation [42]).

$$L_{nAT} = L_p + 10 \cdot log\left(\frac{T_r}{T_0}\right) \quad [42]$$

L_p = niveau de pression acoustique (dB)

T_r = temps de réverbération de la salle (secondes)

T_0 = temps de réverbération de référence (secondes)

[30] La valeur du niveau de pression acoustique normalisé (partie 3.2.2.2.1.1).

La sensation auditive va dépendre principalement de l'énergie sonore (intensité) et de la fréquence, mais le fait d'avoir une sensibilité différente suivant la fréquence, fait qu'un même niveau d'intensité peut être perçu différemment. Ce fait connu a été pris en considération avec le développement des courbes de pondération fréquentielles à appliquer sur les mesures physiques, afin d'approcher la mesure à la réalité ressentie par l'oreille humaine (Hamayon, 2014). Il existe plusieurs courbes de pondération mais la plus utilisée et la plus adaptée à l'ouïe est la courbe de pondération A (Avilés López et Perera Martín, 2017). L'ensemble des valeurs mesurées sont donc pondérées à l'aide de cette courbes (A).

4.2.1.1.1 École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44

Dans l'ensemble des classes de Bouvron, les valeurs mesurées sont plus élevées que recommandées pour assurer une perception claire de la parole (Tableau 13), probablement en raison du haut niveau sonore de la ventilation.

	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz	Global
Classe 3	41,6	41,0	35,9	30,5	28,2	22,2	19,2	19,2	45,2dB(A)
	-	41,0	35,9	30,5	28,2	22,2	19,2	-	42,7dB(A)
	L_{nAT} (entre 125Hz et 4000Hz)								**41,6dB(A)**
Classe 4	44,0	42,0	38,3	30,9	27,2	22,4	19,1	19,5	47,0dB(A)
	-	42,0	38,3	30,9	27,2	22,4	19,1	-	43,9dB(A)
	L_{nAT} (entre 125Hz et 4000Hz)								**43,1dB(A)**
Classe 5	47,0	43,8	39,0	32,7	30,7	25,6	20,6	19,4	49,3dB(A)
	-	43,8	39,0	32,7	30,7	25,6	20,6	-	45,5dB(A)
	L_{nAT} (entre 125Hz et 4000Hz)								**45,0dB(A)**
Classe 6	42,7	40,6	37,4	31,6	27,7	23,1	19,2	19,3	45,8dB(A)
	-	40,6	37,4	31,6	27,7	23,1	19,2	-	42,9dB(A)
	L_{nAT} (entre 125Hz et 4000Hz)								**42,6dB(A)**
Classe 7*	46,1	43,7	40,2	34,7	31,2	25,3	23,1	23,9	49,0dB(A)
	-	43,7	40,2	34,7	31,2	25,3	23,1	-	45,9dB(A)
	L_{nAT} (entre 125Hz et 4000Hz)								**48,3dB(A)**

**Pas meublée*

Tableau 13 L_{Aeq} en dB par bande d'octave, valeurs globales et L_{nAT} – Bourvon (bruit de fond).

4.2.1.1.2 École publique les Lucioles – Baulon 35

Sauf dans la classe 3, l'ensemble des valeurs des classes et de la bibliothèque de Baulon dépassent le niveau de bruit de fond et L_{nAT} recommandé (L_{nAT} > 38dBA) (Tableau 14). Cependant, dans la classe 2, même si les valeurs sont au-dessus des recommandations, elles sont plus basses et plus proches de celles de la classe 3. Encore une fois la présence de la ventilation pourrait expliquer en partie ces valeurs. Les deux classes centrales, classe 2 et classe 3, ont des niveaux de bruits inférieurs.

	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz	Global
Classe 1	40,6	44,8	45,4	32,8	28,2	29,0	24,6	19,2	49,0dB(A)
	-	44,8	45,4	32,8	28,2	29,0	24,6	-	48,3dB(A)
	L_{nAT} (entre 125Hz et 4000Hz)								**47,8dB(A)**
Classe 2	38,1	35,2	37,1	26,6	23,1	21,1	18,7	19,3	42,0dB(A)
	-	35,2	37,1	26,6	23,1	21,1	18,7	-	39,7dB(A)
	L_{nAT} (entre 125Hz et 4000Hz)								**39,5dB(A)**
Classe 3*	42,3	30,9	31,7	25,3	24,5	22,2	22,9	24,3	43,2dB(A)
	-	30,9	31,7	25,3	24,5	22,2	22,9	-	35,7dB(A)
	L_{nAT} (entre 125Hz et 4000Hz)								**37,4dB(A)**
Classe 4*	52,1	48,4	43,6	33,9	26,2	25,4	24,1	23,9	54,1dB(A)
	-	48,4	43,6	33,9	26,2	25,4	24,1	-	49,8dB(A)
	L_{nAT} (entre 125Hz et 4000Hz)								**51,9dB(A)**
Biblio	44,2	37,4	36,9	33,8	32,6	31,5	22,9	19,1	46,3dB(A)
	-	37,4	36,9	33,8	32,6	31,5	22,9	-	42,1dB(A)
	L_{nAT} (entre 125Hz et 4000Hz)								**39,9dB(A)**

**Pas meublée*

Tableau 14 L_{Aeq} en dB par bande d'octave, valeurs globales et L_{nAT} – Baulon (bruit de fond).

4.2.1.1.3 École Publique de la Madeleine – Fégréac 44

Dans l'ensemble des classes de Fégréac les valeurs obtenues ne dépassent pas celles recommandées (Tableau 15).

	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz	Global
Classe 1	29,9	20,6	15,5	12,4	15,8	16,4	17,8	18,8	31,3dB(A)
	-	20,6	15,5	12,4	15,8	16,4	17,8	-	24,9dB(A)
	L_{nAT} (entre 125Hz et 4000Hz)								**24,2dB(A)**
Classe 2	24,5	17,4	12,2	12,7	15,9	15,5	17,1	18,7	27,6dB(A)
	-	17,4	12,2	12,7	15,9	15,5	17,1	-	23,3dB(A)
	L_{nAT} (entre 125Hz et 4000Hz)								**22,8dB(A)**
Classe 3	25,8	19,2	14,0	12,5	15,7	15,8	17,0	18,5	28,5dB(A)
	-	19,2	14,0	12,5	15,7	15,8	17,0	-	24,0dB(A)
	L_{nAT} (entre 125Hz et 4000Hz)								**22,8dB(A)**

Tableau 15 L_{Aeq} en dB par bande d'octave, valeurs globales et L_{nAT} – Fégréac (bruit de fond).

4.2.1.1.4 École Publique de Mouais –Mouais 44

Finalement, dans les deux classes de Mouais, les valeurs mesurées sont plus hautes que celles recommandée (Tableau 16). La source de bruit principal vient encore une fois de la ventilation et surtout dans la classe 2.

	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz	Global
Classe 1	45,3	40,8	38,6	30,0	25,2	24,1	20,6	19,2	47,4dB(A)
	-	40,8	38,6	30,0	25,2	24,1	20,6	-	43,2dB(A)
	L_{nAT} (entre 125Hz et 4000Hz)								**42,6dB(A)**
Classe 2	48,1	43,0	40,7	36,5	31,8	33,2	28,5	21,0	50,2dB(A)
	-	43,0	40,7	36,5	31,8	33,2	28,5	-	46,1dB(A)
	L_{nAT} (entre 125Hz et 4000Hz)								**45,7dB(A)**

Tableau 16 L_{Aeq} en dB par bande d'octave, valeurs globales et L_{nAT} – Mouais (bruit de fond).

4.2.1.1.5 Résumé des données obtenues – Le bruit de fond

Les mesures réalisées ont mis en évidence un niveau de bruit fond élevé dans la majorité des cas. Seul l'école de Fégréac et une des classe de Baulon obtiennent des niveaux sonores inférieurs à ceux imposés par l'OMS (Berglund et al., 1999) et par l'arrêté du 25 avril du 2003 (Legifrance, 2003).

Suite à l'analyse réalisée, nous observons une forte influence des systèmes de ventilation dans le niveau sonore des salles de classe. Dans les cas de Baulon, l'emplacement de la classe semble aussi favoriser un niveau de bruit plus ou moins élevé.

4.2.1.2 Isolation entre pièces

Comme exposé dans la partie 3.2.2.1, l'arrêté du 25 avril 2003 (Legifrance, 2003) dispose que :

L'isolement acoustique standardisé pondéré au bruit aérien $D_{nT,A}$ (dB) entre deux locaux (pour les établissements d'enseignement autres que les écoles maternelles) :

Entre locaux d'enseignement = **43 dB** (1)

(1) Un isolement de 40dB est admis en présence d'une ou plusieurs portes de communication.

Entre local d'enseignement et circulation = **30 dB**

L'isolement acoustique standardisé pondéré au bruit aérien $D_{nT,A}$ (dB) entre deux locaux (pour les écoles maternelles) :

Entre locaux d'enseignement = **43 dB**

Entre local d'enseignement et salle de repos = **50 dB** (2)

(2) Si la salle de repos n'est pas affectée à la salle d'exercice. En cas de salle de repos affectée à une salle d'exercice, un isolement de 25dB est admis.

Entre local d'enseignement et circulation = **30 dB** (3)

(3) Un isolement de 25 dB est admis en présence d'une porte anti-pince-doigts.

Donc sur cette consigne et selon la norme NF EN ISO 16283-1, nous avons procédé à la mesure de l'isolation entre locaux dans trois écoles : l'école Félix-Leclerc à Bouvron, l'école les Lucioles – à Baulon et l'école de la Madeleine à Fégréac (maternelle). Dans les deux autres écoles des mesures d'isolation n'ont pas été réalisées car elles n'avaient pas de murs en terre entre deux locaux. Les murs en terre à Mouais sont des murs de façade et à Treffieux ils sont situés entre les classes et la circulation. Dans l'annexe 3.2 les détails de chaque mesure sont recueillis.

4.2.1.2.1 École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44

L'ensemble des valeurs obtenues sont conformes à l'arrêté du 25 avril 2003 (Legifrance, 2003) où l'isolement acoustique standardisé pondéré, $D_{nT,A}$, exprimé en dB, doit être égal ou supérieur à 43dB (Figure 86).

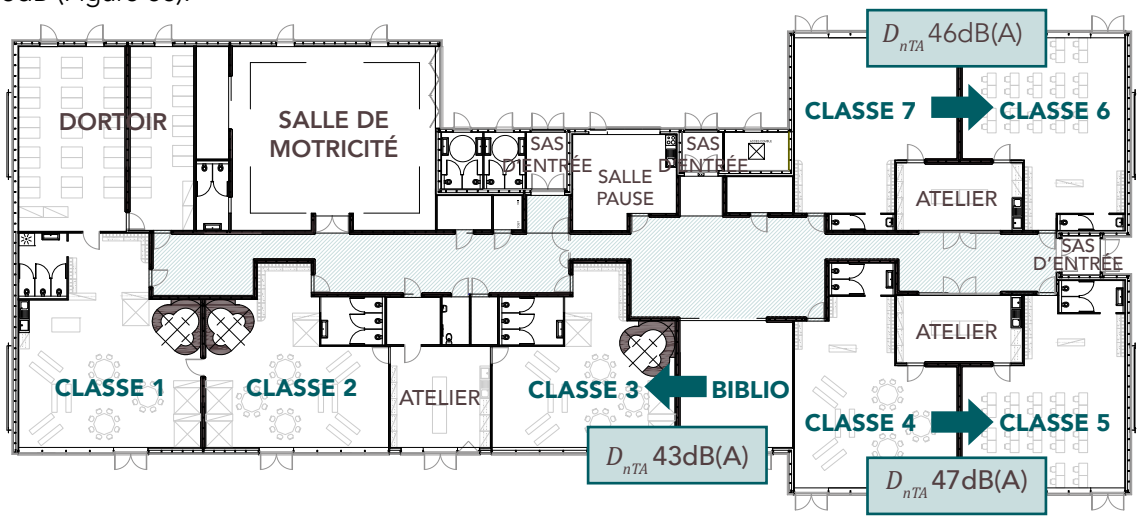


Figure 86 Isolation entre pièces à Bouvron.

Pendant la mesure, on observe que le passage principal du son a lieu sur la partie supérieure du mur (Plaque de plâtre) et au niveau du faux plafond (passage des gaines de ventilation et des tuyaux d'installation) (Figure 87).

Figure 87 Points du passage du son principalement remarqués.

4.2.1.2.2 École publique les Lucioles – Baulon 35

Les valeurs obtenues ne sont pas conformes à l'arrêté du 25 avril 2003 (Legifrance, 2003) (Figure 88).

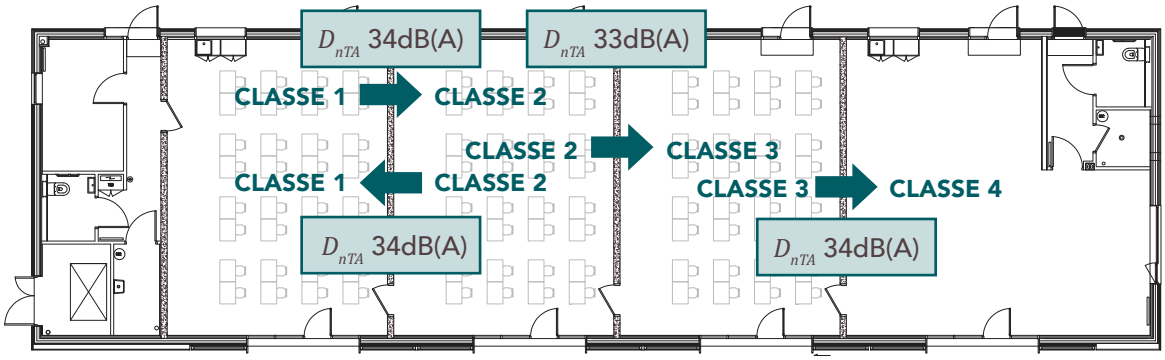


Figure 88 Isolation entre pièces à Baulon - Salles de classes non meublées.

Pendant la mesure, des ponts acoustiques sont observés dans les jonctions entre la terre crue et les montants en bois, au niveau de la jonction entre le plafond et le mur ainsi qu'autour des gaines de ventilation. Finalement, un manque d'isolation au niveau des gaines filantes entre classes a été constaté (Figure 89).

Figure 89 Points du passage du son principalement remarqués.

4.2.1.2.3 École Publique de la Madeleine – Fégréac 44

Dans l'école de Fégréac, le bâtiment ayant utilisé la terre crue est destiné aux niveaux de maternelle. De ce fait, les valeurs de référence correspondront à celles des écoles maternelles (Tableau 7). Entre la classe 1 et le Hall, l'isolation obtenue est conforme à la règlementation (30dB). Cependant, ce n'est pas le cas entre les salles de classes 2 et 3 et les dortoirs où les exigences sont plus importantes (50dB) (Figure 90).

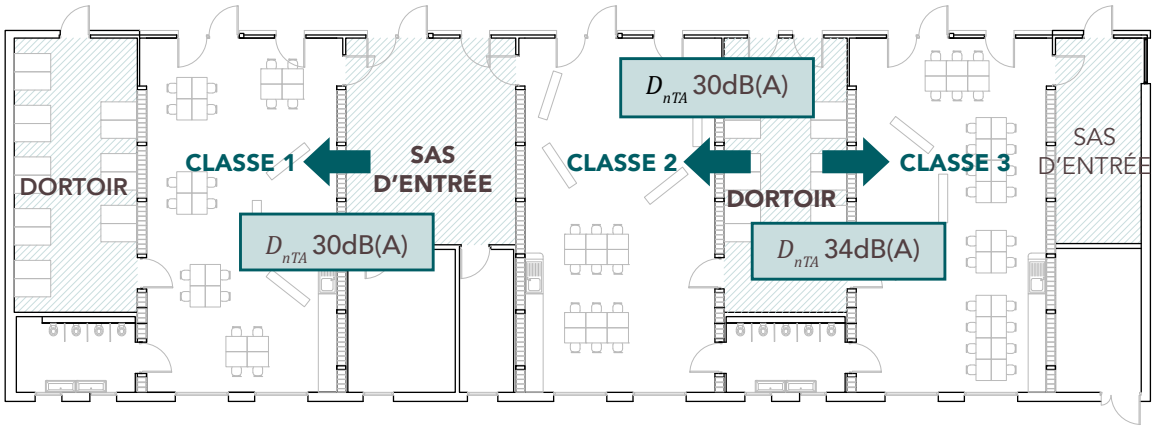


Figure 90 Isolation entre pièces à Fégréac.

Comme dans le cas de Baulon, la présence de montants en bois fragilise d'une certaine façon l'isolation entre pièces même si dans ces cas nous n'identifions pas de jour entre la terre et le bois. La présence des joints peut également entraîner une baisse d'isolation dans ces zones et surtout pour les joints verticaux. Un passage de bruit plus intense est identifié à la hauteur des poutres. Les murs entre les classe 2 et 3 et le dortoir comportent une surface vitrée avec une performance acoustique inférieure (Figure 91).

Figure 91 Points du passage du son principalement remarqués.

4.2.1.2.4 Résumé des données obtenues – L'isolation entre classe

Grâce à l'inspection visuelle et auditive sur place, nous constatons que les problèmes principaux d'isolation concernant la terre crue sont dus à la mauvaise gestion de l'étanchéité de la jonction de la terre crue avec d'autres matériaux tels que les montants en bois comme par exemple à Baulon et à Fégréac.

Les techniques de mise en œuvre monolithiques, sans jonctions entre la terre avec d'autres matériaux, comme par exemple la bauge, n'ont pas montré de contraintes particulières et les niveaux d'isolation mesurés sont conformes aux réglementations.

Par ailleurs, l'ensemble des valeurs d'isolation acoustique standardisée (D_{nTA}) des différentes classes ont une plus grande isolation en hautes fréquences (Figure 92). Cependant, la montée de l'isolation vers les hautes fréquences est moins nette dans les salles de classe avec de la BTC de Frégréac où les valeurs sont plus constantes par fréquence Figure 92).

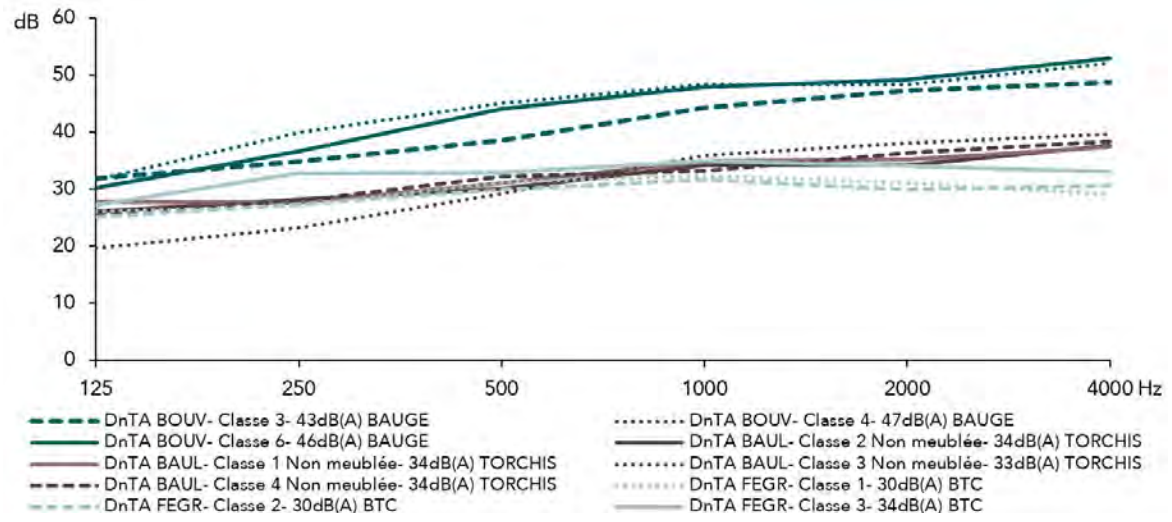


Figure 92 Valeurs d'isolement acoustique standardisé pondéré au bruit aérien (D_{nTA}) – Toutes les classes

4.2.1.3 Le temps de réverbération (Tr)

Le temps de réverbération a été relevé comme un facteur primordial dans les salles de classe ; par exemple, des études ont montré que l'augmentation du Tr réduit l'intelligibilité si nécessaire dans les établissements scolaires (Yang et Bradley, 2009; Peng et Jiang, 2016). Cependant, l'absence

totale de réverbération n'est pas non plus souhaitable dans une salle de classe, car elle entraîne un effort supplémentaire pour la transmission des messages oraux. À ce propos l'arrêté du 25 avril 2003 (Legifrance, 2003) (3.2.2.2.2) impose un Tr minimum et un Tr maximum en fonction du volume de la salle sur lequel nos données sont analysées :

Volumes ≤ 250m^3 Tr entre 0,4 et 0,8 secondes
Volumes > 250m^3 Tr entre 0,6 et 1,2 secondes

Comme énoncé dans la partie 3.2.2.2.2 les mesures du temps de réverbération sont réalisées par deux procédés : méthode de bruit interrompu selon le procédé énoncé dans NF EN ISO 3382-2 : 2008 et avec l'émission d'un signal de séquences de longueur maximum (MLS) (3.2.2.2.2). Comme vu précédemment (3.2.1.2.1), mesurer une chute de 60dB n'est pas toujours possible car il faudrait générer un niveau sonore très élevé et pas toujours possible techniquement (AUDIO-NTi, 2019). Dans la pratique pour la mesure du temps de réverbération, une décroissance de 20dB ($T20$) ou de 30dB ($T30$) est utilisée et ensuite extrapolée linéairement à un temps de décroissance de 60 dB (AUDIO-NTi, 2019). Entre les deux, il est préférable d'utiliser le $T30$ car l'incertitude de la mesure est plus faible sauf si le bruit de fond est trop élevé et l'équipement de mesure n'est pas assez puissant pour générer un niveau sonore de plus 45dB, plus élevé que le niveau de bruit de fond. Dans ce dernier cas, un $T20$ peut être utilisé (AUDIO-NTi, 2019). Dans nos cas d'études, les temps de réverbération sont obtenus avec la mesure du $T30$. Cependant, l'équipement de mesure a permis d'obtenir également le $T20$ et l'EDT. En annexe 3.3 un exemple de salle de classe avec le déroulé complet, l'ensemble des mesures par la méthode de bruit interrompu et avec l'émission d'un signal de séquences de longueur maximum (MLS) et les valeurs $T30$ et l'EDT à chaque point de mesure, est présenté.

La vitesse de propagation d'un son dans l'air est dépendant de l'humidité relative et de la température. Plus la température est élevée, plus la vitesse du son est élevée. Il est estimé que pour chaque degré d'augmentation de la température de l'air, la vitesse du son augmente de 0,6 m/s (Avilés López et Perera Martín, 2017). Comme pour la température, une augmentation de l'humidité entraîne également une augmentation dans la vitesse de propagation (Avilés López et Perera Martín, 2017). Donc, afin de connaitre les conditions du milieu de propagation pendant la prise des mesures, pour l'ensemble des salles de classe, les conditions ambiantes sont enregistrées.

L'impossibilité de lancer la prise de mesure depuis l'extérieur fait que dans la totalité des mesures j'étais présente dans la pièce.

4.2.1.3.1 École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44

Sauf dans la classe 1, le temps de réverbération a été mesuré dans l'ensemble des classes du bâtiment des maternelles. Comme indique la norme NF EN ISO 3382-2 : 2008 aucune position de microphone ne doit être très proche de la position de la source, afin d'éviter une influence trop importante du son direct. À ce propos, les distances minimales en fonction du volume de la classe et le Tr estimé (3.2.2.2.2.2) sont calculées (Tableau 17).

Si la surface des toilettes n'est pas comptabilisée, le Tr souhaitable pour l'ensemble des classes est compris entre $0,4 \leq Tr \leq 0,8$.

Pièce mesurée	Volume	L'arrêté du 25 avril 2003 (secondes)	La distance minimale
Classe 2	≈ 261 m³ (1) ≈ 235 m³	0,6 ≤ Tr ≤ 1,2 0,4 ≤ Tr ≤ 0,8	2,25m – 1,59m 2,61m – 1,85m
Classe 3	≈ 251 m³ (1) ≈ 225 m³	0,6 ≤ Tr ≤ 1,2 0,4 ≤ Tr ≤ 0,8	2,21m – 1,56m 2,56m – 1,81m
Classe 4	≈ 255 m³ (1) ≈ 238 m³	0,6 ≤ Tr ≤ 1,2 0,4 ≤ Tr ≤ 0,8	2,22m – 1,57m 2,63m – 1,86m
Classe 5	≈ 253 m³ (1) ≈ 235 m³	0,6 ≤ Tr ≤ 1,2 0,4 ≤ Tr ≤ 0,8	2,21m – 1,57m 2,61m – 1,85m
Classe 6	≈ 245 m³ (1) ≈ 236 m³	0,4 ≤ Tr ≤ 0,8	2,67m – 1,89m 2,62 m – 1,85m
Classe 7	≈ 240 m³ (1) ≈ 231 m³	0,4 ≤ Tr ≤ 0,8	2,64m – 1,87m 2,59m – 1,83m

(1) Volume avec les toilettes

Tableau 17 Distance minimale pour les mesures du temps de réverbération – Bouvron.

Les conditions du milieu des mesures de l'ensemble des salles de classe n'ont pas de grandes variations ; une fourchette de 3°C pour la température et 4%HR sauf pour la classe 4 où une plus grande humidité relative est enregistrée (Tableau 18).

Finalement, nous précisons le type de mesure réalisé selon les combinaisons de source et microphone (Tableau 18). Dans l'ensemble des classes, la source est placée dans 2 positions différentes et les microphones entre 6 et 8 positions. Deux décroissances sont réalisées dans les classes 3, 4 et 5 dans chaque position et trois dans les classe 2, 6 et 7 (Tableau 8).

Pièce mesurée	Volume	Temp. °C	Hum. Relat. %	Type de mesurage	Conditions de mesure
Classe 2	≈ 261 m³	22,92	45,50	Précision	Une personne avec mobilier
Classe 3	≈ 251 m³	20,13	44,55	Expertise	Une personne avec mobilier
Classe 4	≈ 255 m³	20,36	55,75	Expertise	Une personne avec mobilier
Classe 5	≈ 253 m³	19,92	47,65	Expertise	Une personne avec mobilier
Classe 6	≈ 245 m³	21,23	48,40	Précision	Une personne avec mobilier
Classe 7	≈ 240 m³	22,82	48,56	Précision	Une personne **sans** mobilier

Tableau 18 Information sur les conditions de la mesure du temps de réverbération – Bouvron

L'ensemble de Tr mesurés dans les salles de classes sont compris entre $0,4 \leq Tr \leq 0,8$ (Tableau 19). Les valeurs des classes meublées sont assez constantes dans l'ensemble des bandes d'octave une petite diminution de la bande de 1000Hz est mesurée (Figure 93). L'écart le plus important, de 0,14±0,03 secondes, est observé entre deux classes de géométrie très similaire, la Classe 3 et la Classe 2 (Figure 93). Cette différence est très possiblement due au plus grand encombrement de la classe 3. Tandis que la Classe 3 est utilisée comme classe de maternelle, au moment de la mesure, la Classe 2 n'était pas utilisée comme classe opérationnelle et elle disposait de peu de mobilier (Figure 94).

L'influence du mobilier est également mise en évidence avec la mesure du Tr de la classe 7 où avec une géométrie, par exemple très similaire à la Classe 6, la courbe du temps de réverbération est nettement plus élevée et surtout dans la plage de 500Hz-1000Hz (Figure 94). En moyenne, une différence de 0,39 secondes est mesurée, Classe 7 0,86±0,06 et Classe 6 0,47±0,03 secondes.

Pièce mesurée	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Tr [500Hz,1000Hz,2000Hz] [1]
Classe 2	0,56	0,56	0,58	0,54	0,51	0,40	0,54±0,03 secondes
Écart type	*0,05*	*0,04*	*0,03*	*0,03*	*0,02*	*0,04*	
Classe 3	0,43	0,40	0,41	0,39	0,37	0,33	0,39±0,02 secondes
Écart type	*0,05*	*0,04*	*0,03*	*0,02*	*0,02*	*0,03*	
Classe 4	0,50	0,45	0,46	0,40	0,37	0,31	0,41±0,02 secondes
Écart type	*0,07*	*0,04*	*0,02*	*0,01*	*0,02*	*0,03*	
Classe 5	0,52	0,50	0,49	0,45	0,41	0,34	0,45±0,02 secondes
Écart type	*0,05*	*0,03*	*0,03*	*0,02*	*0,02*	*0,03*	
Classe 6	0,53	0,51	0,50	0,47	0,45	0,35	0,47±0,02 secondes
Écart type	*0,06*	*0,03*	*0,02*	*0,02*	*0,03*	*0,03*	
Classe 7	0,71	0,88	1,11	1,12	0,80	0,57	Non meublée[2]
Écart type	*0,07*	*0,09*	*0,04*	*0,05*	*0,04*	*0,04*	

[1] *Moyenne arithmétique des durées de réverbération dans les intervalles d'octave centrés sur 500, 1000 et 2000Hz.*

[2] *Les valeurs données par l'arrêté du 25 avril 2003 s'entendent pour des locaux normalement meublés.*

Tableau 19 Moyennes des temps de réverbération (calculées à partir du T30) des différentes classes mesurées – Bouvron. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce.

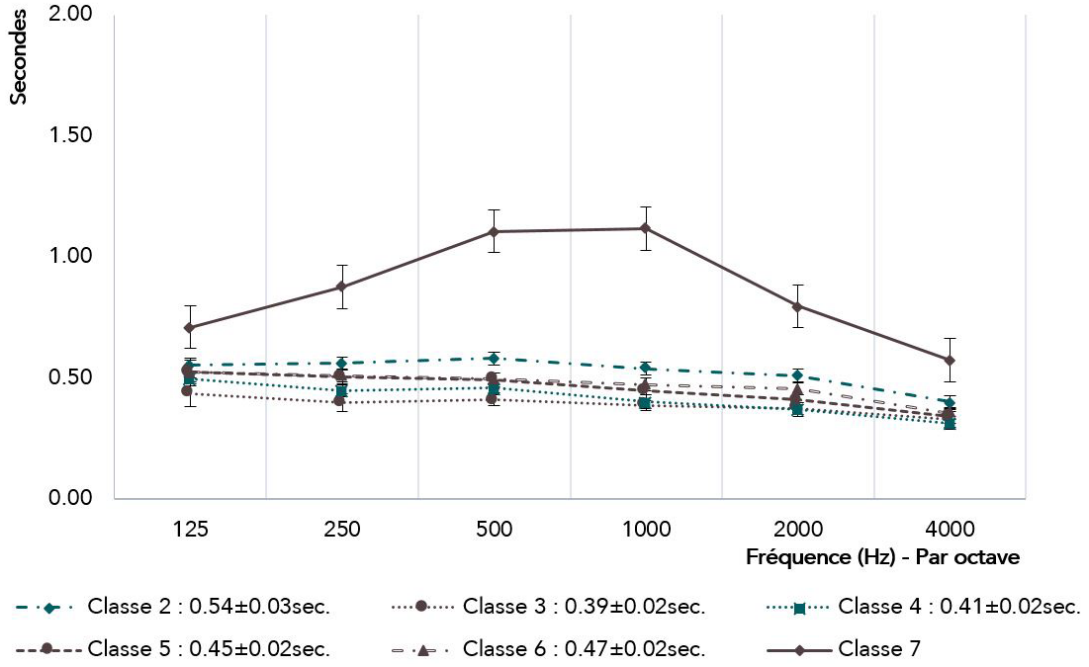


Figure 93 Moyennes des temps de réverbération (calculées à partir du T30) des différentes classes mesurées – Bouvron. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure.

Figure 94 Classe 3 (à gauche) et classe 2 (à droite) pendant la mesure

4.2.1.3.2 École publique les Lucioles – Baulon 35

Dans le nouveau bâtiment de l'école de Baulon, le temps de réverbération est mesuré dans l'ensemble des classes sans mobilier. La classe 1 et la classe 2 sont mesurées une deuxième fois, mais cette fois avec le mobilier. Le *Tr* de la bibliothèque situé dans un bâtiment annexe est aussi mesuré. Le volume des salles de classe est supérieur à 250m^3 donc avec un *Tr* estimé entre 0,6 et 1,2 les distances minimales sont calculées (Tableau 20). Dans le cas de la bibliothèque le Tr estimé est compris entre 0,4 et 0,8s.

Pièce mesurée	Volume	L'arrêté du 25 avril 2003 (secondes)	La distance minimale
Classe 1 / Classe 2 / Classe 3	≈ 258 m^3	0,6 ≤ Tr ≤ 1,2	2,24m – 1,58m
Classe 4	≈ 251 m^3	0,6 ≤ Tr ≤ 1,2	2,20m – 1,56m
Bibliothèque	≈ 102 m^3	0,4 ≤ Tr ≤ 0,8	1,72m – 1,22m

Tableau 20 Distance minimale pour les mesures du temps de réverbération (T30) – Baulon.

Comme à Bouvron, la température et l'humidité relative ont été mesurées pendant la réalisation de mesures du *Tr* (Tableau 21). Il a été possible de prendre des mesures sans mobilier ou sans enduit dans la bibliothèque car l'école était en chantier quand nous avons réalisé ces mesures. Ceci explique la forte humidité relative de la bibliothèque sans enduit, car le séchage du mélange terre-chanvre (terre allégée) était en cours. Quand la campagne de mesures fut finalisée, les classes 3 et 4 n'étaient pas meublées car elles n'étaient pas utilisées comme salles de classe.

Sauf pour la classe 1 et la bibliothèque meublée, dans tous les cas seulement deux décroissances sont réalisées dans chaque position. Pour l'ensemble, la source est positionnée dans deux positions différentes et les microphones entre 6 et 8 positions (Tableau 21).

Pièce mesurée	Volume	Temp. °C	Hum. Relat. %	Type de mesurage	Conditions de mesure
Classe 1 meublée (M)	≈ 258 m³	18,01	40,00	Précision	Une personne avec mobilier
Classe 1 pas meublée (PM)	≈ 258 m³	19,34	40,90	Expertise	Une personne **sans** mobilier
Classe 2 meublée (M)	≈ 258 m³	20,50	60,00	Expertise	Une personne avec mobilier
Classe 2 pas meublée (PM)	≈ 258 m³	19,13	39,00	Expertise	Une personne **sans** mobilier
Classe 3 pas meublée (PM)	≈ 258 m³	19,10	39,50	Expertise	Une personne **sans** mobilier
Classe 4 pas meublée (PM)	≈ 251 m³	20,50	49,00	Expertise	Une personne **sans** mobilier
Bibliothèque sans enduit (SE)	≈ 102 m³	20,43	86,00	Expertise	Deux personnes **sans** mobilier
Bibliothèque avec enduit (AE)	≈102 m³	17,70	44,00	Expertise	Une personne **sans** mobilier
Bibliothèque avec enduit et meublée (M)	≈102 m³	16,58	42,65	Précision	Une personne avec mobilier

Note : (M) = avec du mobilier / (PM) = sans mobilier.

Tableau 21 Information sur les conditions de la mesure du temps de réverbération - Baulon

Le comportement est semblable à celui constaté dans l'école de Bouvron, avec une augmentation importante du *Tr* pour les salles non meublées, centré principalement sur les fréquences moyennes (Tableau 22 et Figure 96). Une fois de plus avec les salles meublées (Classe 1 et Classe 2 – en vert sur le graphique), les *Tr* sont assez linéaires entre 0,40±0,05 et 0,55±0,05 secondes dans l'ensemble des bandes d'octave. Cependant, la valeur moyenne est en dessous de 0,6 secondes pour les deux salles de classe, le minimum précisé pour des volumes supérieurs à 250m^3.

Dans ce cas d'étude, un autre phénomène intéressant est observé dans la bibliothèque. Malgré le haut niveau d'humidité relative enregistré pendant la mesure sans enduit, les valeurs de la bibliothèque sans enduit sont plus basses que dans la même pièce avec de l'enduit. Il est probable que cette différence soit due à l'absorption élevée de la terre allégée à l'état brut (Figure 95).

Figure 95 État de parois de la bibliothèque sans et avec enduit.

Pièce mesurée	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Tr [500Hz,1000Hz,2000Hz] [1]
Classe 1 meublée (M)	0,40	0,43	0,46	0,53	0,46	0,40	0,49±0,03 secondes
Écart type	*0,05*	*0,05*	*0,02*	*0,03*	*0,04*	*0,02*	
Classe 1 pas meublée (PM)	0,54	0,83	0,97	0,83	0,62	0,49	Non meublée[2]
Écart type	*0,06*	*0,05*	*0,05*	*0,06*	*0,04*	*0,04*	
Classe 2 meublée (M)	0,42	0,55	0,48	0,48	0,48	0,41	0,48±0,04 secondes
Écart type	*0,04*	*0,05*	*0,03*	*0,03*	*0,06*	*0,03*	
Classe 2 pas meublée (PM)	0,56	0,81	0,95	0,83	0,65	0,46	Non meublée[2]
Écart type	*0,05*	*0,03*	*0,05*	*0,07*	*0,06*	*0,04*	
Classe 3 pas meublée (PM)	0,61	0,95	0,94	0,82	0,66	0,52	Non meublée[2]
Écart type	*0,06*	*0,04*	*0,02*	*0,02*	*0,04*	*0,05*	
Classe 4 pas meublée (PM)	0,62	0,94	1,01	0,98	0,78	0,58	Non meublée[2]
Écart type	*0,10*	*0,06*	*0,06*	*0,05*	*0,04*	*0,05*	
Bibliothèque sans enduit (SE)	0,45	0,34	0,28	0,24	0,24	0,24	Non meublée[2]
Écart type	*0,07*	*0,05*	*0,02*	*0,03*	*0,02*	*0,02*	
Bibliothèque avec enduit (AE)	0,48	0,42	0,40	0,47	0,55	0,47	Non meublée[2]
Écart type	*0,04*	*0,02*	*0,03*	*0,02*	*0,03*	*0,04*	
Bibliothèque avec enduit et meublée (M)	0,35	0,29	0,27	0,30	0,32	0,28	0,30±0,02 secondes
Écart type	*0,02*	*0,03*	*0,01*	*0,02*	*0,02*	*0,02*	

[1] Moyenne arithmétique des durées de réverbération dans les intervalles d'octave centrés sur 500, 1000 et 2000Hz.

[2] Les valeurs données par l'arrêté du 25 avril 2003 s'entendent pour des locaux normalement meublés.

Note : (M) = avec du mobilier / (PM) = sans mobilier.

Tableau 22 Moyennes des temps de réverbération (calculées à partir du T30) des différentes classes mesurées – Baulon. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce.

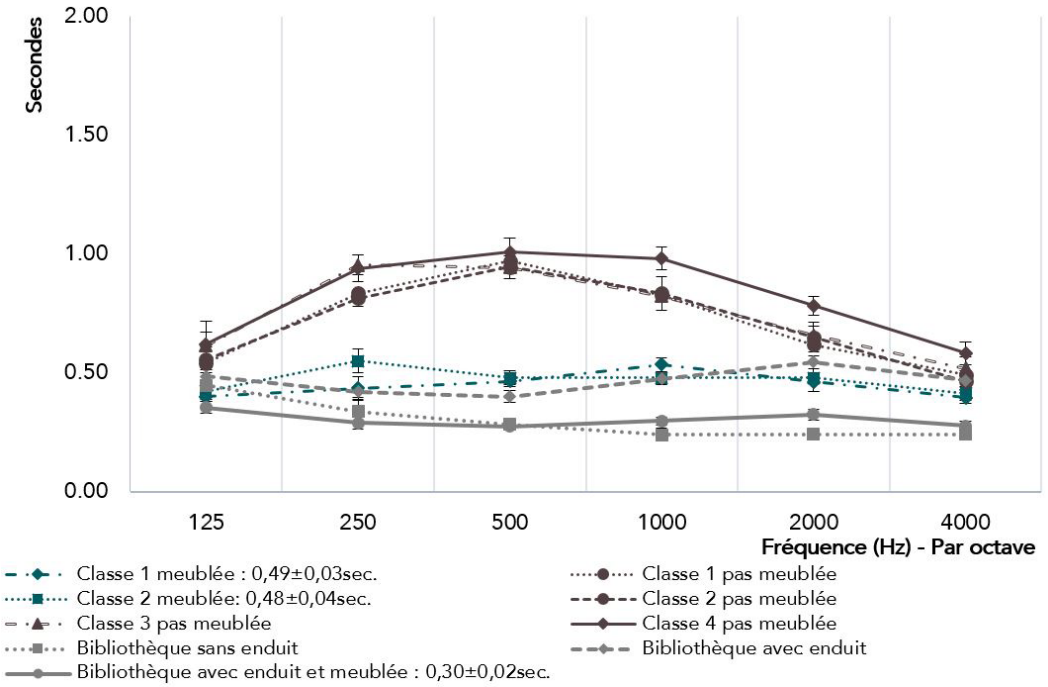


Figure 96 Moyennes des temps de réverbération (calculées à partir du T30) des différentes classes mesurées – Baulon. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure.

4.2.1.3.3 École Publique de la Madeleine – Fégréac 44

L'ensemble des salles de classe du bâtiment de l'école maternelle de Fégréac sont mesurées. Les distances minimales entre la source et les microphones de mesure sont calculées par rapport au volume et le Tr de référence (Tableau 23).

Pièce mesurée	Volume	L'arrêté du 25 avril 2003 (secondes)	La distance minimale
Classe 1 / Classe 2 / Classe 3	≈ 200 m³	0,4 ≤ Tr ≤ 0,8	2,41m – 1,70m

Tableau 23 Distance minimale pour les mesures du temps de réverbération (T30) – Fégréac

Les trois salles de classe étudiées ont des géométries similaires et elles sont normalement meublées. Les valeurs obtenues sont assez similaires pour les trois classes (Tableau 25 et Figure 97). Toutefois, les valeurs de la classe 3 sont légèrement inférieures, ce qui peut s'expliquer par l'humidité relative 10% plus faible (Tableau 24).

Dans le cas de Fégréac, trois décroissances sont réalisées pour chaque point de mesure.

Pièce mesurée	Volume	Temp. °C	Hum. Relat. %	Type de mesurage	Conditions de mesure
Classe 1 meublée	≈ 200 m³	16,89	42,60	Précision	Une personne avec mobilier
Classe 2 meublée	≈ 200 m³	17,10	45,10	Précision	Une personne sans mobilier
Classe 3 meublée	≈ 200 m³	18,63	35,66	Précision	Une personne avec mobilier

Tableau 24 Information sur les conditions de la mesure du temps de réverbération – Fégréac

Les valeurs du Tr obtenues sont à nouveau assez constantes avec une faible diminution en basse et haute fréquences (Figure 98). Les trois classes sont normalement meublées donc les profils des temps de réverbération ne montrent pas d'augmentations importantes dans les bandes de

fréquence moyennes comme par exemple la classe 7 de Bouvron (Figure 94). Cependant, les valeurs obtenues pour la classe 2 sont légèrement plus élevées que celles de la classe 1 où les conditions du milieu sont assez similaires. Il est possible que la différence soit due au faible encombrement de la classe 2 qui entraîne un *Tr* un peu plus élevé (Figure 98).

Pièce mesurée	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Tr [500Hz,1000Hz,2000Hz] [1]
Classe 1 meublée	0,40	0,44	0,42	0,45	0,44	0,38	0,43±0,02 secondes
Écart type	*0,07*	*0,03*	*0,02*	*0,01*	*0,02*	*0,02*	
Classe 2 meublée	0,41	0,46	0,48	0,48	0,44	0,38	0,47±0,03 secondes
Écart type	*0,03*	*0,04*	*0,02*	*0,03*	*0,02*	*0,02*	
Classe 3 meublée	0,36	0,38	0,39	0,41	0,41	0,34	0,40±0,02 secondes
Écart type	*0,03*	*0,03*	*0,02*	*0,02*	*0,02*	*0,02*	

[1]*Moyenne arithmétique des durées de réverbération dans les intervalles d'octave centrés sur 500, 1000 et 2000Hz.*

Tableau 25 Moyennes des temps de réverbération (calculées à partir du T30) des différentes classes mesurées – Fégréac. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce.

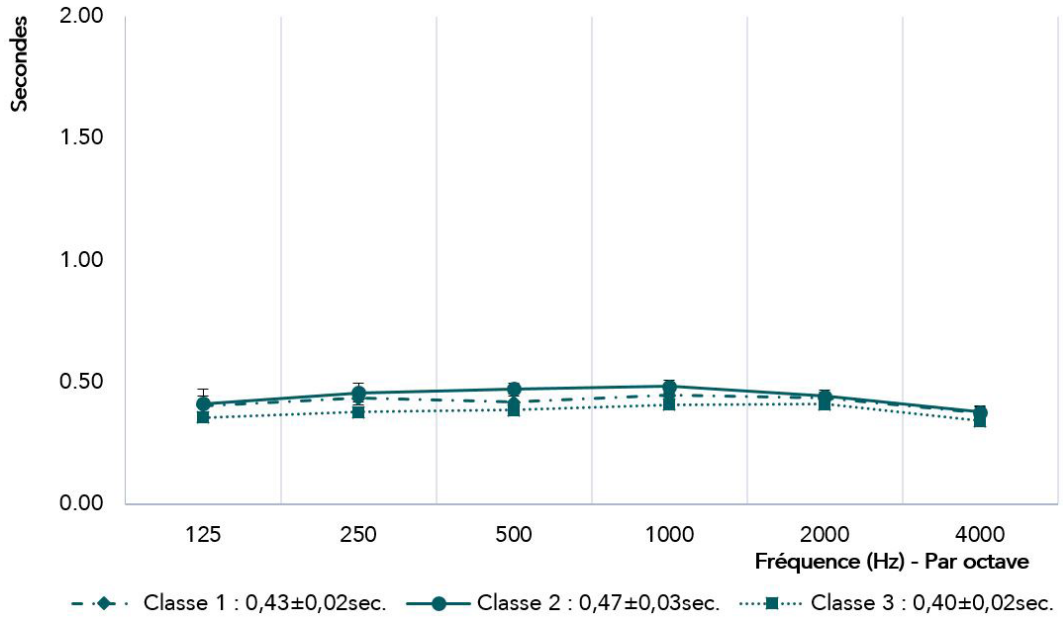


Figure 97 Moyennes des temps de réverbération (calculées à partir du T30) des différentes classes mesurées – Fégréac. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure.

Figure 98 Mobilier présent dans la classe 1 (à gauche) et la classe 2 (à droite).

4.2.1.3.4 École Publique de Mouais –Mouais 44

La nouvelle école de Mouais est composée de deux salles de classe. Elles ont été mesurées avec et sans mobilier. Pour la classe 1, de plus grande dimension, l'arrêté du 25 avril 2003 impose un *Tr* entre 0,6 et 1,2 secondes, mais pour la classe 2, de plus petites dimensions, il impose un *Tr* entre 0,4 et 0,8 secondes. Les volumes, les *Tr* de référence et les distances minimales calculées entre les sources et les positions de micros sont présentés dans le Tableau 26.

Pièce mesurée	Volume	L'arrêté du 25 avril 2003 (secondes)	La distance minimale
Classe 1	≈ 280 m³	0,6 ≤ Tr ≤ 1,2	2,33m – 1,65m
Classe 2	≈ 212 m³	0,4 ≤ Tr ≤ 0,8	2,48m – 1,76m

Tableau 26 Distance minimale pour les mesures du temps de réverbération (T30) – Mouais

Les températures et l'humidité sont mesurées pendant les prises de mesures. Comme dans le cas de Baulon, nous observons une humidité assez élevée lorsqu'il n'y avait pas de mobilier (Tableau 27). La raison est très possiblement la même que dans la bibliothèque de Baulon, c'est-à-dire un séchage en cours de l'enduit en terre crue des deux classes.

Pièce mesurée	Volume	Temp. °C	Hum. Relat. %	Type de mesurage	Conditions de mesure
Classe 1 meublée	282 m³	24.04	28.66	Précision	Une personne avec mobilier
Classe 1 pas meublée	282 m³	18.70	80.03	Précision	Une personne sans mobilier
Classe 2 meublée	212 m³	22.93	28.91	Précision	Une personne avec mobilier
Classe 2 pas meublée	212 m³	17.27	81.51	Précision	Une personne sans mobilier

Tableau 27 Information sur les conditions de la mesure du temps de réverbération – Mouais.

Le comportement du *Tr* des deux salles de classe meublées est similaire aux autres cas d'étude où les classes meublées montrent un comportement assez linéaire entre 0,40 et 0,50 secondes pour l'ensemble des bandes d'octave centrales (Tableau 28 et Figure 99). Dans ces cas d'études, les deux salles de classe montrent une légère augmentation dans les bandes de 1000 et 2000Hz et la classe 2 meublée, un *Tr* moyen de 0,58±0.21 est obtenu pour la bande de 125Hz. Ce dernier résultat avec un écart type si important, dans la bande de 125Hz, pourrait s'expliquer par la marge d'erreur de la mesure où surtout en basse fréquence la précision est plus compliquée.

Les *Tr* des classes non meublées sont légèrement différents entre eux (Tableau 28 , Figure 99). Le *Tr* de la classe 2 montre un comportement similaire à celui déjà observé dans des cas d'étude précédents comme par exemple la classe 7 de Bouvron (Figure 93) avec une réverbération plus importante dans les bandes d'octave centrales (500Hz et 1000Hz). Bien que, dans cette classe la montée sur la bande de 500Hz est encore plus prononcée. Le comportement de la classe 1 non meublée montre plutôt une augmentation centrée dans les bandes de 1000Hz et 2000Hz (Tableau 28 et Figure 99). L'importance des surfaces vitrées et des plaques de plâtre de la classe 1 peut expliquer l'absorption par l'effet de diaphragme (3.2.1.2.2.1) plus important en basse fréquence et les résultats obtenus dans cette salle de classe (Figure 100).

Les valeurs moyennes de *Tr* pour les bandes de 500Hz- 1000Hz et 2000Hz montrent un temps de 0,45±0,03 secondes pour la classe 1 donc inférieures aux 0,6 secondes exposées par l'arrêté du 25 avril 2003 (Legifrance, 2003). Dans la classe 2 comme elle a un volume inférieur à 250m³ le *Tr* doit

être entre 0,4 à 0,8 secondes comme c'est le cas (Tableau 28).

Pièce mesurée	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Tr [500Hz,1000Hz,2000Hz] [1]
Classe 1 meublée	0,40	0,44	0,40	0,45	0,50	0,42	0,45±0,03 secondes
Écart type	*0,05*	*0,04*	*0,02*	*0,03*	*0,03*	*0,05*	
Classe 1 pas meublée	0,58	0,69	0,71	0,81	0,79	0,63	Non meublée[2]
Écart type	*0,09*	*0,04*	*0,04*	*0,05*	*0,05*	*0,07*	
Classe 2 meublée	0,58	0,40	0,43	0,49	0,49	0,37	0,47±0,04 secondes
Écart type	*0,21*	*0,03*	*0,02*	*0,04*	*0,04*	*0,04*	
Classe 2 pas meublée	*0,75*	*0,88*	*1,13*	*1,01*	*0,96*	*0,70*	Non meublée[2]
Écart type	*0,21*	*0,07*	*0,06*	*0,04*	*0,05*	*0,07*	

[1]*Moyenne arithmétique des durées de réverbération dans les intervalles d'octave centrés sur 500, 1000 et 2000Hz.*

[2]*Les valeurs données par l'arrêté du 25 avril 2003 s'entendent pour des locaux normalement meublés.*

Tableau 28 Moyennes des temps de réverbération (calculées à partir du T30) des différentes classes mesurées – Mouais. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce.

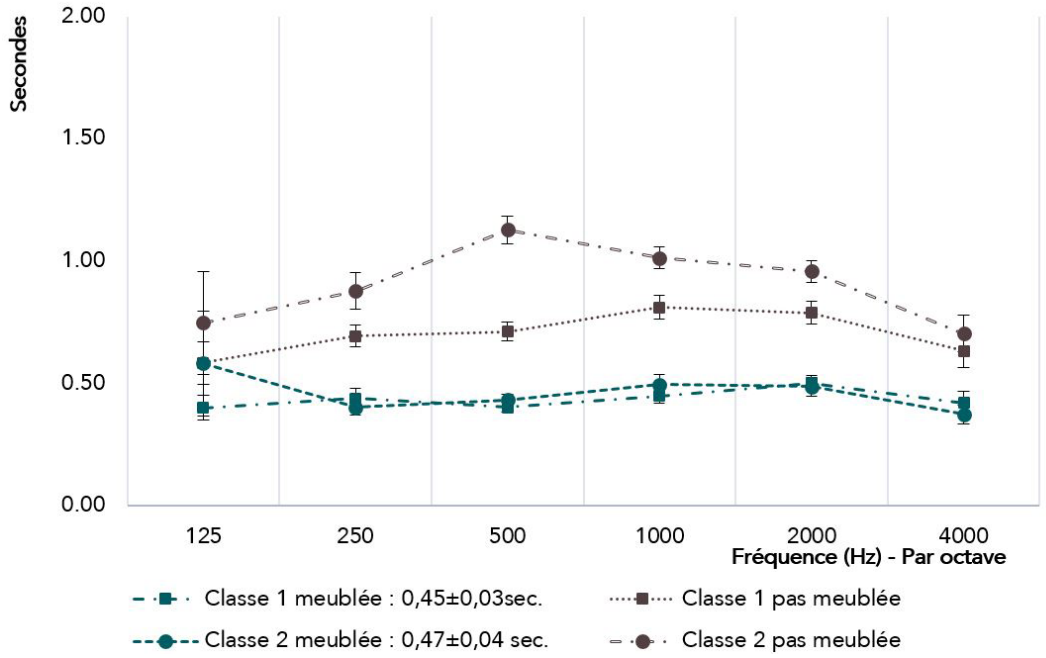


Figure 99 Moyennes des temps de réverbération (calculées à partir du T30) des différentes classes mesurées – Mouais. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure.

Figure 100 Classe 1 meublée (à gauche) et classe 2 meublée (à droite).

4.2.1.3.5 École publique La Hulotte – Treffieux

Dans ce dernier cas d'étude, seul le *Tr* d'une salle de maternelle a été mesuré car il s'agissait de la classe avec le plus de parois en terre crue. Comme dans les cas précédents par rapport au volume et le Tr de référence, la distance minimale entre la source et les microphones est mesurée (Tableau 29).

Pièce mesurée	Volume	L'arrêté du 25 avril 2003 (secondes)	La distance minimale
Classe 1	≈ 207 m³	0,4 ≤ Tr ≤ 0,8	2,45m – 1,73m

Tableau 29 Distance minimale pour la mesure du temps de réverbération (T30) – Teffieux.

Les conditions de la mesure sont résumées dans le Tableau 30.

Pièce mesurée	Volume	Temp. °C	Hum. Relat. %	Type de mesurage	Conditions de mesure
Classe 1 meublée	207m³	26.00	48.00	Expertise	Une personne avec mobilier

Tableau 30 Information sur les conditions de la mesure du temps de réverbération – Tréffieux.

La valeur de *Tr* moyenne est de 0,72±0,03 secondes donc compris entre la plage de 0,4 et 0,8 seconde accordée pour une salle inférieure à 250m³ (Tableau 30). Bien qu'elle soit meublée, le *Tr* mesuré est plus élevé pour la bande de fréquences centrales (Figure 101). Ces résultats sont moins linéaires que dans des cas d'étude précédents (Figure 96) et ils rappellent les profils des salles des classe non meublées de Bouvron et Baulon, mais avec une montée dans les bandes de fréquences centrales moins importante. Cette montée dans les bandes centrales peut peut-être trouver son explication dans un moindre encombrement de la salle.

Pièce mesurée	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Tr [500Hz,1000Hz,2000Hz] [1]
Classe 1 meublée	0,40	0,44	0,40	0,45	0,50	0,42	**0,45±0,03 secondes**
Écart type	*0,05*	*0,04*	*0,02*	*0,03*	*0,03*	*0,05*	

[1]*Moyenne arithmétique des durées de réverbération dans les intervalles d'octave centrés sur 500, 1000 et 2000Hz.*

Tableau 31 Moyenne du temps de réverbération (calculée à partir du T30) de la classe mesurée – Tréffieux. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce.

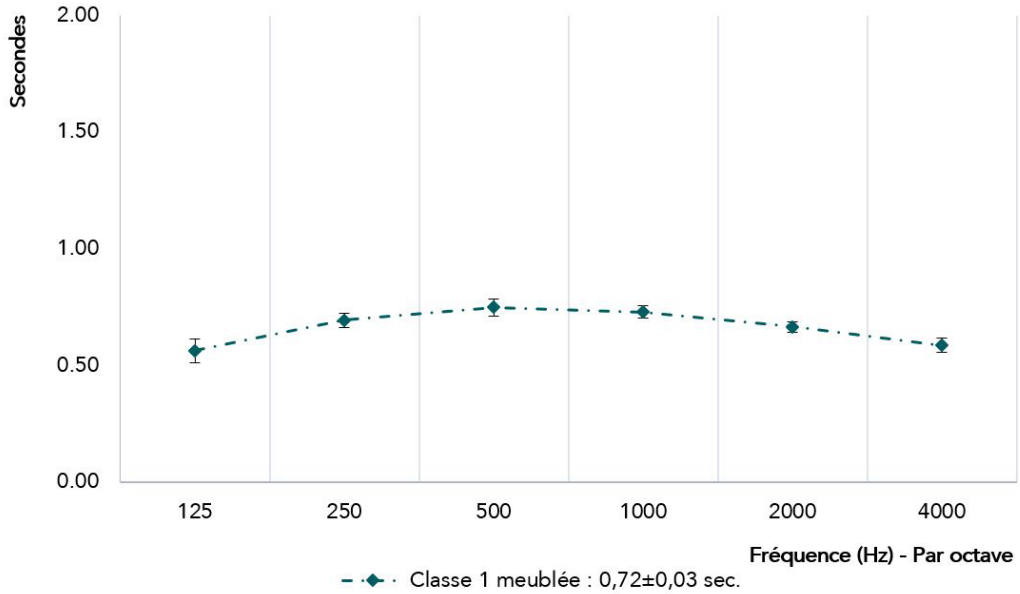


Figure 101 Moyenne du temps de réverbération (calculée à partir du T30) de la classe mesurée – Tréffieux. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure.

4.2.1.3.6 Résumé des données obtenues – Temps de réverbération (Tr)

L'analyse de l'ensemble des mesures du temps de réverbération montre une diminution considérable de celui-ci en présence du mobilier. La réverbération plus élevée dans les fréquences centrales dans des salles sans mobilier a déjà été mesuré dans certaines des salles de classe parallélépipèdes et volumes compris entre 100 et 300m^3 des études précédentes (Jácome González, 2017).

En revanche, le temps de réverbération plus élevé dans les bandes de fréquences centrales et moins prononcé en basses et hautes fréquences, nous invite à prendre en compte deux considérations :

- L'absorption en basse fréquence par l'effet diaphragme (3.2.1.2.2.1) par la présence d'éléments minces comme les plaques de plâtre, le verre ou, même si cela reste à prouver, les enduits en terre crue.

- L'absorption en hautes fréquences par le phénomène de porosité apporté par les plafonds acoustiques. L'état de surface des murs en terre de la classe de Baulon laissent également imaginer un apport d'absorption par porosité. L'absorption des mélangés légers comme la terre-allégée, est constatée dans la bibliothèque de Baulon sans enduit. Dans ce dernier cas, nous observons aussi une légère diminution vers les bandes de fréquences de 1000-2000 et 4000 Hz.

En présence de mobilier, le temps de réverbération diminue considérablement y compris dans les bandes de fréquences centrales. Nous retrouvons dans la majorité des cas, des valeurs similaires ou sans grands écarts dans l'ensemble des bandes d'octave. La diminution flagrante, surtout dans les bandes centrales, pourrait être due à la dispersion produite par le mobilier.

Finalement, exceptée une certaine absorption apportée par porosité, l'apport de la terre crue dans le comportement du son dans la pièce reste compliqué à estimer avec le temps de réverbération.

4.2.1.4 Speech transmission Index (STI) - Intelligibilité

Nous rappelons que plus les valeurs de STI sont élevées, plus l'intelligibilité augmente (Peng et Jiang, 2016). Les valeurs du STI vont de 0 à 1 correspondant à la plus faible intelligibilité et 1 la plus forte intelligibilité (Figure 44 et partie 3.2.1.3).

Plusieurs facteurs peuvent influencer les valeurs de STI entre les plus déterminants : il y a le bruit de fond (prise en compte dans la mesure) mais aussi le temps de réverbération et la distance à la source.

Les valeurs et les points précis des mesures sont rassemblés dans l'annexe 3.5.

4.2.1.4.1 École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44

Sauf 3 valeurs de la classe 7, l'ensemble des valeurs mesurées sont considérées selon l'échelle d'appréciation de STI comme « bonnes » ou « excellentes » (Figure 102). Donc toutes les salles de classes meublées et utilisées telles quelles ont de bonnes conditions d'intelligibilité. Les valeurs inferieures de STI mesurées dans la classe 7 peuvent être expliquées par le plus haut niveau de bruit de fond et par le temps de réverbération plus élevé, conséquence de l'absence de mobilier.

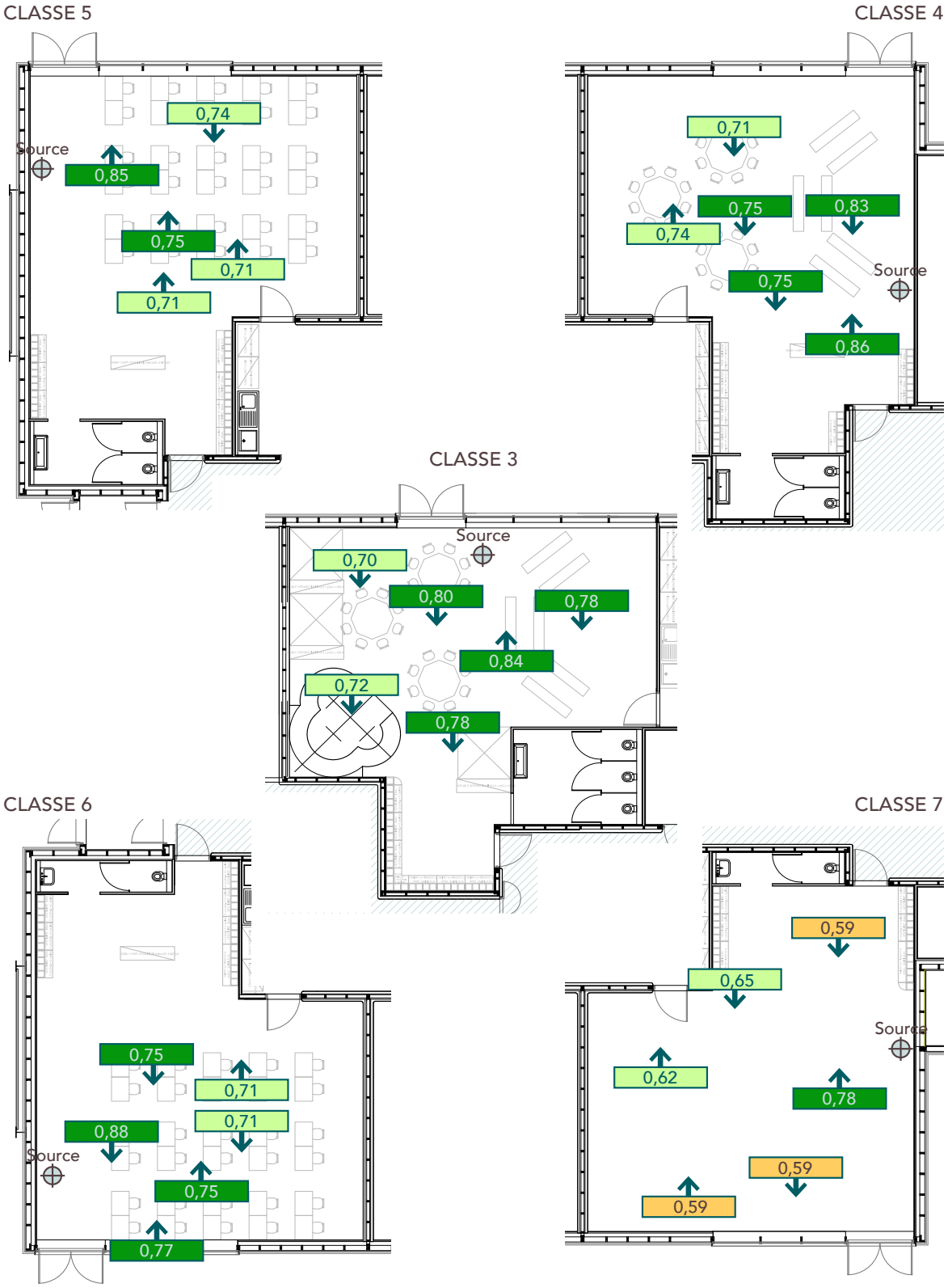


Figure 102 Valeurs d'intelligibilité à la parole - Speech transmission Index (STI) – Salles de classe de Bouvron.

4.2.1.4.2 École publique les Lucioles – Baulon 35

Dans l'école de Baulon, nous observons une différence entre les valeurs de la classe 1 et celles de la classe 2. Tandis que l'ensemble des mesures de la classe 1 sont considérées comme bonnes (entre 0,60 - 0,75), dans la classe 2 celles-ci sont plutôt excellentes (entre 0,75 - 1,00) (Figure 103). Si nous analysons les valeurs de bruit de fond (4.2.1.1.2), une différence de plus de 10dB(A) entre les deux classes est mesurée. La valeur plus élevée de bruit de fond de la classe 1 peut expliquer cette différence car plus le niveau de bruit de fond est élevé moins l'intelligibilité est nette (3.2.1.3).

Figure 103 Valeurs d'intelligibilité à la parole - Speech transmission Index (STI) – Salles de classe de Baulon.

4.2.1.4.3 École Publique de la Madeleine – Fégréac 44

Comme pour le bruit de fond ou le temps de réverbération, les trois classes de Fégréac ont des valeurs similaires entre « bonnes » (0,60 - 0,75) et « excellentes» (0,75 - 1,0) (Figure 104). Les valeurs plus basses (0,69) sont situées loin de la source ou, dans le cas de la classe 1, derrière une étagère qui empêche en partie une meilleure intelligibilité.

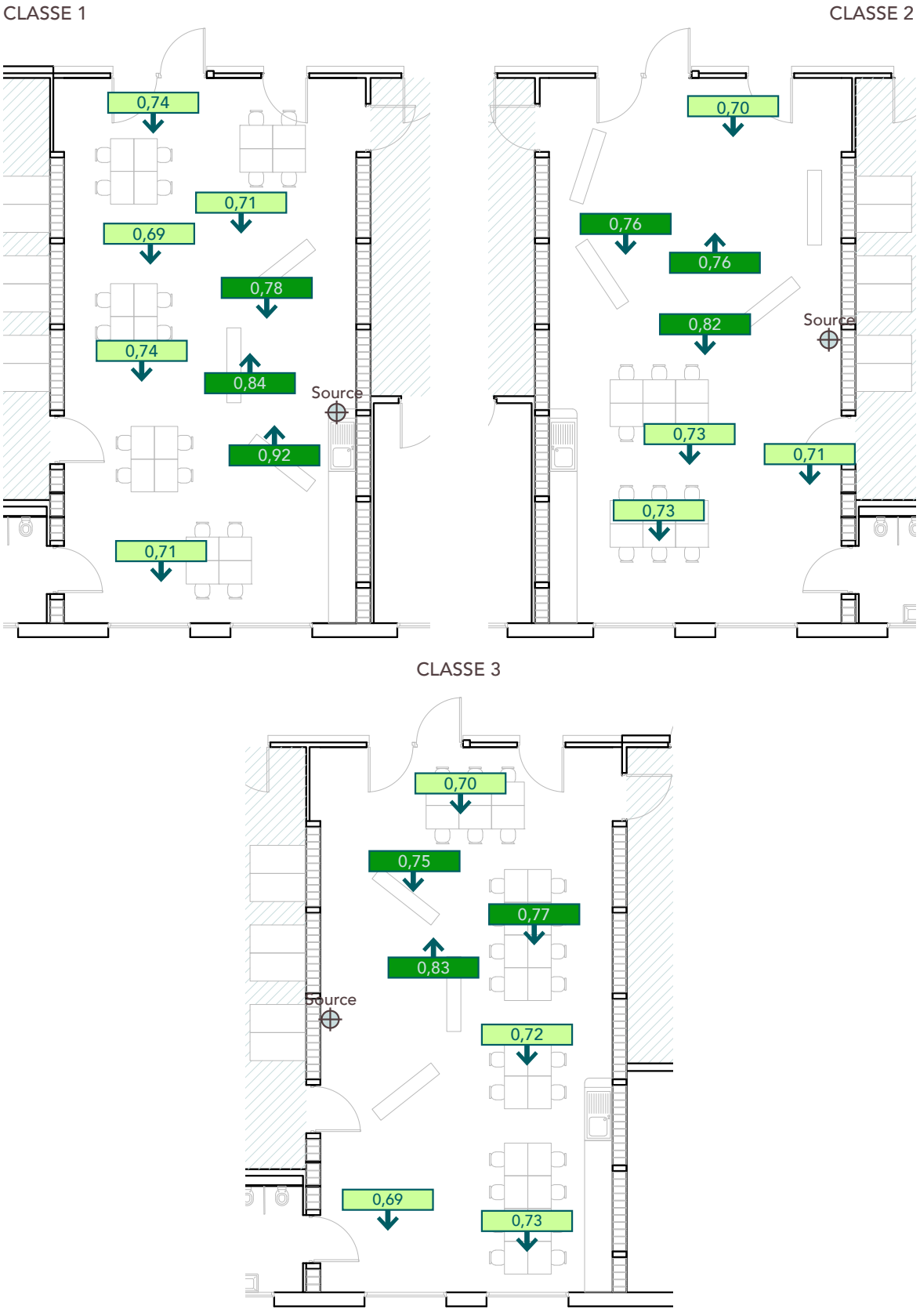


Figure 104 Valeurs d'intelligibilité à la parole - Speech transmission Index (STI) – Salles de classe de Fégréac.

4.2.1.4.4 École Publique de Mouais –Mouais 44

Dans l'école de Mouais, nous retrouvons des différences considérables entre les deux classes. Dans la classe 1, les données obtenues sont considérées comme « bonnes » ou « excellentes », alors que dans la classe 2, la majorité des valeurs sont « moyennes » (entre 0,45-0,60) (Figure 105).

Les niveaux de bruit de fond ne sont pas si différents pour retrouver un tel écart, et le temps de réverbération est similaire sauf pour la bande de 125Hz où les valeurs de la classe 2 sont plus élevées. Cependant, au centre de la classe 2, il y a une étagère de 90cm de hauteur qui pourrait expliquer en partie ces valeurs, car les trois points des moins bons résultats, sont situés derrière.

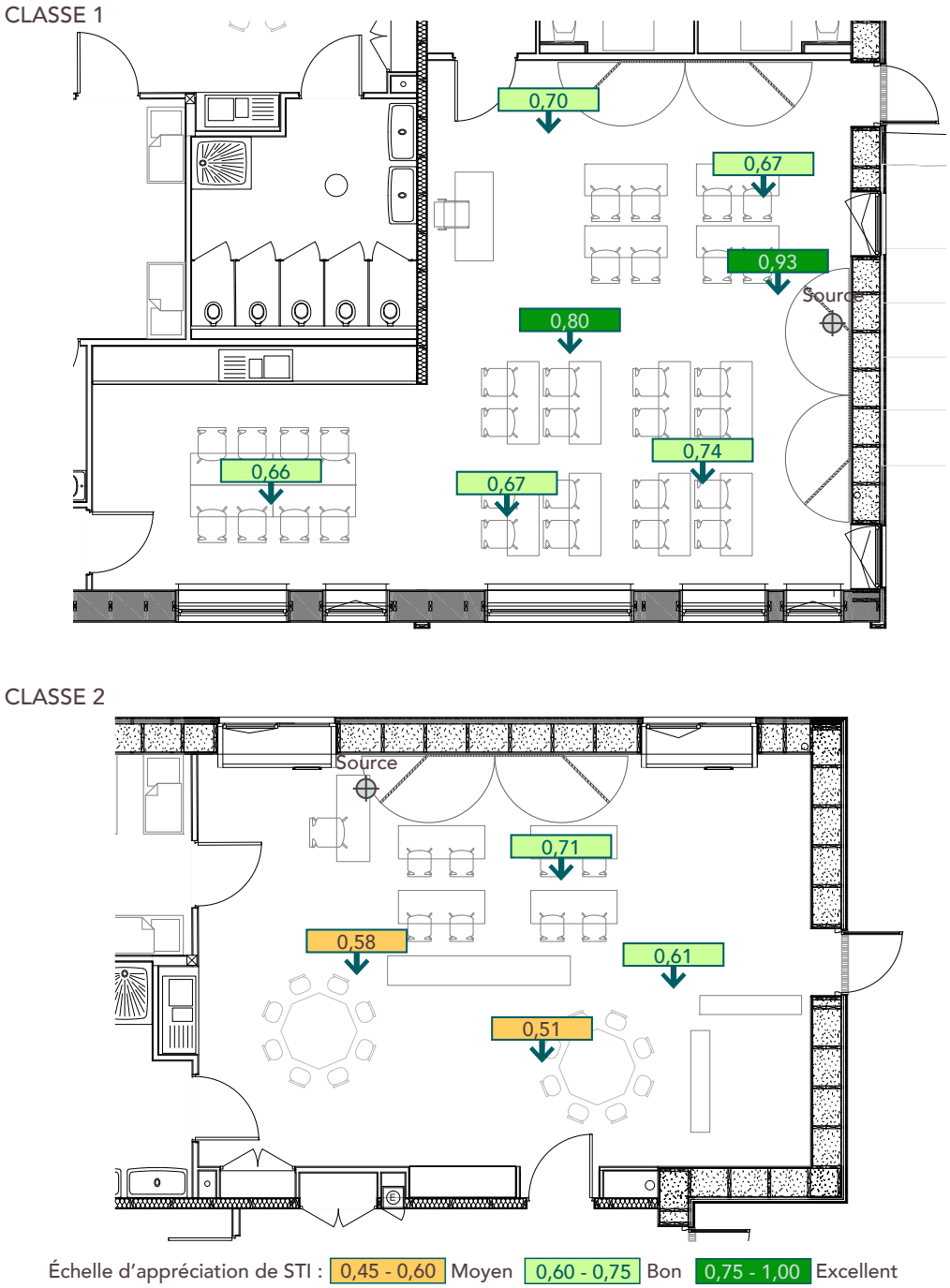


Figure 105 Valeurs d'intelligibilité à la parole - Speech transmission Index (STI) – Salles de classe de Mouais.

4.2.1.4.5 Résumé des données obtenues – Speech transmission Index (STI)

Des 10 classes étudiées seules deux classes, la classe 2 de l'école de Mouais et la classe 7 non meublée de Bouvron, ont certaines valeurs en dessous de la valeur 0,62 recommandée par la norme NF EN 60268-16 pour les messages complexes mais aussi des mots familiers (AFNOR, 2015). Mis à part ces deux classes, l'ensemble des classes montrent une intelligibilité à la parole « bonne » et même « excellente ». La moyenne de STI de l'ensemble des classes meublées est de 0,73±0,07 donc avec une intelligibilité « bonne ».

Il est observé que la présence d'obstacles physiques entre la source et la réception peut altérer l'intelligibilité. Par ailleurs, l'absence de mobilier comporte également une descende de Tr.

Une relation au niveau du bruit de fond a été aussi constatée. Plus le bruit de fond est élevé moins l'intelligibilité est bonne, fait également constaté par la bibliographie (Shield et al., 2015). Ce point est important car la présence du bruit de fond rend le message moins intelligible et oblige donc l'enseignant à élever la voix.

En ce qui concerne la terre crue, nous ne pouvons savoir si elle favorise l'intelligibilité au-delà de sa possible contribution, parfois, dans les propriétés acoustiques de la pièce par l'apport d'absorption et/ou de dispersion. Pour mieux comprendre s'il y a ou non une contribution, il faudrait comparer un même lieu avec et sans terre et c'est un des objectifs du chapitre Chapitre 5 (5.3.1.1).

4.2.1.5 Coefficient d'absorption in situ

Il reste compliqué à comprendre l'influence précise de la terre crue en ne prenant en compte que les valeurs globales comme le temps de réverbération (Tr) ou l'isolation. De plus, à Bouvron, les surfaces en terre ne représentent que 13% de l'ensemble des surfaces verticales de la salle de classe. La contribution de la terre au comportement acoustique de la pièce risque d'être limité en comparaison par exemple des surfaces horizontales tels que les plafonds. Cependant, à Baulon, les surfaces verticales en terre crue peuvent dépasser les 40%. Dans ce cas, la contribution des murs en terre est plus significative.

Afin de connaitre plus précisément les apports de la terre crue, dans cette partie nous analysons les résultats des mesures des coefficients d'absorption in situ réalisées sur différentes parois en terre crue. L'étude des quatre écoles a permis l'analyse de différents systèmes constructifs : de la bauge à l'école de Bouvron, du torchis et de la terre allégée à Baulon, des briques à Fégréac et finalement de la terre-allégée et des bottes de paille enduites à Mouais (Figure 106).

Figure 106 Les typologies de parois mesurées.

L'ensemble des mesures sont réalisées en incidence normale (perpendiculaires au mur) mais, conformément à la procédure décrite à la partie 3.2.2.2.3.1, à partir des valeurs obtenues, il est possible d'obtenir les coefficients en champ diffus. L'ensemble des courbes d'absorption par fréquence des différents points de mesures en incidence normale et les valeurs d'absorption

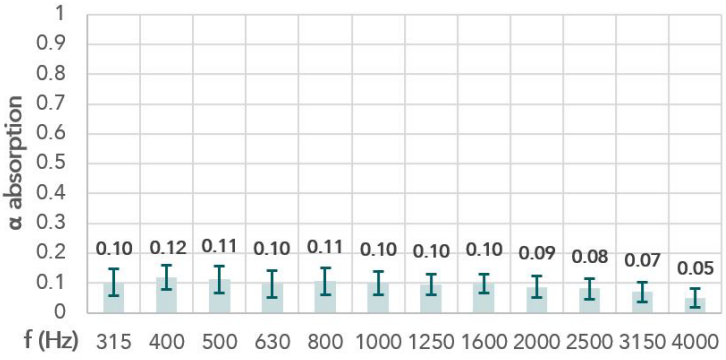
par fréquence calculées en champs diffus sont regroupées dans l'annexe 3.6. Dans cette annexe les informations sur la pièce mesurée comme la vitesse du son de la mesure (en fonction de la température, de l'humidité relative et de la pression atmosphérique de la pièce) sont également exposées.

4.2.1.5.1 École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44

Le mur en bauge de l'école de Bouvron est réalisé avec deux techniques de mise en œuvre : la bauge coffrée et des briques d'adobes pour la partie supérieure. La partie basse du mur en bauge a une finition à la caséine en surface qui lui apporte une protection et un aspect superficiel plus lisse. La partie haute du mur en bauge est laissée à l'état brut.

4.2.1.5.1.1 Mur en terre (bauge) – Partie basse du mur avec finition

Les moyennes par tiers d'octave des coefficients d'absorption mesurés in situ sont comprises entre 0,05±0,03 et 0,12±0,04 (Figure 107). Par ailleurs, l'absorption acoustique mesurée est quasiment constante dans l'ensemble des fréquences. Seule une légère diminution entre - 0,01 et -0,05 est mesurée à partir de la bande de 2000Hz (Figure 107).



Tiers d'octave (Hz)	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	**Moy.**
Moyenne	0.10	0.12	0.11	0.10	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.08	0.07	0.05	**0.09**
Écart type	*0.04*	*0.04*	*0.05*	*0.04*	*0.04*	*0.04*	*0.03*	*0.03*	*0.04*	*0.03*	*0.03*	*0.03*	***0.04***

Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les points de mesures d'une même paroi.

Figure 107 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique (moyenne) par tiers d'octave. Mur en terre (bauge) – Partie basse du mur avec finition.

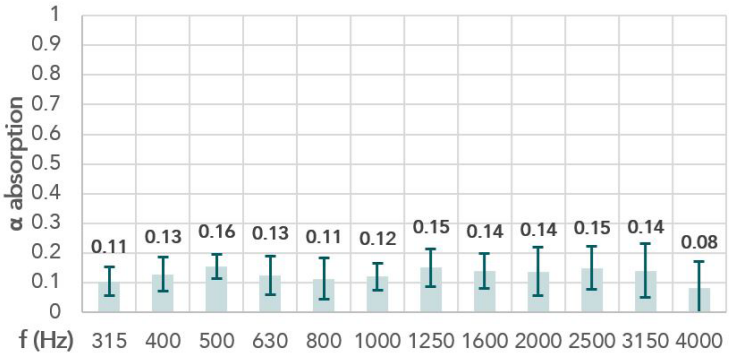
La partie basse du mur ne montre pas une grande absorption car elle absorbe en moyenne 9±4% de l'énergie qui atteint le mur. Ce fait peut être expliqué par l'état de surface du mur, trop lisse pour favoriser l'absorption acoustique par porosité.

4.2.1.5.1.2 Mur en terre (bauge) – Partie haute du mur sans finition

Les coefficients d'absorption mesurés dans la partie supérieure du mur sont compris entre 0,08±0,08 et 0,14±0,09 (Figure 108). L'absorption est également pratiquement constante pour l'ensemble des fréquences, mais la moyenne obtenue, 0,13±0,06, est légèrement plus élevée que la partie inférieure du mur. Cependant, les écarts-types entre les différentes courbes d'absorption sont plus importants car ils atteignent ±0,09, donc il existe une plus grande dispersion de la mesure (Figure 108).

La plus grande dispersion entre les coefficients d'absorption mesurés est très probablement due à l'état de surface plus hétérogène de cette partie du mur. Rappelons que la technique de mesure

d'absorption in situ est très localisée donc chaque hétérogénéité du mur peut avoir un impact fort sur le résultat mesuré. Pour avoir une représentativité de l'état de surface, plusieurs points de mesure sont réalisés et la moyenne de l'ensemble est calculée.



Tiers d'octave (Hz)	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	**Moy.**
Moyenne	0.11	0.13	0.16	0.13	0.11	0.12	0.15	0.14	0.14	0.15	0.14	0.08	**0.13**
Écart type	*0.05*	*0.06*	*0.04*	*0.06*	*0.07*	*0.05*	*0.06*	*0.06*	*0.08*	*0.07*	*0.09*	*0.08*	***0.06***

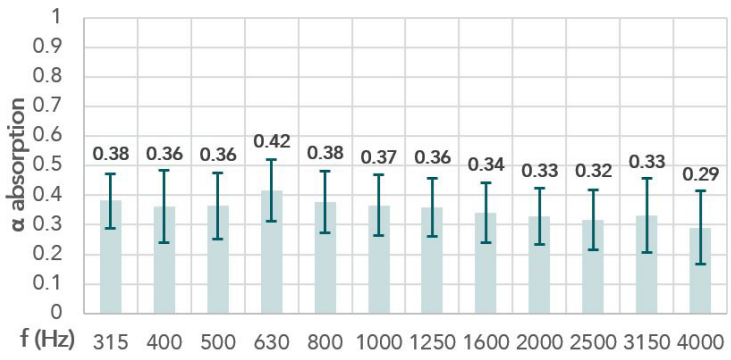
Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les points de mesures d'une même paroi.

Figure 108 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique (moyenne) par tiers d'octave. Mur en terre (bauge) – Partie haute du mur sans finition.

4.2.1.5.2 École publique les Lucioles – Baulon 35

4.2.1.5.2.1 Mur en terre et chanvre (torchis)

L'état de surface des murs de refends en torchis des salles de classe de Baulon présentent une importante hétérogénéité. Certaines parties sont rugueuses, avec une importante porosité, et d'autres plus lisses. Afin d'assurer une représentation fidèle de l'état de surface, les points de mesure sur des surfaces plus lisses et plus poreuses sont intercalés. L'absorption mesurée oscille entre 0,29±0,12 et 0,42±0,10 (Figure 109). Entre les bandes de 315Hz et 1250Hz les coefficients d'absorption moyennes mesurés sont compris entre 0,36-0,38, hormis un pic d'absorption dans la bande de 630Hz à 0,42±0,10. Au-delà de 1600Hz, une légère diminution de l'absorption est observée, atteignant des valeurs d'absorption de 0,29±0,12 (Figure 109).



Tiers d'octave (Hz)	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	**Moy.**
Moyenne	0.38	0.36	0.36	0.42	0.38	0.37	0.36	0.34	0.33	0.32	0.33	0.29	**0.35**
Écart type	*0.09*	*0.12*	*0.11*	*0.10*	*0.10*	*0.10*	*0.10*	*0.10*	*0.09*	*0.10*	*0.13*	*0.12*	***0.11***

Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les points de mesures d'une même paroi.

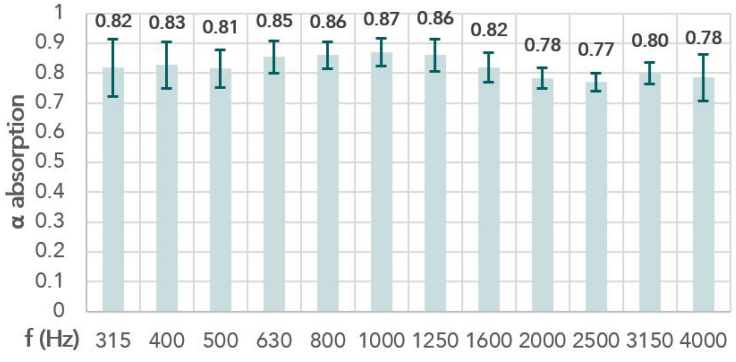
Figure 109 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique (moyenne) par tiers d'octave. Mur en terre et chanvre (torchis).

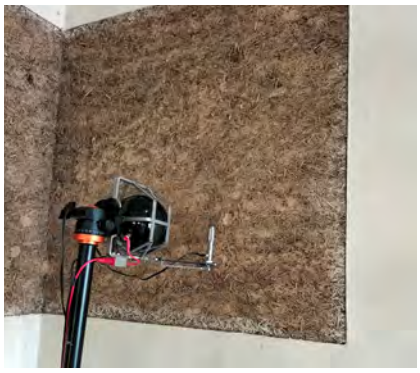
Le mur en torchis a une valeur moyenne d'absorption de 0,35±0,11 (Figure 109), significativement plus élevée que le mur en bauge avec une absorption moyenne de 0,13±0,06 pour la partie plus absorbante du mur (Figure 108). Dans ce cas, le mur est capable d'absorber en moyenne 35%±11 de l'énergie sonore qui atteint le mur. L'importante porosité d'une bonne partie du mur en torchis offre de l'absorption acoustique plus élevée.

4.2.1.5.2.2 Mur en terre-chanvre (terre allégée)

Dans l'école de Baulon, l'ensemble des murs de la bibliothèque sont en terre allégée avec un enduit de finition en terre-chaux. Seul un témoin du mur en terre allégée a été laissé brut et c'est sur cette partie que les mesures sont réalisées.

Les moyennes d'absorption par bande vont de 0,77±0,03 à 0,87±0,05, ce qui indique une forte absorption de la paroi. En moyenne, 82±6% de l'énergie sonore qui atteint le mur est absorbée. La bonne performance acoustique en matière d'absorption des mélanges allégés a été déjà étudiée dans la bibliographie (2.2.2). Des essais en laboratoire sur la terre allégée ont montré des pics d'absorption sur la gamme de fréquence 500-1500Hz à 0,90 et plus (Degrave-Lemeurs et al., 2018). Cependant, il reste intéressant d'observer comment, dans les mesures réalisées, l'absorption acoustique est plutôt constante. Le pic d'absorption entre les fréquences de 500Hz-1500Hz est, même si existant, beaucoup moins prononcé que ceux retrouvées dans la bibliographie mais surtout il n'y a pas de valeurs d'absorption inférieures à 0,70 tandis que dans les valeurs de laboratoire de la bibliographie dans les fréquences inférieures à 500Hz l'absorption peut atteindre des coefficients inférieurs à 0,20 ou entre 0,60 et 0,40 pour les fréquences supérieures à 1500Hz (Degrave-Lemeurs et al.,2018).





Tiers d'octave (Hz)	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	**Moy.**
Moyenne	0.82	0.83	0.81	0.85	0.86	0.87	0.86	0.82	0.78	0.77	0.80	0.78	**0.82**
Écart type	*0.10*	*0.08*	*0.06*	*0.05*	*0.04*	*0.05*	*0.05*	*0.05*	*0.03*	*0.03*	*0.04*	*0.08*	***0.06***

Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les points de mesures d'une même paroi.

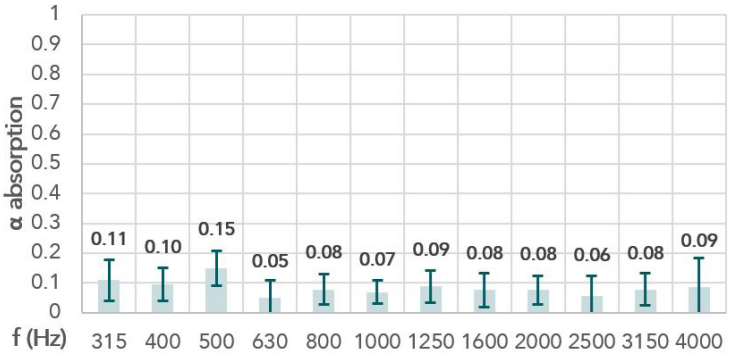
Figure 110 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique (moyenne) par tiers d'octave. Mur en terre-chanvre (terre allégée).

4.2.1.5.3 École Publique de la Madeleine – Fégréac 44

4.2.1.5.3.1 Mur en brique de terre comprimée stabilisé à la chaux (BTC).

Les murs de refends de l'ensemble des classes du bâtiment de la maternelle de Fégréac sont des BTC placés entre une structure bois. En raison de la différence entre la brique et le mortier, des points de mesures sont réalisés dans les deux parties.

Les coefficients d'absorption mesurés par bande sont compris entre 0,05±0,05 et 0,15±0,06. L'ensemble des valeurs d'absorption du mur de BTC sont donc comprises entre 0 et 0,21, ce qui correspond à une absorption faible (Figure 111). La différence entre la courbe d'absorption moyenne des briques et des joints n'est pas très significative (Annexe 3.6.3). En basses fréquences, l'absorption des joints est un peu plus élevée, mais en hautes fréquences, ce sont les briques qui montrent des valeurs d'absorption légèrement plus hautes (Figure 319 de l'annexe 3.6.3).



Tiers d'octave (Hz)	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	**Moy.**
Moyenne	0.11	0.10	0.15	0.05	0.08	0.07	0.09	0.08	0.08	0.06	0.08	0.09	**0.09**
Écart type	*0.07*	*0.05*	*0.06*	*0.05*	*0.05*	*0.04*	*0.05*	*0.06*	*0.05*	*0.06*	*0.05*	*0.09*	***0.06***

Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les points de mesures d'une même paroi.

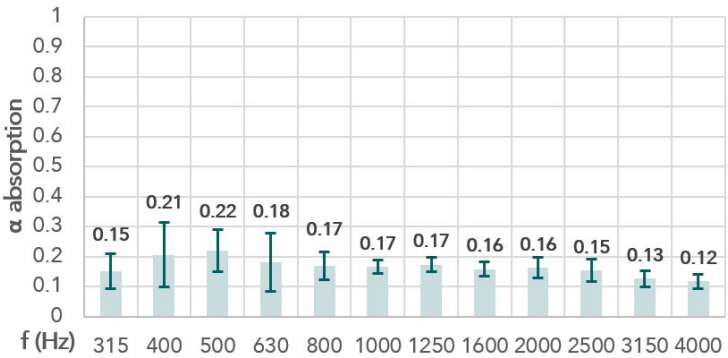
Figure 111 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique (moyenne) par tiers d'octave. Mur en brique de terre comprimée stabilisé à la chaux (BTC).

4.2.1.5.4 École Publique de Mouais –Mouais 44

Les murs de façade de l'école de Mouais sont recouvert à l'intérieur d'un enduit en terre crue. Mis à part la façade Sud réalisée en terre allégée, les murs sont réalisés en bottes de paille. Dans la classe 1, l'enduit sur la terre allégée est mesuré et dans la classe 2 un enduit sur bottes de paille.

4.2.1.5.4.1 Enduit terre sur support terre-paille

Les coefficients d'absorption par bande sont situés entre 0,12±0,02 et 0,21±0,11. Au-delà de la bande de 1000Hz, les écarts type vont de 0,04 à 0,02 et l'absorption moyenne se situe en 0,15±0,03.



Tiers d'octave (Hz)	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	**Moy.**
Moyenne	0.15	0.21	0.22	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.13	0.12	**0.17**
Écart type	*0.06*	*0.11*	*0.07*	*0.10*	*0.05*	*0.02*	*0.02*	*0.02*	*0.03*	*0.04*	*0.03*	*0.02*	***0.05***

Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les points de mesures d'une même paroi.

Figure 112 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique (moyenne) par tiers d'octave. Enduit terre sur support terre-paille.

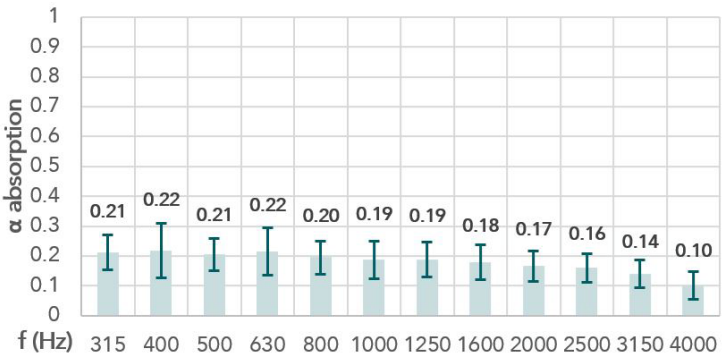
Cependant en basse fréquence, un pic d'absorption même au-dessous de 0,20 entre la bande de 400-630Hz a été mesuré mais également des écarts plus importants, entre 0,07 et 0,11 (Figure 112).

L'enduit est assez homogène dans son ensemble sauf certaines irrégularités, en raison de la présence de fibres ou, parfois, de certaines microfissures superficielles. L'état de surface plutôt lisse et hétérogène peut expliquer les valeurs d'absorption obtenues, avec une moyenne de 0,17±0.05. Les valeurs d'absorption étant inférieurs à 0,20, l'enduit se comporte plus comme un matériau réfléchissant qu'absorbant.

4.2.1.5.4.2 Enduit terre sur botte de paille

L'enduit en terre crue appliqué sur les bottes de paille a la même composition et le même aspect de surface que celui mis en œuvre sur le mur en terre allégée de la classe 1.

Les coefficients d'absorption par bande sont situés entre 0,10±0,05 et 0,22±0,09 (Figure 113). Comme dans le cas précédent, les valeurs d'absorption sont plus élevées en basse fréquences. Les écarts en hautes fréquences sont également plus importants que dans le cas précédent, entre 0,06 et 0,05 cette fois face à 0,02 et 0,04 (Figure 113). Cependant, en analysant les valeurs d'absorption maximales et minimales des deux cas, les valeurs d'absorption sont les mêmes.



Tiers d'octave (Hz)	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	**Moy.**
Moyenne	0.21	0.22	0.21	0.22	0.20	0.19	0.19	0.18	0.17	0.16	0.14	0.10	**0.18**
Écart type	*0.06*	*0.09*	*0.05*	*0.08*	*0.06*	*0.06*	*0.06*	*0.06*	*0.05*	*0.05*	*0.05*	*0.05*	***0.06***

Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les points de mesures d'une même paroi.

Figure 113 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique (moyenne) par tiers d'octave. Enduit terre sur botte de paille

4.2.1.5.5 Résumé des données obtenues – Coefficient d'absorption in situ

Les mesures réalisées montrent des importantes différences selon les types de mise en œuvre. Pour des techniques telles que la bauge et les briques, avec des états de surfaces plutôt lisses, les coefficients d'absorption ne sont pas supérieurs à 0.2. En revanche, la plus grande porosité des techniques comme le torchis (Baulon) entraîne une augmentation de plus de 10% dans l'absorption mesurée, arrivant à des absorptions supérieures à 0,4 pour les gammes de fréquences entre 500Hz-750Hz. Celle-ci est encore plus marquée pour la terre allégée de la bibliothèque de Baulon où la courbe d'absorption est toujours supérieure à 0,7 et dans la gamme de fréquence entre 600Hz-1250Hz les valeurs d'absorption atteignent presque 0.9. Malheureusement, pour une question de durabilité, les cas où la terre allégée est laissée apparente sont rares et l'incorporation de l'enduit produit une baisse d'absorption d'au moins 0,5. C'est le cas de l'enduit terre-chaux sur terre allégée (Baulon) et

de l'enduit terre sur terre allégée de l'école de Mouais (Figure 114). La baisse de l'absorption par l'ajout d'un enduit rejoint les résultats obtenues dans des études précédentes sur la terre allégée ou l'ajout d'un enduit avait démontré une baisse drastique de l'absorption (partie 2.2.2) (Brouard, 2018).

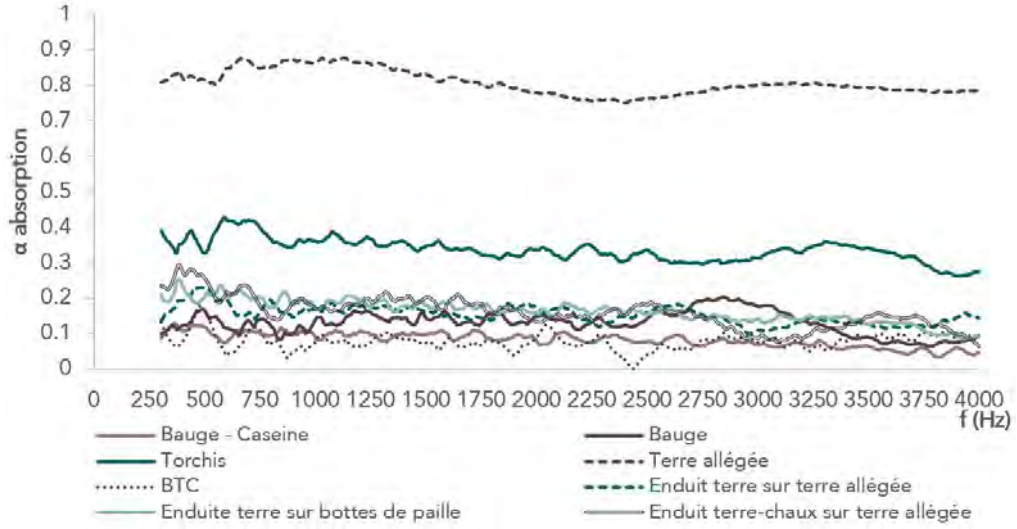


Figure 114 Moyenne des coefficients d'absorption en incidence normale des différents types de parois en terre.

Les valeurs d'absorption obtenues varient peu en fonction de la fréquence. Nous ne trouvons de pics d'absorption très importants dans aucune gamme de fréquences, seul parfois en basses fréquences des pics légèrement plus prononcés. Ces pics pourraient s'expliquer par la limite de la puissance de la source qui ne permet pas la génération des fréquences sonores si basses avec la même précision qu'en hautes fréquences. La limite de la puissance de la source est également la raison de l'absence des mesures en dessous de 350Hz ou au-dessus de 4000Hz.

4.2.1.6 Coefficient d'absorption dans le tube de Kundt (laboratoire)

4.2.1.6.1 Caractérisation de l'absorption acoustique des mélanges terre-fibre

Les exemples du mur en terre allégée de la bibliothèque ou les murs de refend des classes de l'école Baulon ont mis en évidence le possible apport de la terre en matière d'absorption. Les mesures in situ des coefficients d'absorption montrent également que l'apport de la terre peut être assez réduit, entre 0,1 et 0,2, quand les surfaces ont un aspect plus lisse comme la bauge, les briques ou même des enduits lisses.

Afin d'explorer un peu plus les différentes possibilités de finitions des murs en terre crue et leur possible apport sur les propriétés acoustiques des salles, nous avons opté pour l'étude de l'absorption avec le tube de Kundt. Cette méthode permet la manipulation des échantillons de faibles dimensions et par conséquent l'étude d'un plus grand nombre de mélanges (3.2.2.3). Dans un deuxième temps, les résultats obtenus sont également intégrés dans les modèles de CATT-Acoustic afin d'estimer le comportement de la salle si des enduits en terre crue avaient été mis en œuvre (3.2.2.5 et 4.2.1.7).

4.2.1.6.1.1 Caractérisation des éprouvettes

Les terres utilisées dans les éprouvettes correspondent aux deux terres utilisées à Baulon et une terre utilisée à Bouvron. Au total, il y a 3 terres différentes mélangées à 3 natures de fibres différentes

: paille d'orge, lin et chanvre (chènevotte).

Les terres de Baulon ont été récupérées sur des tas présents sur le site de l'école et la terre de Bouvron provient de briques d'adobes stockées depuis la construction de l'école.

4.2.1.6.1.1.1 Caractéristiques des terres

Les deux terres de Baulon sont très similaires en ce qui concerne la distribution granulométrique. La principale différence est dans le pourcentage d'éléments grossiers d'environ 15% pour la terre 3 et 8% pour la terre 1. Par rapport au pourcentage d'argile, la terre 1 a environ 25% d'argile et la terre 3 a un peu moins de 22% d'argile (Figure 115). La terre 2 de Bourvron a une proportion importante de sables et moins de 10% d'argile (Figure 115).

Dans l'annexe 4.1, les données précises de la distribution granulométrique ainsi que des photographies sont rassemblées.

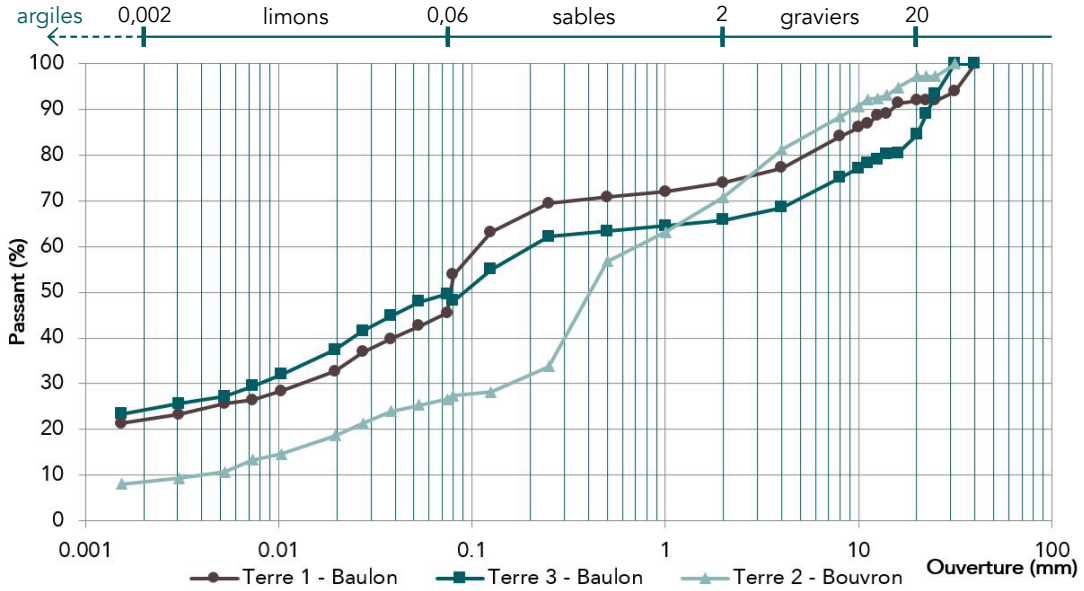


Figure 115 Graphique de la distribution granulométrique des terres étudiées.

L'information obtenue sur la distribution granulométrique est complétée par la réalisation d'une diffraction et d'une fluorescence des rayons X. À partir des valeurs de la fluorescence les oxydes majoritaires déterminés, comme on pouvait s'y attendre, sont ceux en silicium, aluminium et fer. Les autres éléments, le calcium, le magnésium, le potassium, le sodium, le titane et le baryum se trouvent dans une proportion inférieure à 5 % (Tableau 32).

	Terre 1 (Baulon)	**Terre 2 (Bouvron)**	**Terre 3 (Baulon)**
CaO	0.79	1.97	0.82
MgO	0.95	0.74	1.06
Fe2O3	**10.70**	**6.97**	**11.64**
Al2O3	**17.31**	**9.71**	**17.26**
SiO2	**57.87**	**68.37**	**56.83**
K2O	3.66	3.61	3.64
Na2O	0.04	0.14	0.03
TiO2	2.00	1.77	2.00
BaO	0.26	0.00	0.28
LOI 1050°C	6.42	6.73	6.44

Tableau 32 Éléments de la fluorescence de chaque terre (voir l'annexe 4.2).

La diffraction des rayons X nous permet de déterminer les minéraux cristallins. Dans Tableau 33 nous observons que les trois terres ont un important pourcentage semi-quantitatif de quartz et d'albite, ainsi que des argiles comme la kaolinite dans la terre 1 et 3 et la muscovite même si elle n'apporte pas de cohésion.

	Terre 1 (Baulon)	Terre 2 (Bouvron)	Terre 3 (Baulon)
Quartz	65,5 %	61,8%	73,7 %
Albite	14,5 %	13,8%	7,7 %
Microcline, intermediate		7,4%	
Orthoclase		8,4%	3,9 %
Albite, ordered		1,1%	
Muscovite	**15,7 %**	**7,4%**	**9,6 %**
Nacrite	1,6 %		
Kaolinite	**2,7 %**		**5,1 %**

Tableau 33 Éléments et pourcentages de chaque terre - diffraction de rayons X (voir l'annexe 4.2)

Des trois terres l'indice de plasticité le plus important est celui de la terre 1 à 11,98%, suivi de la terre 3 à 8,1% et finalement de la terre 2 avec un indice à 4,3% (Tableau 34). Pendant la manipulation des terres, une présence de matière organique pour la terre 2 de Bouvron a été aussi remarquée, possiblement pour sa provenance des briques d'adobes.

	Terre 1 (Baulon)	Terre 2 (Bouvron)	Terre 3 (Baulon)
Limite de liquidité (%)	29.08	23.8	27.5
Limite de plasticité (%)	17.10	19.5	19.3
Indice de plasticité	11.98	4.3	8.1

Tableau 34 Résultats des limites d'attenberg

Si l'on considère la fraction fine des terres étudiées, la terre 1 et 3 de Baulon sont des terres « argile minérale de faible plasticité (ap) » et la terre 2 de Bouvron « limon minérale de faible compressibilité (lp) » (Figure 116).

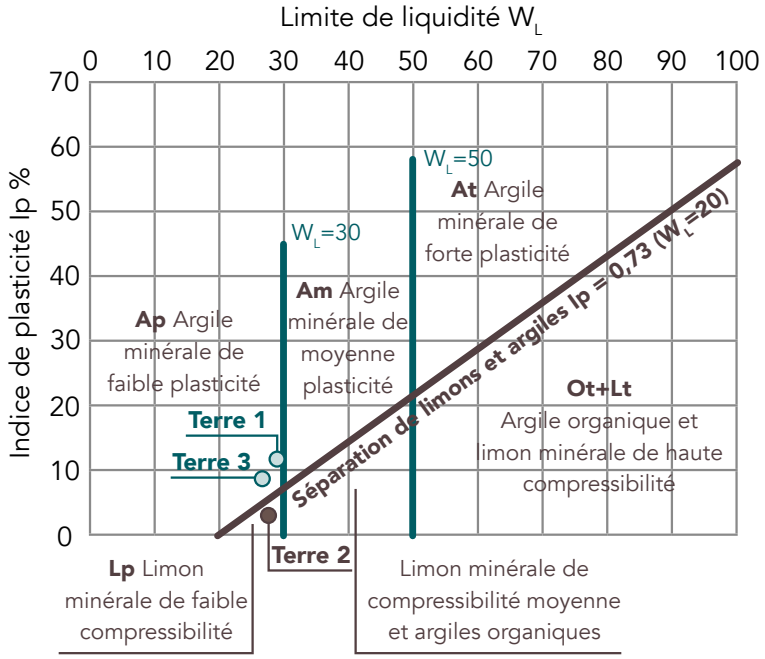


Figure 116 Fraction fine de la terre – classification.

Si nous prenons en compte toute la fraction granulométrique, les trois terres sont des sables avec une proportion de sable fin très élevée. Selon la classification unifiée de Casagrande (García-Gaines et Frankenstein, 2015) la Terre 1 est SC (sable et argile) la terre 2 est SM (sable et limons) et la terre 3 SC (sable et argile).

4.2.1.6.1.1.2 Caractéristiques des fibres

Trois types de fibres sont utilisés : de la chènevotte calibrée de ISOCANNA (Saint-Astier) avec une granulométrie de 5 à 25mm et une masse volumique apparente de 95 à 115kg/m^3, de la paille d'orge avec une granulométrie entre 20 et 40mm et du paillis de lin de 5 à 20mm (Figure 117).

Figure 117 Fibres utilisées (le chanvre et la paille ont été tamisés à 4mm)

4.2.1.6.1.1.3 Caractéristiques des éprouvettes

Les éprouvettes sont cylindriques, d'un diamètre de 50 mm et d'une épaisseur de 10mm. La terre utilisée dans la fabrication des éprouvettes est tamisée à 2,5mm. Les fibres de chanvre et de paille sont également tamisées à 4mm pour éviter des brins très longs qui auraient pu compliquer la fabrication des éprouvettes. La quantité d'eau est ajustée à chaque mélange pour obtenir des consistances aptes pour le moulage.

Les proportions entre la terre el la fibre des différentes éprouvettes sont mesurées en masse. Les terres de Baulon (Terre 1 et Terre 3) ont accepté des proportions de 50% de fibre par rapport au poids de la terre. Le niveau plus bas de cohésion de la terre de Bouvron (Terre 2) ne permet pas un tel dosage, donc avec cette terre la proportion de fibres n'arrive qu'à 15%. La fibre de lin ne permet pas des pourcentages supérieurs à 25 % avec les terres 1 et 3 (Tableau 35).

L'aspect de surface des éprouvettes d'un même mélange est travaillé de trois manières différentes : normale (pas de finition particulière), grattée et lisse. Quand la proportion de fibres est très élevée, il est compliqué de travailler une finition de surface sans un ajout additionnel de mortier, en conséquence dans ces cas aucun aspect de surface est appliquée (Tableau 35).

		Chanvre				Paille				Lin		
		5% C5	15% C15	25% C25	50% C50	5% P5	15% P15	25% P25	50% P50	5% L5	15% L15	25% L25
Terres	T1	F	F	N	N	F	F	F	N	F	F	N
	T2	F	N	(1)	(1)	F	N	(1)	(1)	F	N	(1)
	T3	F	F	N	N	F	F	F	N	F	F	N

(1) La terre n'accepte pas une telle proportion de fibres
T1 = Terre 1 Baulon | T2 = Terre 2 Baulon | T3 = Terre 3 Bouvron
N = Éprouvettes sans travaille de la surface.
F = Avec la même proportion de terre et fibre, les éprouvettes ont été travaillés en surface pour donner un aspect de surface gratté (G), plus lisse (L) et sans travaille particulière (N).

Tableau 35 Proportions des fibres des échantillons.

Pour chaque mélange, un minimum de trois éprouvettes sont fabriquées. Quand différentes finitions sont réalisées avec le même mélange un total de neuf éprouvettes sont réalisées et testées (3 normales (N), 3 grattées (G) et 3 lisses (L)) (Figure 118).

Figure 118 Exemple de réalisation des éprouvettes avec trois finitions différentes.

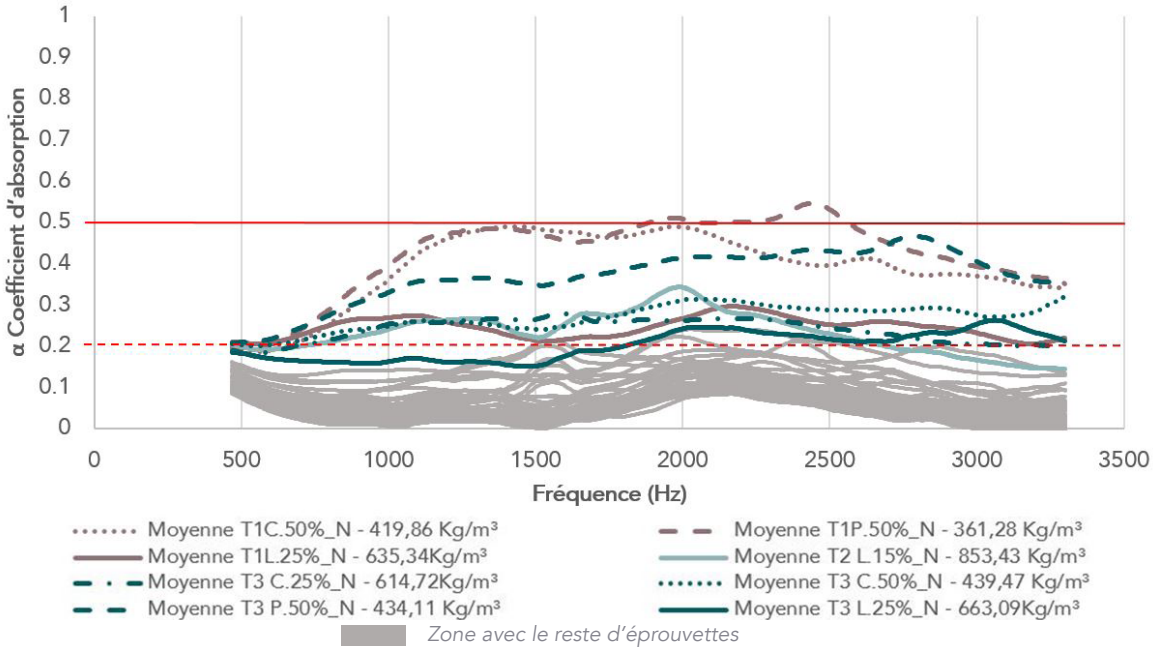
Les densités des éprouvettes testées sont comprises entre 1515±36Kg/m³ et 325±42Kg/m³. Dans l'annexe 4.3 les densités moyennes avec les écarts types sont regroupées.

4.2.1.6.1.2 Les résultats des mesures tube de Kundt

Les résultats présentés et analysés au cours de cette partie correspondent aux moyennes de deux répétitions réalisées sur au moins trois échantillons avec le même dosage (de terre et de fibre) et la même finition.

L'ensemble des moyennes des valeurs d'absorption, séparés par terre et type de fibres, sont présentées dans l'annexe 4.4.

Les coefficients d'absorption des éprouvettes sont compris entre 0 et 0,5 (Figure 119). À l'exception des éprouvettes à plus haut pourcentage de fibres, les valeurs d'absorption dépassent rarement les 0,2 (Figure 119). Pour les éprouvettes à plus bas pourcentage de fibres (zone grise - Figure 119), les absorptions plus élevées sont mesurées aux alentours de 500Hz et 2000Hz (Figure 119).



Type de terre : T1 = Terre 1 ; T2 = Terre 2 ; T3 = Terre 3. Nature des fibres : C = Chanvre ; P = Paille ; L = Lin.

Figure 119 Valeurs d'absorption du tube de Kundt.

L'analyse des résultats montre une corrélation entre le pourcentage de fibres, les densités et les coefficients d'absorption. Plus le pourcentage de fibres est haut plus la densité est basse et plus les coefficients d'absorption sont hauts, comme les éprouvettes qui contiennent 50% de fibres (Figure 119). Parmi les éprouvettes à plus basse densité ce sont les éprouvettes avec la paille qui ont des coefficients d'absorption plus élevés. Cependant, quand la quantité de fibres est réduite à la moitié, soit à 25%, le lin et le chanvre ont globalement de meilleures performances (Figure 120).

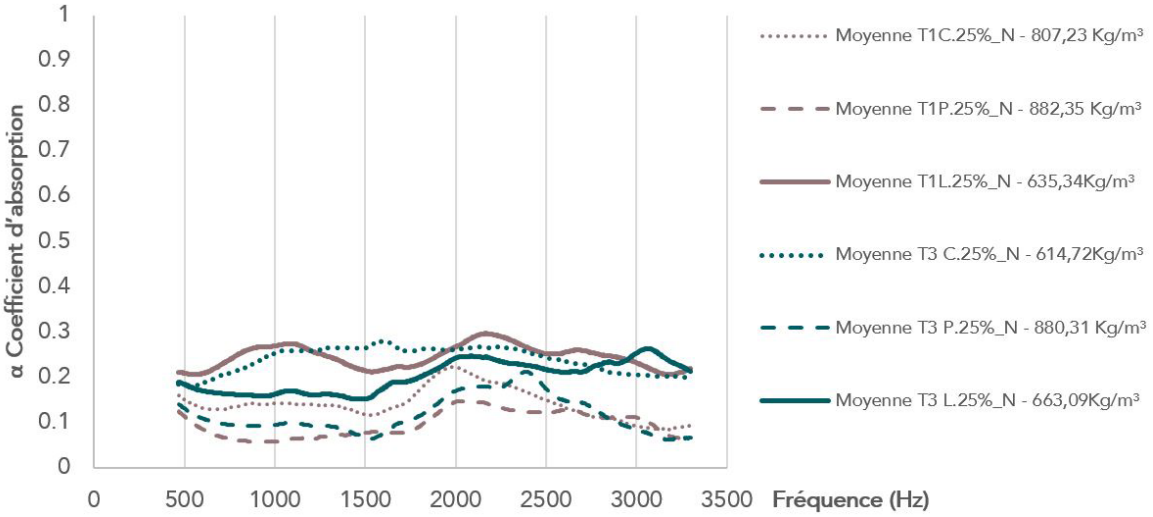
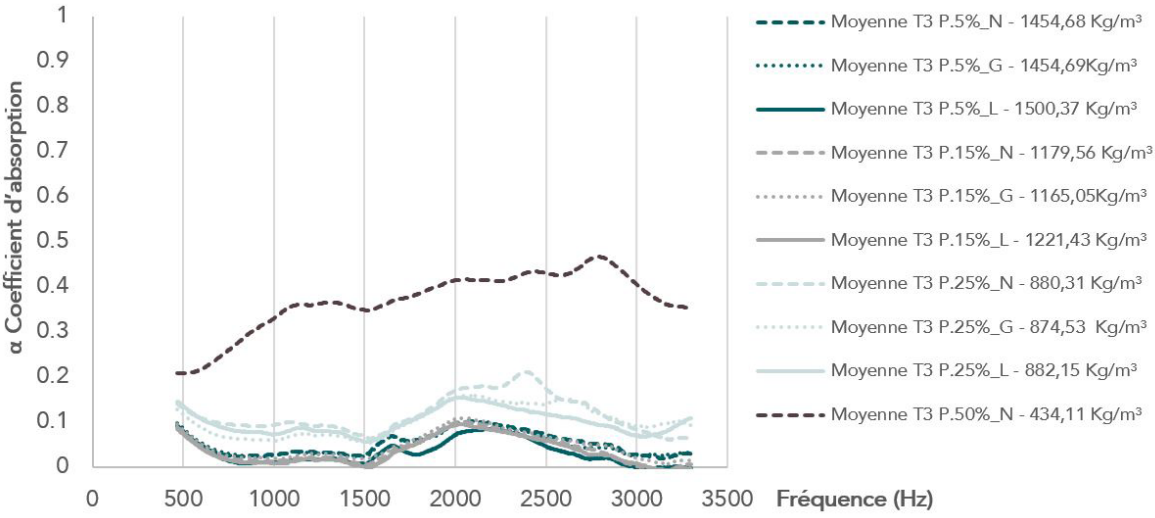


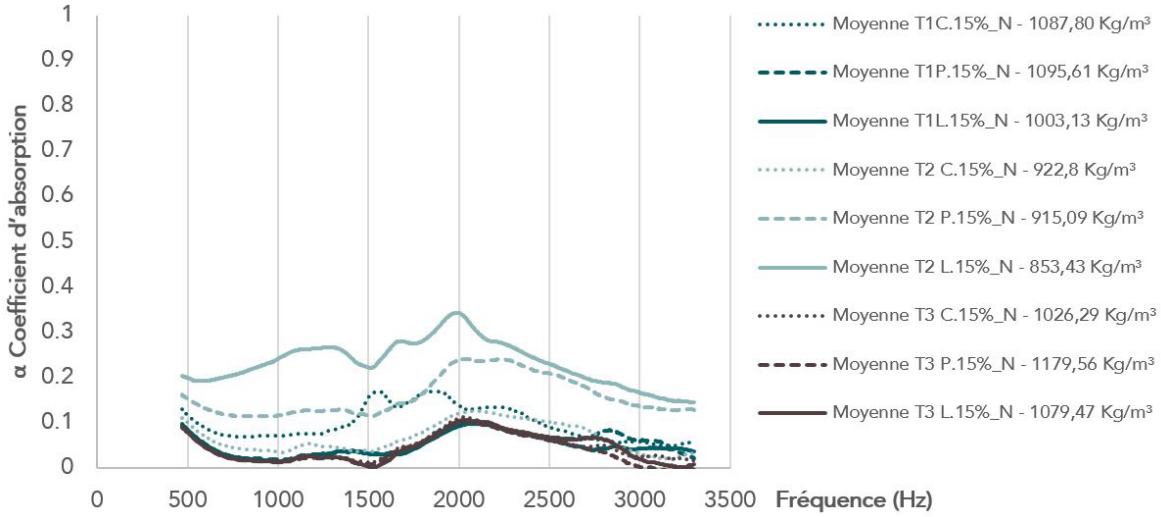
Figure 120 Valeurs d'absorption du tube de Kundt avec 25% de fibres.

Les rapports entre plus basse densité et absorption plus élevée sont plus facilement respectés quand une même terre et une même fibre sont comparées (Figure 121) ou quand les éprouvettes ont le même pourcentage de fibres indépendamment de leur nature (Figure 122).



Type de terre : T1 = Terre 1 ; T2 = Terre 2 ; T3 = Terre 3. Nature des fibres : C = Chanvre ; P = Paille ; L = Lin.

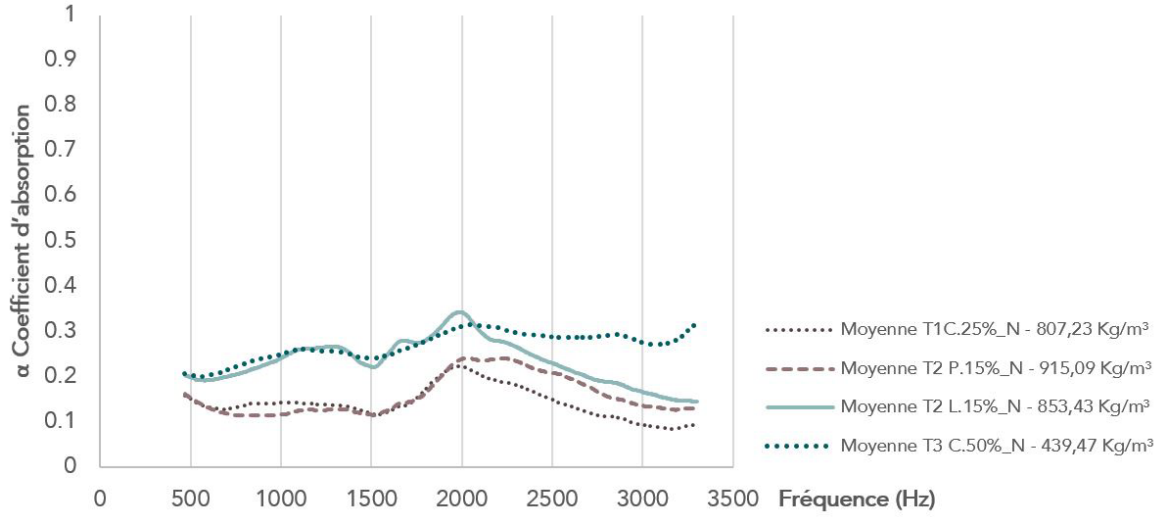
Figure 121 Valeurs d'absorption du tube de Kundt de la terre 3 avec de la paille.

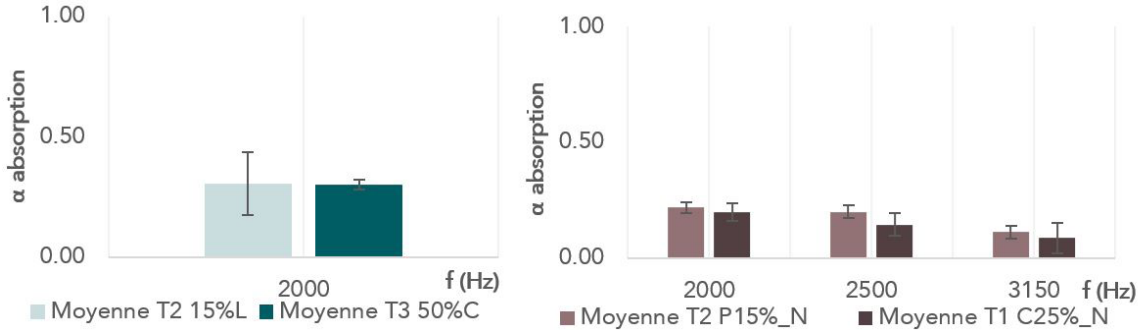


Type de terre : T1 = Terre 1 ; T2 = Terre 2 ; T3 = Terre 3. Nature des fibres : C = Chanvre ; P = Paille ; L = Lin.

Figure 122 Valeurs d'absorption du tube de Kundt avec 15% de fibres.

Du moment que différents pourcentages / natures de fibres et différentes terres sont comparés les éprouvettes à plus basse densité ne sont nécessairement pas celles avec des valeurs d'absorption les plus performantes. Par exemple, dans la bande des fréquences de 2000Hz, les éprouvettes de la terre 2 avec 25% de lin et une densité de 853±85Kg/m^3 ont un coefficient moyen légèrement plus élevé que les éprouvettes de la terre 3 avec 50% de chanvre et une densité presque deux fois plus faible, de 439±16Kg/m^3 (Figure 123). En hautes fréquences les éprouvettes de la terre 2 avec 15% de paille et une densité de 915±25Kg/m^3 ont également un coefficient d'absorption moyen légèrement supérieur au coefficient moyen des éprouvettes de la terre 1 avec 25% de chanvre et une densité de 807±37Kg/m^3 (Figure 123). Ces résultats nous amènent à nous questionner sur l'influence d'autres facteurs, au-delà de la densité, sur les coefficients d'absorption tels que l'état de surface.





Type de terre : T1 = Terre 1 ; T2 = Terre 2 ; T3 = Terre 3. Nature des fibres : C = Chanvre ; P = Paille ; L = Lin.

Figure 123 Comparatif entre valeurs à différentes densités, nature de terre et fibres par fréquences (graphique au-dessus). Analyse par bande de tiers d'octave des bandes où une différence a été observée.

L'analyse par bande d'octave et écarts types permet de souligner un écart type de ±0,19 entre les moyennes des éprouvettes de la terre 2 avec 15% de lin (Figure 123). L'explication de cette variation des valeurs d'absorption entre des éprouvettes avec la même terre et les mêmes nature et dosage de fibre peut se trouver sur l'état de surface où nous observons des différences notables (Figure 124 et Figure 125).

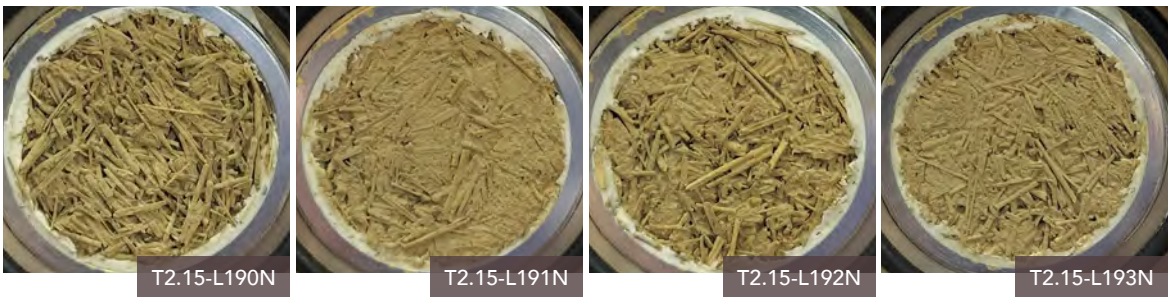


Figure 124 Comparaison de l'aspect de surface des éprouvettes d'un même mélange. Terre 2 – 15%Lin.

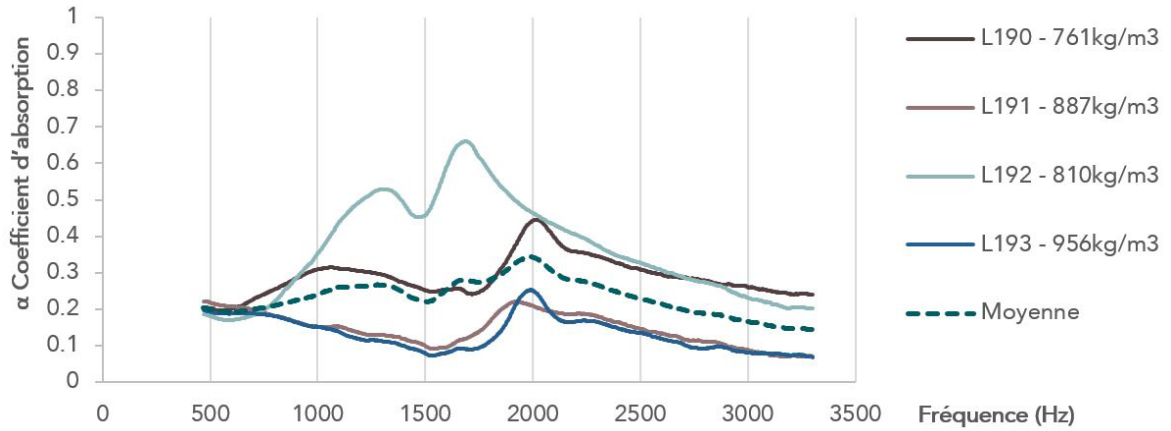
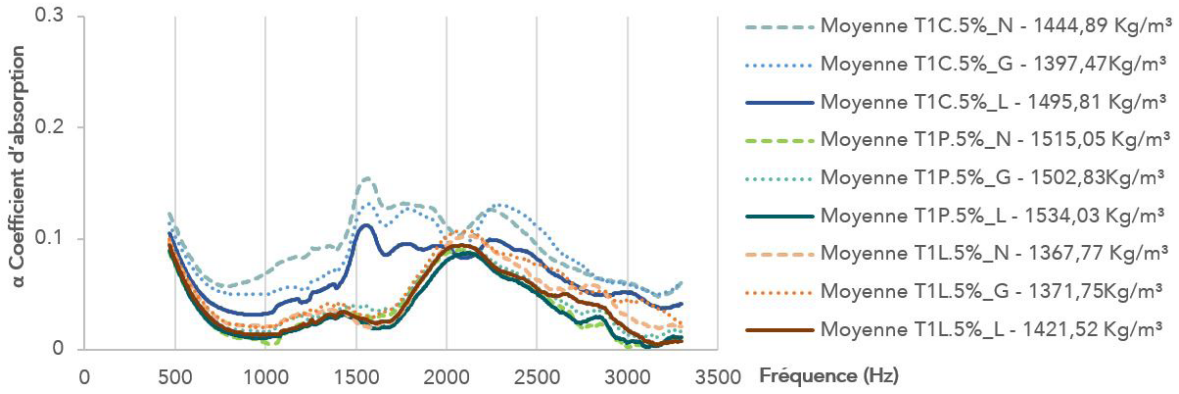


Figure 125 Exemple des valeurs d'absorption d'éprouvettes avec un même mélange (terre, fibre et eau). Terre 2 – 15%Lin.

La réalisation de minimum trois éprouvettes avec le même contenu de terre, de fibre et d'eau a permis de noter l'influence de l'état de surface sur les propriétés d'absorption (Figure 124 et Figure 125). Principalement, dans les éprouvettes avec un haut contenu de fibres (25%, 50% pour les terres 1 et 3 et 15% pour la terre 2) les coefficients d'absorption peuvent être assez inégales (Figure 124 et Figure 125).

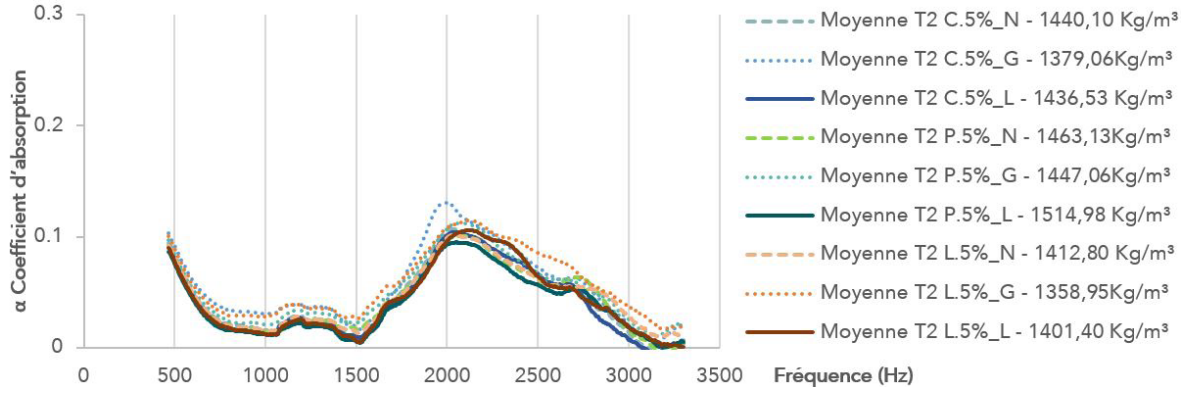
Les finitions (normale, gratté et lisse)

Afin d'étudier plus en détail l'influence de l'état de surface et sa reproductibilité, nous avons testé les mélanges avec moins de fibres avec des finitions lisses, grattées et sans finitions particulières (Tableau 35). Avec 5% de fibres, le chanvre montre des variations plus importantes entre les trois modes de finition (Figure 126, Figure 127 et Figure 128). Ces variations sont surtout constatées avec la terre 1 (lignes bleues Figure 126). Les finitions lisses ne sont jamais les plus performantes des trois, à l'exception de l'absorption en basses fréquences pour la terre 3-chanvre. Cependant, ce n'est pas si net pour la finition normale et la finition grattée. Par exemple, le mélange « C5% finition normale » de la terre 1 a de meilleurs résultats que le même mélange avec une finition grattée (Figure 126).



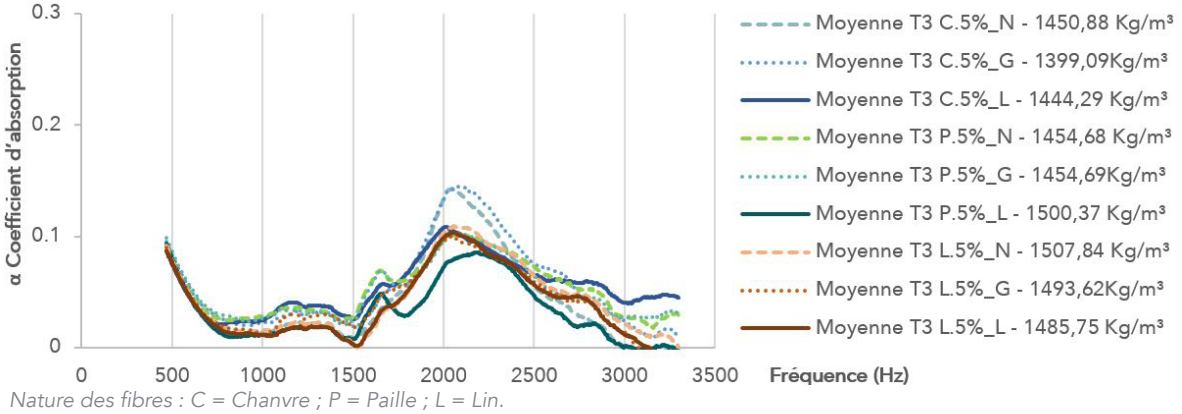
Nature des fibres : C = Chanvre ; P = Paille ; L = Lin.

Figure 126 Valeurs d'absorption acoustique des éprouvettes avec la terre 1 et 5% de fibres.



Nature des fibres : C = Chanvre ; P = Paille ; L = Lin.

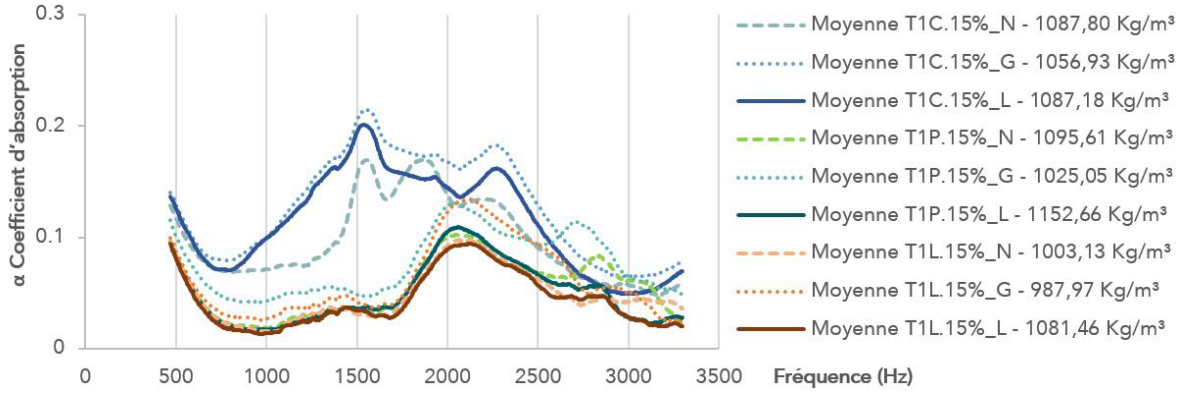
Figure 127 Valeurs d'absorption acoustique des éprouvettes avec la terre 2 et 5% de fibres.



Nature des fibres : C = Chanvre ; P = Paille ; L = Lin.

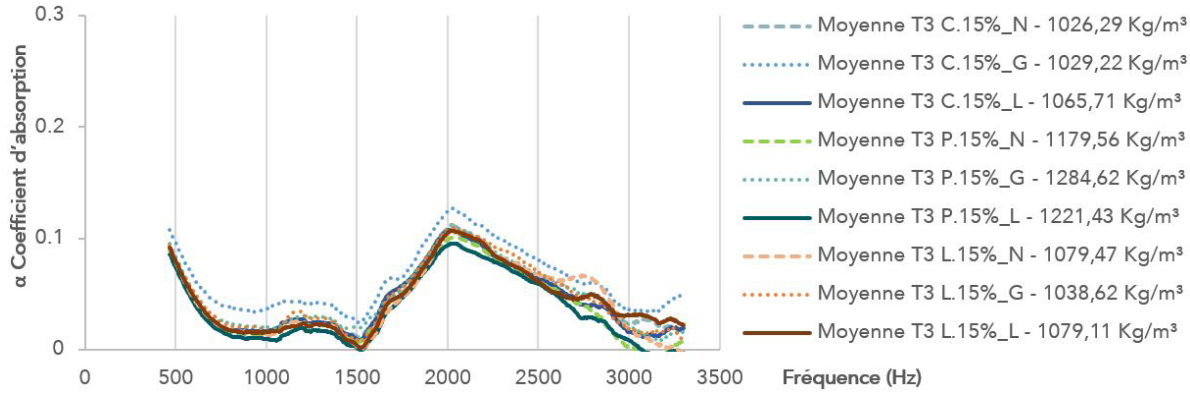
Figure 128 Valeurs d'absorption acoustique des éprouvettes avec la terre 3 et 5% de fibres.

Comme pour les finitions avec 5% de fibre, les variations plus importantes sont mesurées avec la terre 1. Dans ces cas, les valeurs d'absorption plus élevées sont mesurées avec les finitions grattées pour les 3 types de fibres et avec les deux terres.



Nature des fibres : C = Chanvre ; P = Paille ; L = Lin.

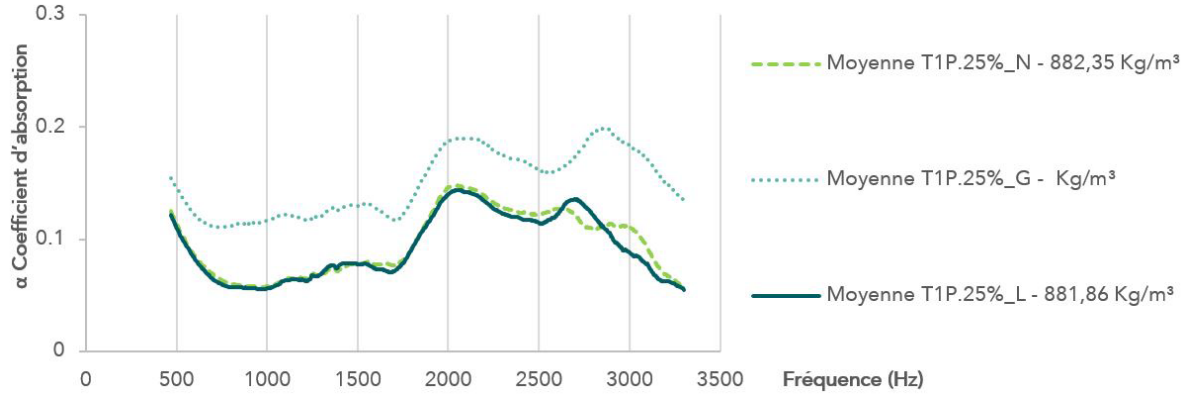
Figure 129 Valeurs d'absorption acoustique des éprouvettes avec la terre 1 et 15% de fibres.



Nature des fibres : C = Chanvre ; P = Paille ; L = Lin.

Figure 130 Valeurs d'absorption acoustique des éprouvettes avec la terre 3 et 15% de fibres.

La terre 1 a permis de travailler l'état de surface des éprouvettes avec 25% de paille. Ce fait peut être expliqué par la plus haute plasticité de la terre 1 qui accepte un plus haut pourcentage d'eau pour la maniabilité (4.2.1.6.1.1.1). Dans ces cas-là, nous avons mesuré une variation importante entre l'état de surface gratté et les deux autres (Figure 131).



Nature des fibres : C = Chanvre ; P = Paille ; L = Lin.

Figure 131 Valeurs d'absorption acoustique des éprouvettes avec la terre 1 et 25% de fibres.

Donc nous pouvons en conclure que la nature et la quantité de fibres ont une influence sur le coefficient d'absorption. En ce qui concerne les finitions seulement, du moment que la finition grattée est bien poreuse cela peut apporter une amélioration quantifiable (Figure 132). Cette porosité semble plus facile à atteindre lorsque la quantité de fibre est plus importante (Figure 131). Dans les autres cas, la différence est presque négligeable.

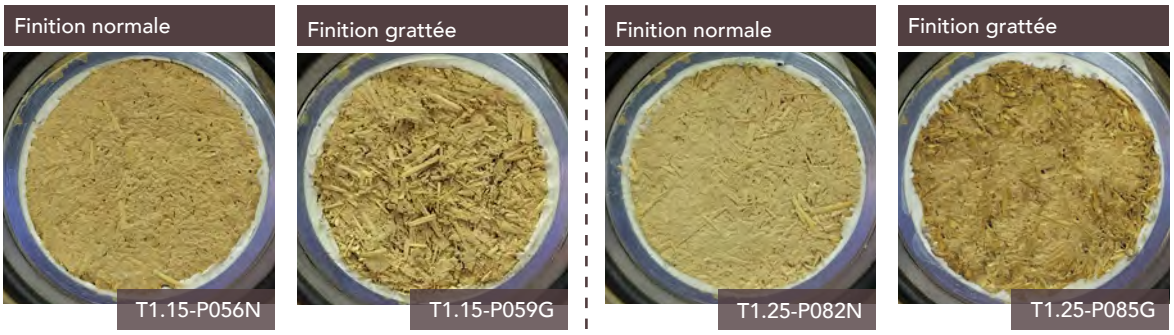


Figure 132 Aspect de surfaces des éprouvettes de la terre 1 avec 25% de paille et 15% de paille.

Le type de terre ne semble pas en soi jouer un rôle fondamental dans les performances acoustiques. En revanche, indirectement, la nature de la terre et ses caractéristiques permettront l'addition d'une plus grande ou d'une plus petite quantité de fibres mais également d'eau. Ces deux facteurs peuvent cependant influencer la rugosité en surface et donc l'absorption acoustique.

4.2.1.6.2 Résumé des données obtenues – tube de Kundt (laboratoire)

Les résultats du coefficient d'absorption mesuré sont compris entre 0,50 et 0 mais au moins 85% des éprouvettes testées ne dépassent pas des valeurs de 0,20. Dans leur ensemble les valeurs ne montrent pas des pics d'absorption très prononcés.

Dans les mesures en tube de Kundt réalisées, les éprouvettes avec une plus basse densité montrent globalement des absorptions plus hautes. Ce principe est surtout respecté quand une même terre et une même fibre sont comparées ou quand les éprouvettes ont le même pourcentage de fibres. Lorsque des natures de fibres et de terres différentes sont comparées, le respect de ce principe est moins évident. Dans ce cas, l'état de surface paraît avoir un rôle plus déterminant sur les propriétés d'absorption. Ce fait est surtout à prendre en compte quand les brins de fibres sont plus longs, comme dans notre cas les fibres de lin. Les brins longs facilitent d'avantage la création de surfaces rugueuses et très possiblement avec une plus grande porosité.

L'importance de la porosité en surface est également soulignée dans la comparaison entre les valeurs d'absorption in situ du mur de terre allégée et les valeurs obtenues dans le tube de Kundt. L'absorption mesurée in situ a une moyenne de 82%±6 (4.2.1.5.2.2). En revanche, entre les éprouvettes testées seulement une dépasse légèrement un coefficient d'absorption de 0,5 (Figure 133 et Figure 134).

Dans la comparaison réalisée entre les différentes finitions - normal, gratté et lisse -, seulement quand les différents états de surface étaient bien distincts que des appréciations remarquables entre les coefficients d'absorption ont été mesurées. Les éprouvettes qui ont montré une plus haute absorption étaient, dans la majorité des cas, celles qui ont été travaillées avec une finition grattée.

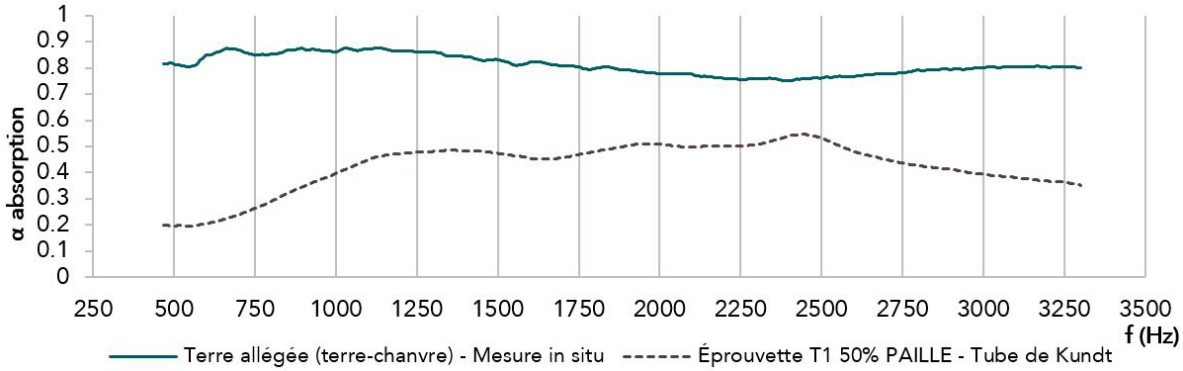


Figure 133 Comparaison entre l'absorption plus élevée obtenue dans la mesure in situ (terre allégée) et l'absorption plus élevée de l'ensemble des éprouvettes testées dans le tube de Kundt (T1 50% Paille).

Figure 134 Aspect de surface de l'éprouvette de « Terre 1 50% Paille » (à gauche) et la terre allégée de la bibliothèque de Baulon (à droite).

4.2.1.7 Les simulations acoustiques

Il a été possible d'étudier les caractéristiques acoustiques des différentes salles de classe de 5 établissements avec différentes techniques de mise en œuvre en terre crue. Cependant, dans la totalité des cas, des traitements pour l'amélioration des conditions acoustiques des salles ont été apportés principalement aux plafonds. L'apport réel de la terre crue dans les conditions acoustiques de la pièce est difficilement estimable. Idéalement, il aurait été intéressant de mesurer les propriétés acoustiques d'une même salle de classe avec et sans terre et observer ainsi l'éventuel contribution des éléments en terre. Face à l'impossibilité de ce cas de figure pour les écoles, nous avons décidé d'étudier les variations possibles par le biais de la simulation.

Dans un premier temps, nous avons cherché à rapprocher le modèle géométrique des deux salles de classe, que nous avons pu étudier sans mobilier, aux mesures prises in situ (temps de réverbération). Dans un deuxième temps avec les deux modèles géométriques et les paramètres acoustiques établis, nous apportons des variations sur les surfaces des pièces à partir des mesures d'absorption obtenues in situ et avec le tube de Kundt.

4.2.1.7.1 Les données réelles

Dans cette première partie nous présentons les modèles obtenus et ses caractéristiques pour la salle de classe 7 (Bouvron) et la salle de classe 2 (Baulon) (3.2.2.5.1).

4.2.1.7.1.1 École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44

Dans la salle de classe 7 de l'école de Bouvron (3.2.2.5.1.1), un total de 12 matériaux différents sont identifiés[31] (Figure 135). Dans le Tableau 36 l'ensemble des valeurs de coefficient d'absorption utilisés dans le modèle de CATT-Acoustic sont résumées (voir l'annexe 5.1 pour plus de détail). Celles-ci sont obtenues à partir de la révision bibliographique et des mesures des coefficients d'absorption in situ.

Figure 135 Matériaux identifiés - Bouvron.

Typologie des parois :		
Mur de façade : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **<18 15 08 06 06 06>** Dispersion : **<10 10 10 10 20 20>**	Mur séparatif en terre crue : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 08 09 13 12 13 13>** Dispersion : **<10 10 10 10 20 20>**	Mur séparatif en placo : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **<18 15 08 06 06 06>** Dispersion : **<10 10 10 10 20 20>**
Typologie des plafonds :		
Plafond (3,05m) : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **<60 50 50 65 85 90>**	Plafond (2,55m) : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **<35 35 50 60 75 90>**	Plafond (2,55m) - Toilettes : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **<30 75 90 80 90 85>**
Autres surfaces :		
Sol (Linoléum sur chape) : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 02 02 03 03 04 04 >**	Double vitrage avec profil métallique : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 25 12 08 06 04 02 >** Dispersion : **<52 26 13 07 20 20>**	Porte intérieure (en bois) : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 14 10 06 08 10 10 >** Dispersion : **<10 10 10 10 20 20>**
Liège sur placo : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **<18 15 08 06 06 06>** Dispersion : **<10 10 10 10 20 20>**	Radiateur en métal : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **<10 10 06 06 06 06 >** Dispersion : **<98 62 31 16 08 04>**	Tableau blanc : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **<20 18 20 08 04 15 >**

Tableau 36 Coefficients d'absorption utilisés (voir l'Annexe 5 pour plus de détail) – Bouvron.

[31] Dans les simulations sur CATT-Acoustic les modèles géométriques sont simplifiés. Seules les surfaces principales qui auront une vraie implication sur l'acoustique de salle sont représentées. Par exemple toutes les plinthes ou les cadres des portes ne sont pas représentés.

Dans le comportement du son dans une salle, il ne faut pas non plus négliger l'apport par dispersion. À ce propos, CATT-Acoustic offre la possibilité de l'estimer en fonction de la dimension de l'élément. Les matériaux comme le verre ou les radiateurs sont marqués avec le symbole « * » pour calculer leur dispersion selon leurs surfaces. Dans le cas du verre ces valeurs ont été augmentées en hautes fréquences afin de prendre en compte la dispersion apportée par le profil métallique et en bois du vitrage. Les autres matériaux ont la dispersion de 10% par défaut. Cependant, les valeurs en hautes fréquences des surfaces horizontales ont été augmentées à 20% dans les bandes de fréquences de 2000Hz et 4000Hz, afin de prendre en compte les détails qui ne sont pas modélisés (comme plinthe, profils, etc.).

Le calage du modèle de CATT-Acoustic avec la réalité est réalisé à partir du temps de réverbération (T30) (Figure 136). Nous observons un comportement similaire entre le temps de réverbération mesuré et celui calculé par le programme à partir du lancé des rayons (TUCT - The Universal Cone Tracer)[32] et les coefficients spécifiés (Tableau 36). Il est intéressant d'observer que dans la salle de classes qui possède une absorption non homogène, peu de dispersion et une géométrie non mélangeante, les calculs à partir de l'équation de Sabine ou Eyring ne s'accordent pas à la réalité (Figure 136). Par l'éloignement de l'équation Sabine, le calcul de T30 par lancer de rayons (TUCT) est calculé par l'algorithme 2 du programme de CATT-Acoustic.

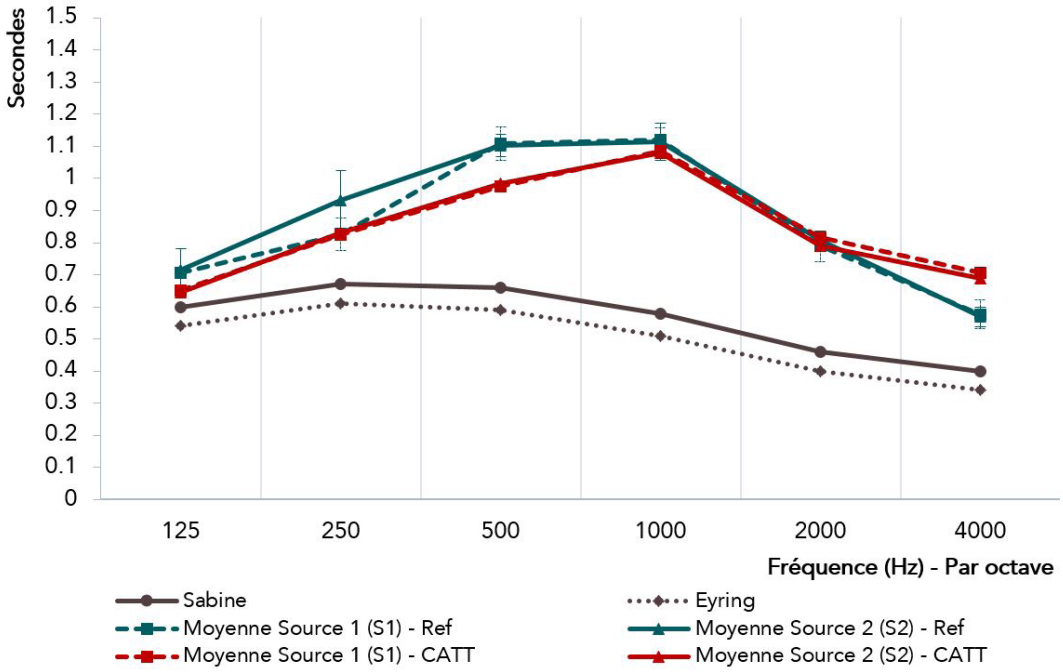


Figure 136 Temps de réverbération mesuré in situ et calculé sur CATT- Acoustic – Bouvron.

[32] Lanceur Universel de Cônes Acoustiques.

4.2.1.7.1.2 École publique les Lucioles – Baulon 35

Dans la salle de classe 2 de l'école de Baulon (3.2.2.5.1.2), un total de 8 matériaux différents sont identifiés (Figure 137). Dans le Tableau 37, l'ensemble des valeurs de coefficient d'absorption utilisés dans le modèle de CATT-Acoustic sont résumées (voir l'annexe 5.2 pour plus de détails). Comme à Bouvron, celles-ci sont obtenues à partir de la révision bibliographique et des mesures des coefficients d'absorption in situ.

Figure 137 Matériaux identifiés – Baulon.

Typologie des parois :		
Mur de façade – finition placo : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **<18 15 08 06 06 06>** Dispersion : **<10 10 10 10 20 20>**	Mur séparatif en terre crue : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 40 40 46 45 46 49>** Dispersion : **<10 10 10 10 20 20>**	Mur séparatif – structure bois : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **<10 10 10 09 12 07>**
Typologie des plafonds :	Mobilier fixe :	
Plafond : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **<40 100 100 100 94 82>**	Évier : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 10 10 06 06 04 04 >**	
Autres surfaces :		
Sol (Linoléum sur chape) : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 02 02 03 03 04 04 >**	Double vitrage avec profil métallique : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 25 12 08 06 04 02 >** Dispersion : **<10 10 10 10 10 10>**	Porte intérieure (en bois) : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 14 10 06 08 10 10 >**

Tableau 37 Coefficients d'absorption utilisés (voir l'Annexe 5 pour plus de détails) – Baulon

Le même procédé est utilisé pour la classe de Baulon. À partir du lancé des rayons (TUCT - The Universal Cone Tracer) et des coefficients spécifiés (Tableau 37) le T30 est calculé et comparé avec celui mesuré in situ. On observe un comportement similaire même si avec un décalage vers les bandes d'octave de 1000Hz, 2000Hz et 4000Hz (Figure 138). Comme à Bouvron les calculs à partir de l'équation de Sabine ou Eyring ne s'accordent pas à la réalité.

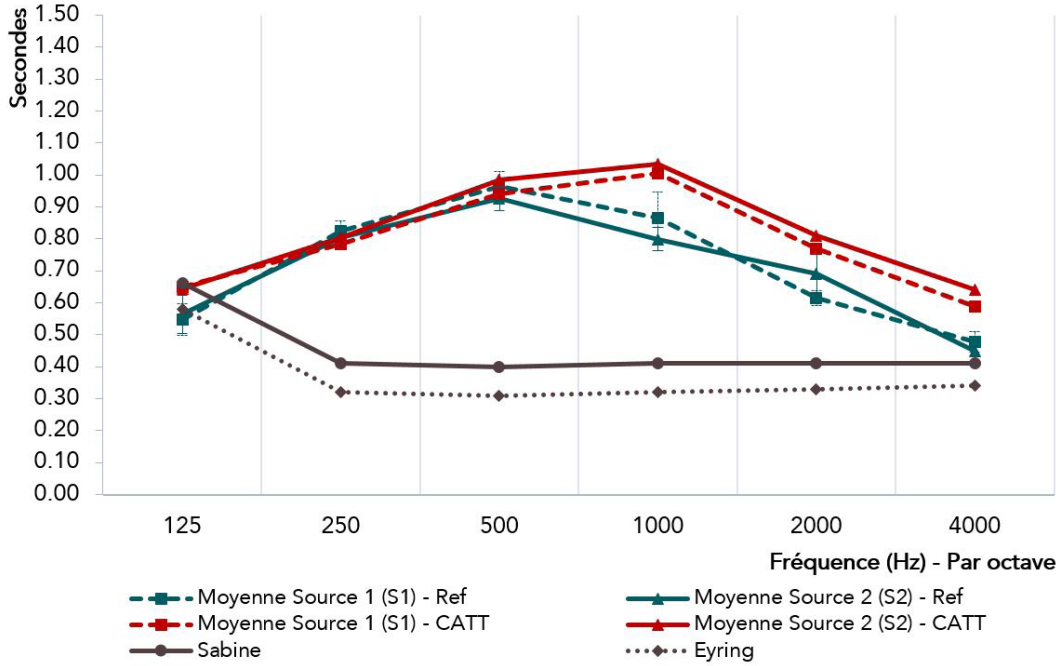


Figure 138 Temps de réverbération mesuré in situ et calculé sur CATT- Acoustic – Baulon.

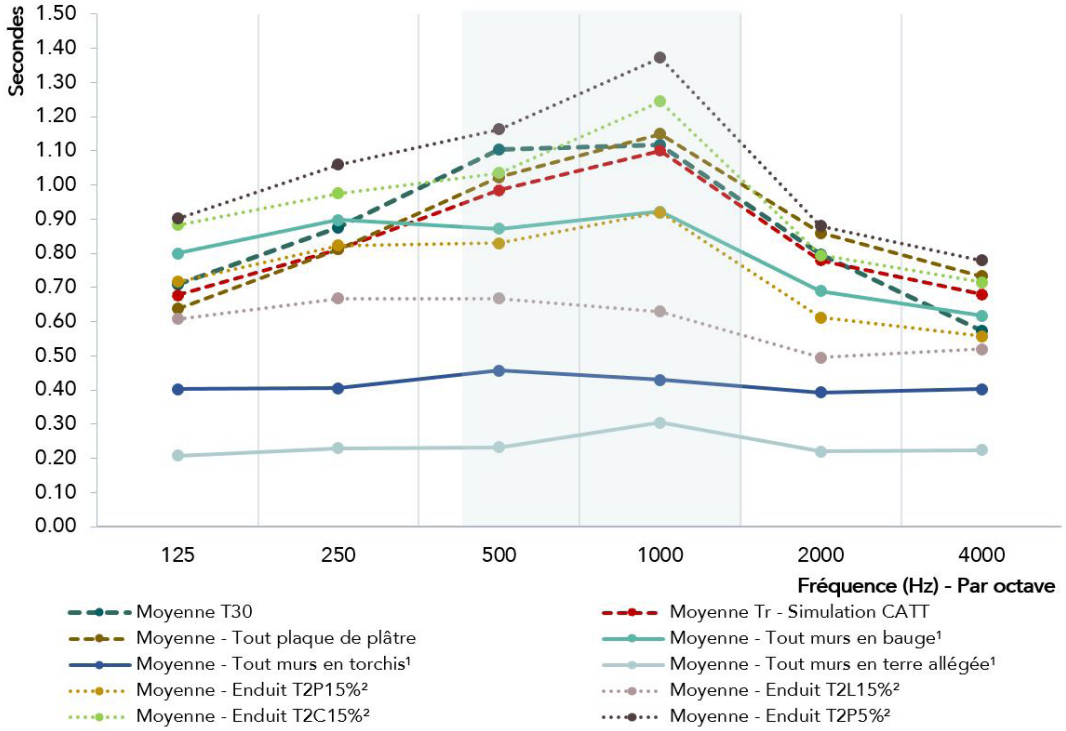
4.2.1.7.2 Changement des caractéristiques des parois sur CATT - Acoustics

Sur les modèles des deux salles de classe initiaux, conformes à la réalité, nous avons apporté des modifications sur les différentes parois. Concrètement, les coefficients d'absorption des modèles initiaux sont remplacés par des coefficients obtenus in situ et dans le tube de Kundt. Par cette manipulation nous cherchons à identifier le comportement acoustique des salles de classe si une autre technique de mise en œuvre en terre avait été employée. La comparaison est réalisée avec le temps de réverbération.

4.2.1.7.2.1 École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44

Dans un premier temps, nous simulons le comportement de la salle de classe sans terre crue et donc avec la totalité des parois en plaques de plâtre (Figure 139). Selon les calculs du logiciel, il y a une légère augmentation du temps de réverbération. Dans cette salle de classe seuls 13% de l'ensemble des surfaces verticales sont en terre crue et les autres parois étaient déjà en plaque de plâtre, donc la légère augmentation est cohérente. Cependant, selon la simulation, si la salle de classe avait été construite dans son intégralité avec des murs en bauge ou un enduit terre-fibre (15% de paille) avait été appliqué sur l'ensemble des surfaces verticales, une baisse de la réverbération au-delà de la bande de 500Hz aurait peut-être eu lieu (Figure 139). Compte tenu des valeurs d'absorption de la bauge et de l'enduit avec 15% de paille, les deux mises en œuvre ont un comportement plus réfléchissant qu'absorbant (coefficients d'absorption inférieurs à 0,20). Toutefois, il est intéressant d'observer que même avec cette « faible » absorption les répercussions sur les paramètres acoustiques de la salle ne sont pas négligeables et surtout pour les fréquence moyennes. Les techniques de mise en œuvre plus poreuses comme le torchis ou la terre allégée produisent une drastique descente du temps de réverbération dans toutes les bandes de fréquences y compris dans les médiums (Figure 139). Cela rejoint les mesures réalisées in situ dans

la bibliothèque de Baulon où une constance dans toutes les bandes avait été également mesurée (Figure 96). La simulation nous a permis également d'observer que l'application des enduits peu fibrés et lisses peut également favoriser la réflexion (Figure 139). Donc finalement, il semblerait que nous sommes face un matériau qui, selon comment il est travaillé et mis en œuvre, favorise l'absorption ou la réflexion et souvent pour tout le spectre des fréquences.



¹ Valeurs obtenues in situ l ²Valeurs obtenues dans le tube de Kundt

Coefficients d'absorption utilisés :

Plaque de plâtre : <18 15 08 06 06 06>	*Murs en bauge : <08 09 13 12 13 13>*
Murs en torchis : < 40 40 46 45 46 49>	*Murs en terre allégée : <90 90 93 95 89 88>*
Enduit T2- 15%paille : < 40 40 46 45 46 49>	*Enduit T2- 15%lin : < 40 40 46 45 46 49>*
Enduit T2- 15%chanvre : < 40 40 46 45 46 49>	*Enduit T2- 5%paille : < 40 40 46 45 46 49>*

Figure 139 Temps de réverbération (T30) calculé dans les simulations de CATT- Acoustique avec des valeurs du coefficient d'absorption in situ et dans le tube de Kundt – Bouvron.

Par la suite, nous avons réalisé un test de simulation avec les murs en torchis et en terre allégée mais en remplaçant l'absorption initiale des plafonds de <60 50 50 65 85 90> et <35 35 50 60 75 90> par une absorption plus faible de <20 15 10 08 04 02>. Avec les deux murs, les simulations sur CATT-Acoustic estiment un temps de réverbération inférieur à ceux mesurés in situ, sauf pour la bande de 4000Hz avec l'ensemble des murs en torchis qui est légèrement supérieure (Figure 140). Sans l'apport en absorption des plafonds, principalement en hautes fréquences, les valeurs du temps de réverbération montrent une augmentation vers les hautes fréquences. Les valeurs du temps de réverbération obtenues laissent entrevoir une hypothétique possibilité de ne pas utiliser des plafonds absorbants, dès lors que les murs peuvent apporter une absorption suffisante.

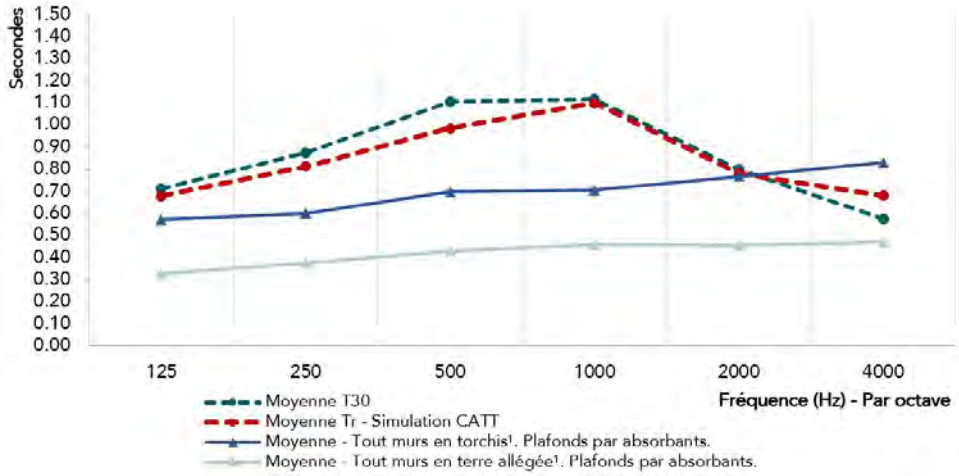
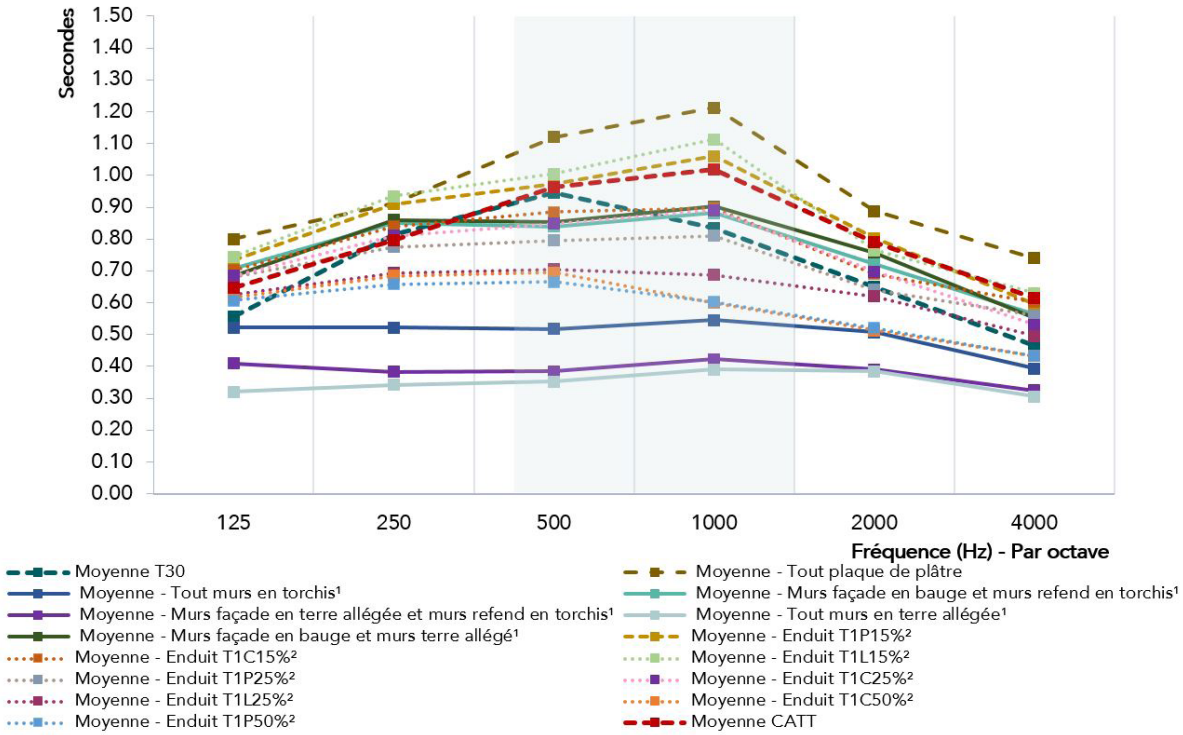


Figure 140 Temps de réverbération (T30) calculé dans les simulations de CATT- Acoustique sans correction aux plafonds. Coefficient d'absorption plafond : <20 15 10 08 04 02>. Bouvron

4.2.1.7.2.2 École publique les Lucioles – Baulon 35

Les résultats de temps de réverbération avec les variations introduites dans les simulations acoustiques de la salle de classe de Baulon sont similaires à celles de Bouvron. Les techniques de mise en œuvre avec des coefficients d'absorption plus hauts font baisser drastiquement le temps de réverbération y compris dans les bandes centrales (Figure 141), bien que cette fois l'écart avec les valeurs réelles mesurées soit inférieur. Pour les enduits, selon la quantité de fibres ceux-ci ont un comportement plutôt réfléchissant ou absorbant. Par exemple, l'incorporation des enduits en terre avec 15% de fibres génère une hausse du temps de réverbération et pour les enduits avec 15% de paille et de lin, surtout dans la bande de 1000Hz (Figure 141). Les enduits plus chargés en fibre génèrent une baisse du temps d'absorption par l'apport d'absorption avec une basse plus prononcée vers les hautes fréquences.



[1] Valeurs obtenues in situ | [2]Valeurs obtenues dans le tube de Kundt

Coefficients d'absorption utilisés :

Plaque de plâtre : <18 15 08 06 06 06>	Murs en bauge : <08 09 13 12 13 13>
Murs en torchis : < 40 40 46 45 46 49>	Murs en terre allégée : <90 90 93 95 89 88>
Enduit T1-15%paille : <06 07 08 05 05 07>	Enduit T1-15%chanvre : <09 10 11 11 16 07>
Enduit T1-15%lin : <05 06 07 03 08 04>	Enduit T1- 25%paille : <12 13 14 14 16 09>
Enduit T1-25%chanvre : <11 12 13 12 16 17>	Enduit T1-25%lin : <19 20 21 26 25 22>
Enduit T1-50%chanvre : <17 18 19 36 45 36>	Enduit T1-50%paille : <19 20 21 39 49 39>

Figure 141 Temps de réverbération (T30) calculé dans les simulations de CATT- Acoustique avec des valeurs du coefficient d'absorption in situ et dans le tube de Kundt – Baulon

Comme dans le cas de Bouvron, nous avons voulu étudier le comportement acoustique de la salle sans plafonds absorbants et les murs avec les meilleurs valeurs d'absorption. Les résultats des simulations montrent peu de variation en fonction de la fréquence, seulement une légère augmentation du temps de réverbération jusqu'à la bande de 1000Hz suivie d'une légère diminution (Figure 142). Si nous comparons les simulations avec les mesures in situ, l'écart est moindre que celui obtenu dans le cas de figure précédent sans le changement de l'absorption des plafonds (Figure 141). Les valeurs de temps de réverbération sont de 20 à 30% plus élevés que pour ces mêmes propositions de murs avec de l'absorption aux plafonds.

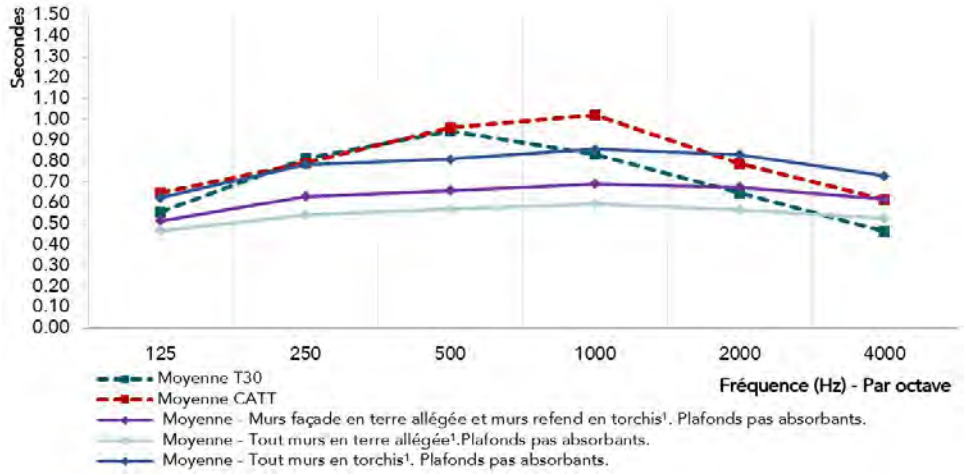


Figure 142 Temps de réverbération (T30) calculé dans les simulations de CATT- Acoustique sans correction aux plafonds. Coefficient d'absorption plafond : <20 15 10 08 04 02>. Baulon.

Le cas de Baulon vient confirmer la versatilité de la terre crue et comment, selon sa mise en œuvre, celle-ci peut venir renforcer soit l'absorption soit la réflexion de la pièce.

4.2.1.7.3 Résumé des données obtenues – Simulation acoustique

Les simulations nous ont permis de renforcer l'hypothèse de l'influence de la mise en œuvre de la terre crue sur le comportement acoustique des salles. Car selon la technique de mise en œuvre employée pour les murs verticaux, la présence de la terre crue peut favoriser la baisse du temps de réverbération ou même, les techniques avec un état de surface plus homogène et lisse peuvent apporter de la réflexion et se répercuter sur la hausse du temps de réverbération.

L'autre fait souligné avec la simulation est l'importance de la diffusion sur le comportement acoustique des salles. Pendant le réglage des modèles de nos deux salles de classe avec le comportement acoustique mesuré in situ, l'incorporation de la diffusion s'est avéré essentiel.

4.2.2 Approche sensible

Pour l'étude des ambiances sonores et plus concrètement la partie concernant la perception, l'emploi du langage comme moyen d'expression observable est récurrent (Lavandier et Raimbault, 2011). Auprès des adultes, plusieurs techniques d'enquête sollicitant le langage sont déployées, par exemple les questionnaires, ou différents modes d'entretiens entre autres (Lavandier et Raimbault, 2011; Marry, 2011). Mais dans le cas des établissements scolaires, la différence de compétence et de maitrise de la langue entre adultes et enfants requiert une distinction méthodologique (Eapbx, 2002). L'enquête auprès des adultes (les travailleurs des établissements scolaires mais aussi les parents d'élèves) est élaborée à partir des questionnaires et de l'entretien. Néanmoins le jeune âge des enfants (maternelle et élémentaire), mène au développement d'autres méthodologies d'enquête moins focalisées sur l'emploi du langage et l'expression écrite, comme par exemple l'utilisation de la représentation graphique ou des interfaces numériques.

La totalité des étapes de l'approche sensible de l'enquête ici présentée (adultes et enfants) sont mises à l'épreuve dans l'école publique Félix Leclerc à Bouvron et l'école publique les Lucioles à Baulon. Dans les écoles de Fégréac et de Mouais la première partie de l'enquête par questionnaire les travailleurs de l'école sont également sollicités.

Le début de l'enquête sensible dans les établissements scolaires a coïncidé avec le déclenchement de la pandémie mondiale de la COVID. Ce fait a eu des conséquences directes sur le déroulement du travail d'enquête. Dans un premier temps la fermeture totale des écoles pendant plusieurs mois en 2020 a obligé à reporter le travail démarré en janvier 2020 à la rentrée de septembre 2020-2021. L'adaptation aux nouvelles normes et protocoles sanitaires a également ralenti le rythme de travail et prolongé les travaux pendant un an et demi au lieu des six mois initialement prévus.

Pendant ces deux longues années de pandémie, les enseignants et les élèves ont accumulé une importante fatigue et des perturbations importantes sur le déroulement habituel de leurs travaux. Le manque de temps mais également d'énergie de la part des enseignants s'est traduit, dans une certaine mesure, par un manque de réactivité vis-à-vis des sollicitations réalisées pour cette thèse. La situation a également empêché le développement plus poussé de certaines questions, comme par exemple la réalisation des entretiens ou des ateliers plus focalisés sur l'ambiance sonore. Les conséquences de la pandémie ont également conditionné certaines réponses des parents aux questionnaires mais a aussi empêché l'accès aux bâtiments de plusieurs d'entre eux. Par exemple, à Baulon parmi les 46% des parents ayant répondu au questionnaire, 32% n'avaient pas eu l'occasion de rentrer dans la classe de leurs enfants et à Bouvron 9% des parents.

Donc même si nous aurions souhaité aller plus loin sur certaines questions, dans cette partie nous exposons les retours récoltés des parents, des travailleurs et des élèves.

4.2.2.1 Les usagers – Les retours sur le ressenti et la présence de la terre crue

4.2.2.1.1 Les parents d'élèves

Des questionnaires ont été distribués aux familles de l'école de Bouvron et Baulon, seulement aux familles ayant des enfants dans les bâtiments de l'école avec de la terre crue : c'est à dire,

les parents des élèves de maternelle, CP et CE1 de l'école de Bouvron et les parents des élèves des classes de CE2, CM1 et CM2 à Baulon. Nous avons obtenu 51% des retours des familles de Bouvron et 46% de Baulon.

L'ensemble des valeurs analysées sur l'ambiance ressentie sont présentées dans l'annexe 7.1.3.

4.2.2.1.1.1 Type et qualité d'habitat face au ressenti

Grâce aux questions de la troisième section du questionnaire (Figure 69) certaines des caractéristiques des logements et l'environnements quotidien des familles sont obtenues (l'annexe 7). À Bouvron, plus de la moitié des familles habitent en campagne (57%) et à Baulon ce chiffre est de 40%. Dans ce dernier cas, un plus grand nombre de familles (44%) habitent dans les bourgs des villages. À Bouvron, les familles habitant dans le bourg d'un village sont 29%. L'ensemble des familles, à l'exception de 3 familles de Bouvron habitant dans des habitats collectifs de moins de 6 logements et une dans un mobil-home, ont des maisons individuelles, soit isolée (57% à Bouvron et 76% à Baulon), soit avec des murs mitoyens (37,5% à Bouvron et 24% à Baulon). Autour de leurs maisons, dans les deux cas, il y a principalement des maisons individuelles (plus de 90%) ainsi que des espaces verts, des champs et des forêts. Dans le cas de Bouvron, un haut pourcentage des familles ont des routes (44%) ou des rues (30%) autour de leurs maisons. À Baulon, seulement 12% des familles déclarent avoir des routes autour de leurs maisons et 16% des rues. Donc à l'exception de deux familles de Bouvron habitant dans des habitats collectifs, la majorité des familles de Bouvron et Baulon habitent dans des environnements plutôt isolés et assez éloignés des sources de bruits, comme l'activité commerciale ou des bruits de voisinage importants. Les sources de bruits sont davantage associées à l'activité à agricole ou à l'éventuel passage routier (surtout à Bouvron).

En ce qui concerne la matérialité de leurs logements, la moitié des familles de Bouvron ont des matériaux naturels comme la pierre (50%) mais dans aucun cas des murs en terre crue. À Baulon, trois familles ont des murs en terre crue chez eux mais elles représentent seulement 12% du total des familles enquêtées. Souvent, la terre est mélangée à la pierre. Même si moins présente qu'à Bouvron, la pierre est également utilisée à Baulon (36%). En revanche, le matériau le plus utilisé dans les deux cas est le parpaing (52% à Bouvron et 48% à Baulon) (l'annexe 7).

Par rapport aux finitions des murs, presque 90% des familles ont des peintures (89% Bouvron et 88% Baulon). D'autres finitions comme les enduits sont également employés mais à plus petite échelle. Les plus couramment utilisés à Bouvron sont les enduits à la chaux (22%) et les enduits plâtre (16%) à Baulon. Deux familles de Bouvron et une famille de Baulon ont des enduits en terre crue (l'annexe 7).

Donc, en résumé la terre crue n'est pas un matériau très présent à Bouvron ni à Baulon, en tout cas pas dans les atmosphères de leurs logements. Les familles ont un plus grand contact avec les matériaux conventionnels comme le parpaing, la peinture ou le carrelage. Le rapport plus important à l'architecture vernaculaire et aux matériaux naturels est dû à la présence de la pierre. Cependant, les quelques familles qui ont de la terre crue chez elles, ne nomment pas directement la « terre crue » dans les questions qui suivent (partie 5 et 6 du questionnaire). Ces familles utiliseront plutôt des mots comme : « écologie (Id.101) », « naturel (Id.102) », « naturalité (Id.78) » ou « matériaux naturels

(Id.89) ». Cette observation interroge sur la place de « l'habitude » et la mise en avant des qualités et caractéristiques du matériau une fois que nous le connaissons.

En analysant l'ambiance ressentie dans le logement, nous n'observons pas de relation claire, dans aucun des cas d'étude, entre les réponses sur l'ambiance ressentie dans le logement et la situation ou les caractéristiques matérielles de celle-ci. L'échantillon reste assez limité pour une telle étude statistique et les réponses sur les ressentis dans les logements restent assez concentrées sur des jugements « assez (5) » ou « très agréables (6) » (avec 50% ou plus), donc sans beaucoup de variabilité dans les réponses (Figure 143 et Figure 144). Seules les valeurs sur l'acoustique montrent un peu plus de dispersion.

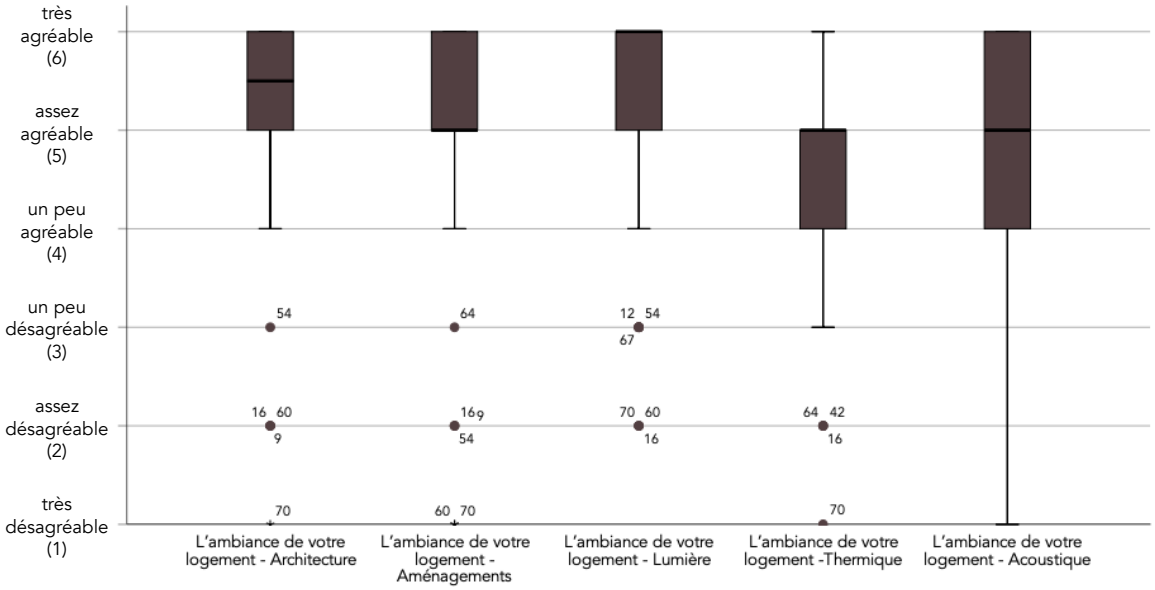


Figure 143 Réponses des parents des élèves de Bouvron à la question : L'ambiance de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti). Programme utilisé : SPSS statistics.

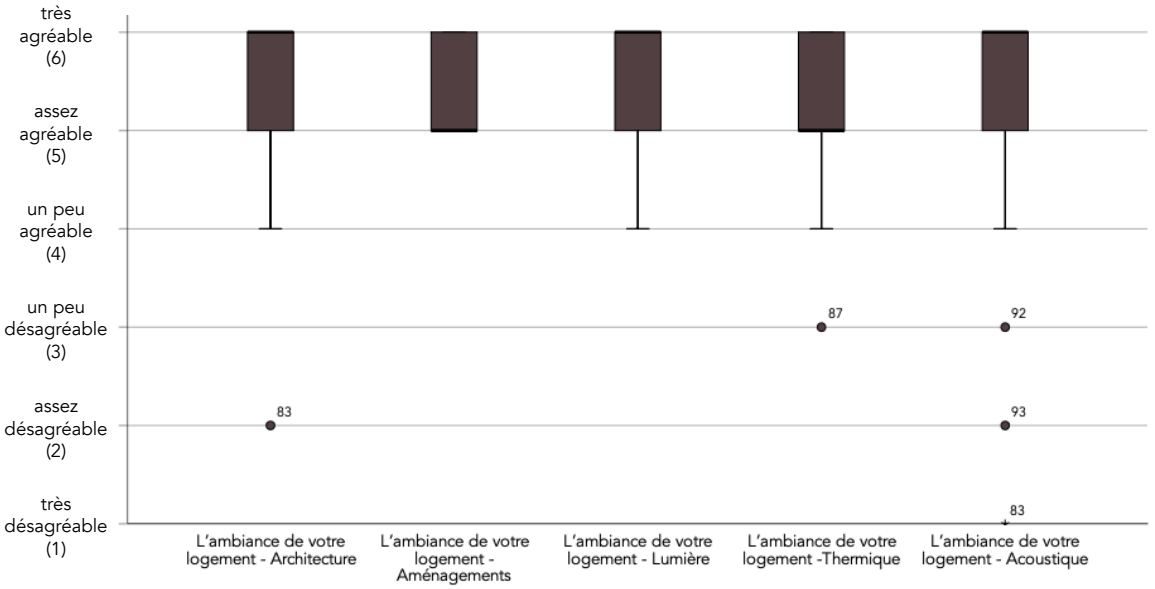


Figure 144 Réponses des parents des élèves de Baulon à la question : L'ambiance de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti). Programme utilisé : SPSS statistics.

À titre d'exemple, si nous croisons les données de l'évaluation du ressenti acoustique des logements avec l'emplacement de l'habitat des deux écoles, nous n'observons pas d'importantes variations (Tableau 38 et Tableau 39). À Bouvron, les jugements « très désagréable » sont plutôt portés par les parents habitant dans le bourg du village. Par la suite, les jugements moins positifs (« assez désagréable (2) », « un peu désagréable (3) » et « un peu agréable (4) ») ont une plus grande représentativité sur les parents habitant en campagne. Cependant, sur l'ensemble des retours recueillis, les parents habitant en périphérie, ont des jugements plus positifs sur l'acoustique de leur logement. Par exemple, 54,5% jugent l'ambiance sonore comme « assez agréable (5) » contre 43,6% en moyenne au total ou 36,4% « très agréable (6) » contre 30,8% en moyenne au total. Même ces observations ne sont pas assez nettes pour affirmer ou établir des tendances statistiquement représentatives. Les données sur le ressenti acoustique du logement, l'école et la classe ont été confrontées à des paramètres comme la situation, le type de logement ou la matérialité, mais sans résultat concluant (Annexe 7.1.2).

École Bouvron		Votre logement est situé			Total
		dans le bourg de ville /village	en périphérie ville /village	en campagne	
Ambiance de votre logement Sonore - Acoustique	très désagréable (1)	1	0	0	1
		4,8%	0,0%	0,0%	1,3%
	assez désagréable (2)	1	0	4	5
		4,8%	0,0%	8,7%	6,4%
	un peu désagréable (3)	0	0	3	3
		0,0%	0,0%	6,5%	3,8%
	un peu agréable (4)	3	1	7	11
		14,3%	9,1%	15,2%	14,1%
	assez agréable (5)	10	6	18	34
		47,6%	54,5%	39,1%	43,6%
	très agréable (6)	6	4	14	24
		28,6%	36,4%	30,4%	30,8%
Total – Votre logement est situé		21	11	46	**78**
		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tableau 38 Convergence entre les réponses des parents de Bouvron à la question : l'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et la situation de votre logement.

École Baulon		Votre logement est situé			Total
		dans le bourg de ville /village	en périphérie ville /village	en campagne	
Ambiance de votre logement Sonore - Acoustique	très désagréable (1)	1	0	0	1
		9,1%	0,0%	0,0%	4,0%
	assez désagréable (2)	0	0	1	1
		0,0%	0,0%	10,0%	4,0%
	un peu désagréable (3)	1	0	0	1
		9,1%	0,0%	0,0%	4,0%
	un peu agréable (4)	0	0	2	2
		0,0%	0,0%	20,0%	8,0%
	assez agréable (5)	3	2	2	7
		27,3%	50,0%	20,0%	28,0%
	très agréable (6)	6	2	5	13
		54,5%	50,0%	50,0%	52,0%
Total – Votre logement est situé		11	4	10	**25**
		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tableau 39 Convergence entre les réponses des parents de Baulon à la question : l'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et la situation de votre logement.

4.2.2.1.1.2 Le transport et le jugement sonore

Dans le quotidien, 100% des familles de Bouvron utilisent la voiture comme moyen de transport, et probablement du fait de la proximité du centre bourg d'un plus grand nombre de familles, l'utilisation de la voiture est légèrement inférieure à Baulon (92%). À Baulon, un plus grand nombre de familles se déplacent à pied dans son quotidien (46%) contre 21% à Bouvron. D'autre part, le vélo est plus utilisé à Bouvron (12,5%) face à Baulon (4%). Le moyen de transport utilisé est principalement la voiture pour tous, donc il reste compliqué de trouver des paramètres objectivables à ces questions. En outre, comme pour les caractéristiques de l'habitat et de la matérialité, on ne retrouve pas de concordances significatives entre l'ambiance ressentie et les moyens de transport utilisés.

4.2.2.1.1.3 Relation entre le ressenti des logements et celui des écoles

Plus de 50% des jugements sur l'ambiance ressentie sont compris entre « très agréable (6) » et « assez agréable (5) » pour les deux cas d'études et pour l'ensemble des lieux évalués (logement personnel, école et la classe de leur enfant) (Figure 145 et Figure 146). Seuls les retours sur la thermique et l'acoustique des logements des parents de Bouvron, ainsi que l'acoustique de l'école et la classe de Baulon sont plus départagés. En résumé, à l'exception de certains cas isolés, les parents portent un jugement très favorable sur l'ambiance ressentie dans les trois environnements (logement, école et classe), la dispersion dans les retours est limitée.

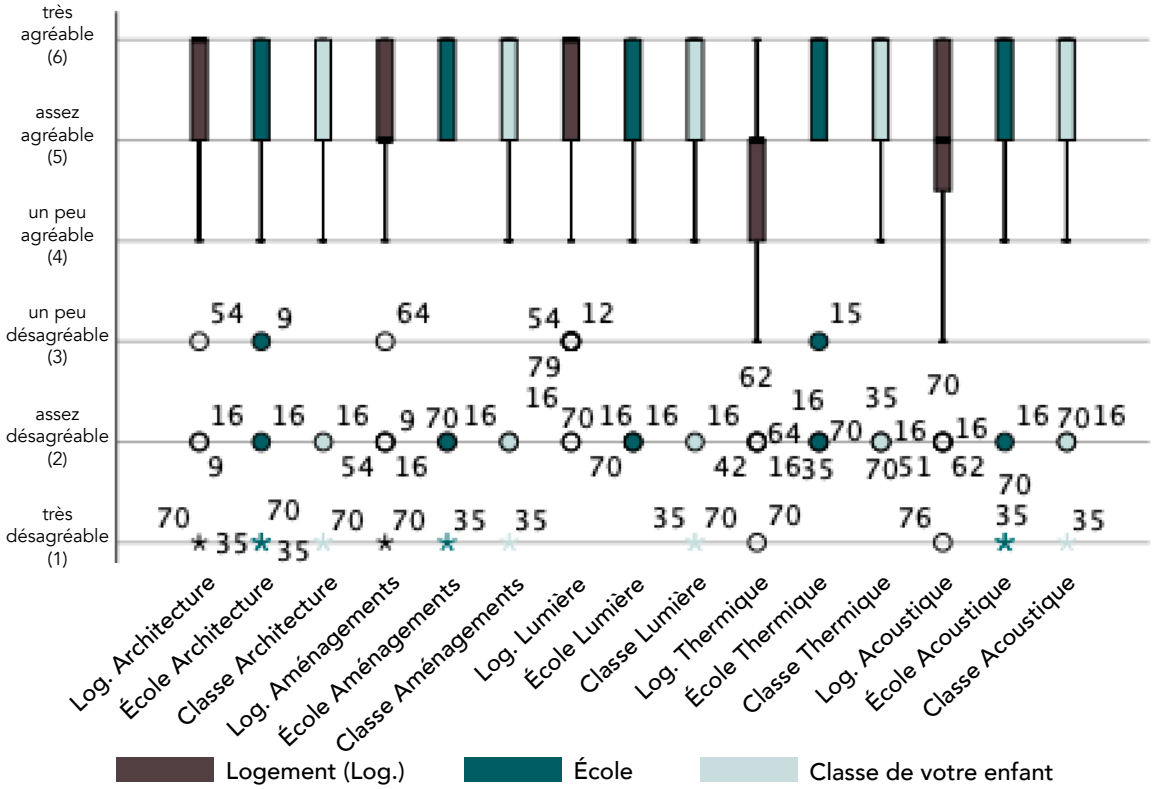


Figure 145 Retours de parents de Bouvron à la question : L'ambiance de votre logement/ de l'école / la classe de votre enfant vous paraît (du point de vue de votre ressenti). Selon les paramètres : La forme du bâtiment (architecture), les espaces intérieurs (aménagements), la lumière naturelle, la thermique (température) et l'acoustique (sons et bruits). Programme utilisé : SPSS statistics.

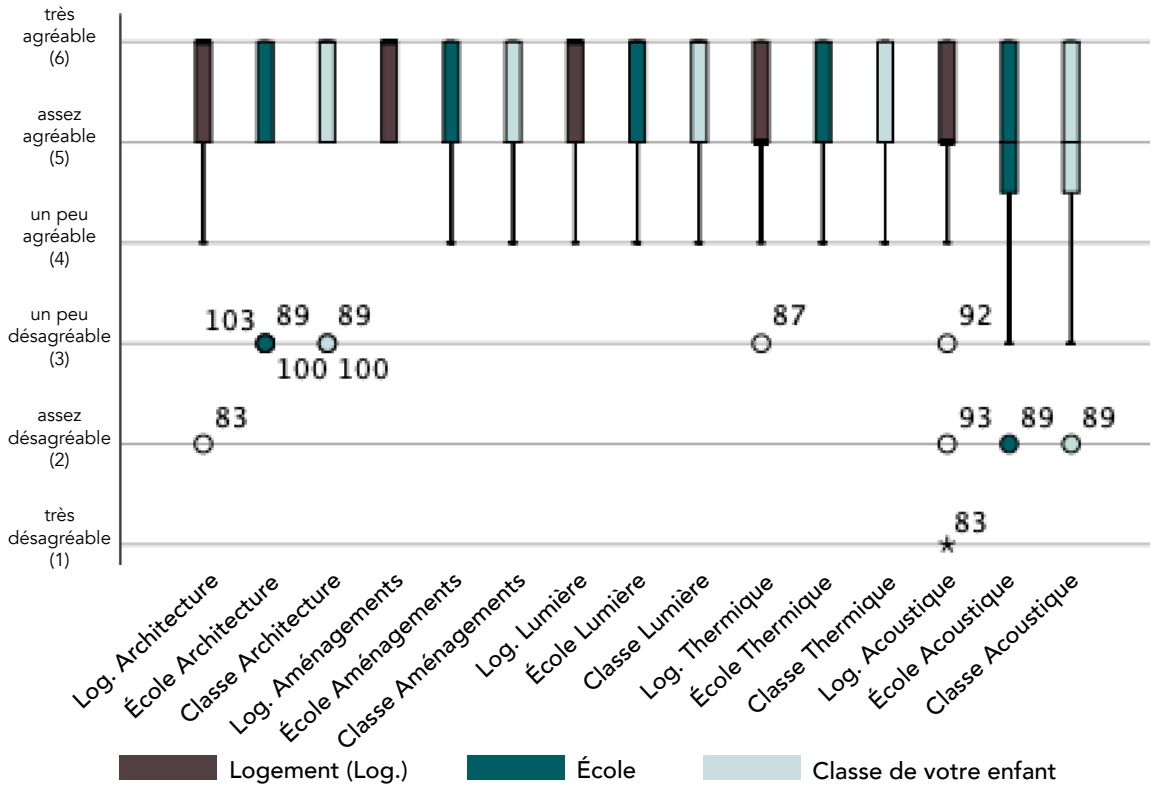


Figure 146 Retours de parents de Baulon à la question : L'ambiance de votre logement/ de l'école / la classe de votre enfant vous paraît (du point de vue de votre ressenti). Selon les paramètres : La forme du bâtiment (architecture), les espaces intérieurs (aménagements), la lumière naturelle, la thermique (température) et l'acoustique (sons et bruits) Programme utilisé : SPSS statistics.

D'autre part, la plupart des parents de Bouvron qui jugent l'ambiance de chez eux comme « très agréable (6) » ou « assez agréable (5) » ont des ressentis similaires sur l'école et la classe de leurs enfants. De façon générale, au moins 75% des parents jugent aussi « agréable » chez eux que l'école ou la classe (Figure 147). Cependant, 56% des parents jugent mieux le ressenti thermique de l'école que chez eux et 47% des parents jugent le ressenti acoustique également mieux à l'école. Le paramètre qui montre la baisse plus importante par rapport aux appréciations dans leurs logements, est l'aspect visuel-architecture.

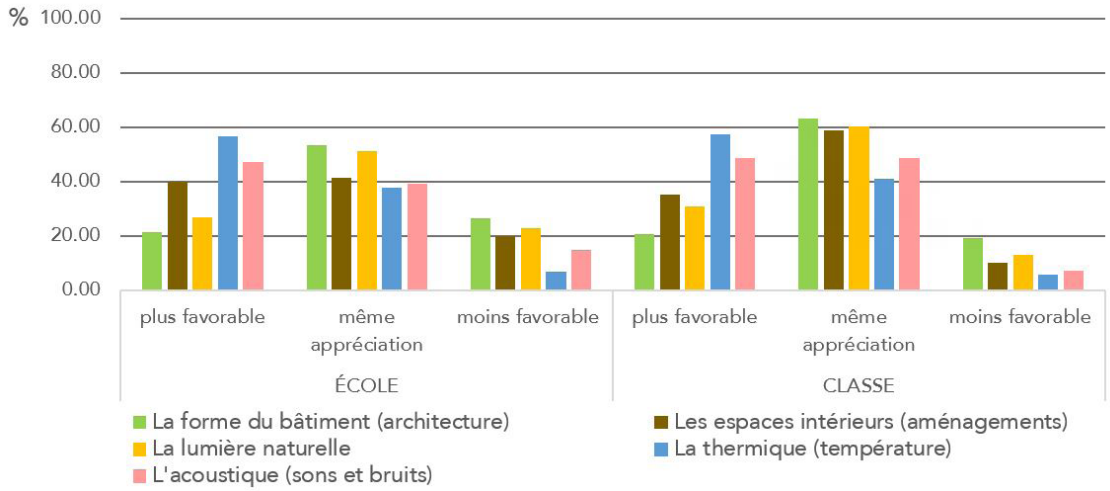


Figure 147 Différences entre les jugements des parents de Bouvron sur l'ambiance ressentie à l'école et en classe en comparaison avec le jugement de l'ambiance de leurs logements.

À Baulon, les appréciations moins favorables sur l'école par rapport à chez eux sont plus importantes surtout quant à l'aspect visuel-architecture (44%) et acoustique (41%) (Figure 148). Cependant, dans l'ensemble des paramètres, au moins 50% des parents jugent égale ou meilleure l'ambiance de l'école et de la classe de leur enfant que chez eux. La dispersion entre les réponses plus importante, déjà observée précédemment (Figure 146), repose sur les paramètres acoustiques. Donc, il apparaît que c'est sur cet aspect que les parents ont moins de consensus.

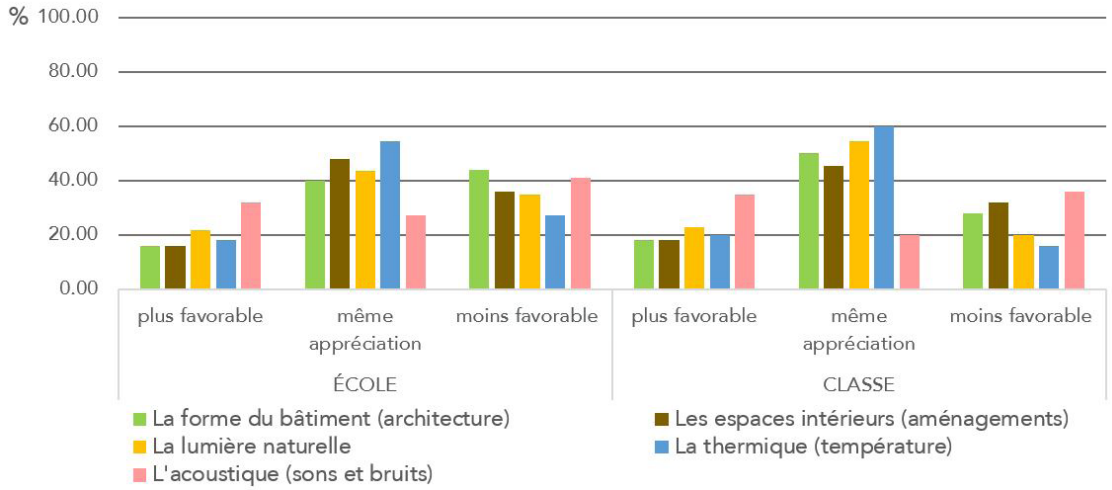


Figure 148 Différences entre les jugements des parents de Baulon sur l'ambiance ressentie à l'école et en classe en comparaison avec le jugement de l'ambiance de leurs logements.

4.2.2.1.1.4 La présence de la terre dans les mots des parents

Les parents d'élèves de Bouvron sont nombreux à relier la présence de la terre crue à des ambiances chaleureuses ou saines[33] ressenties lors de leur première visite du bâtiment. D'autres soulignent plutôt le côté naturel, écologique, etc.[34] des murs. L'ensemble des réponses a été résumé en mots-clés (Figure 149), où la notion d'**espace** prend le dessus par rapport aux autres concepts. La **terre crue** est seulement nommée en deuxième position. En revanche, quand les mots sont regardés en détail, nous observons des mots tels que : « matériaux naturels », « matériaux écologiques » ou « écologique » associés à la présence des murs en terre crue. La présence de la terre crue laisse aussi entrevoir une association entre le matériau terre et les ambiances générées avec des mentions comme : « atmosphère feutrée » ou « ambiance chaleureuse ».

*Figure 149 Synthèse des réponses des parents de l'école de Bouvron à la question : Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entrés à l'**école** ?*
Un total de 70 réponses sont récoltées.

[33] « Une ambiance chaleureuse créée par les murs en terre crue, de grands espaces (couloirs larges, classes…) (Id.01) » ou « Les murs en terre, une ambiance saine, une lumière naturelle, une inertie thermique (Id.06) ».

[34] « Les murs d'un matériau naturel (Id.35) », « Confort pour matériaux éco (Id.18) » ou « Grands espaces, bâtiments en matériaux naturels (Id.27) ».

À Bouvron, le côté « écologique » de la terre crue apparaît encore plus renforcé dans l'analyse de la question : « *Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'école ?* » où la notion « écologique » associée à l'emploi des matériaux naturels, et plus précisément de la terre crue, est évidente (Figure 150).

*Figure 150 Réponses des parents de Bouvron à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'**école** ?*
Un total de 71 réponses et 317 mots sont récoltés.

Pour faciliter la compréhension, les mots de la même famille ont été regroupés par un seul mot (en gras ci-dessous) :

***écologique** /écologie /écolo / durable / biomasse / éco-conception / éco-construction | **espace** / spacieuse /spacieux | **grand** /grande / grande classe / grand espace | **nature** /naturel / naturelle | **sécurité** /sécurisant /sécurisé | **chaleureux** / chaleureuse /chaleur | **terre** / murs en terre / terre crue / terre cuite / terre paille | **cantine** /cantine bio | enfant /enfants | **lumineux** / lumineuse / lumière | **éducation** / éducation nationale | **sain** /saine.*

Seuls les mots répétés au moins 3 fois ont été représentés dans le nuage.

Cependant, lorsque la même question est posée sur la classe de leurs enfants, les mots changent. Ils mettront plutôt en avant « l'espace » et « la lumière »[35] (Figure 151). Les références directes à la terre crue et/ou ses particularités sont moins présentes, à l'exception des grottes en terre des classes de maternelles qui sont nommées par plusieurs parents[36].

*Figure 151 Synthèse des réponses des parents de l'école de Bouvron à la question : Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entrés dans la **classe** de votre enfant ?*
Un total de 59 réponses sont récoltées.

Les notions sur « l'espace », la « grandeur » ou la « lumière » des classes sont encore plus renforcées avec les réponses des parents à la question : « *Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à la classe de votre enfant?* » (Figure 152). Même si moins nommées, d'autres notions telles que : « agréable », « chaleureuse » ou « accueillante » qualifiant davantage le ressenti dans la classe, sont également utilisées.

[35] « La disposition des espaces et leur ergonomie (Id.02) », « Belle conception, environnement agréable, l'espace équilibré (Id.24) », « Beaucoup de lumière naturelle (Id.55) » ou simplement « Lumineuse, spacieuse (Id. 05) ».

[36] « La grotte! L'espace ou l'enfant peut s'isoler en cas de besoin. Collectivité, c'est bien mais nous avons besoin de nous retrouver seuls parfois (Id.77) » ou « La grotte qui se trouve dedans (Id.10) ».

*Figure 152 Réponses des parents de Bouvron à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à la **classe** de votre enfant ?*
Un total de 60 réponses et 257 mots sont récoltés.

Pour faciliter la compréhension, les mots de la même famille ont été regroupés par un seul mot (en gras ci-dessous) :

***lumineuse** / lumineux / lumière /luminosité | **spacieuse** / espace / espaces / spacieux | **grande** /grand | **chaleureuse** / chaleureux | **accueillante** / accueillant | **adaptée** / adapté | **sécurité** /sécurisante /sécurisé | **organisée** /organiser | **propre** / propretés | **rangée** / ranger.*

Seuls les mots répétés au moins 3 fois ont été représentés dans le nuage.

À Baulon, en ce qui concerne les retours sur l'école, les parents ont tendance à faire référence au préau et à sa grandeur[37] (Figure 153). Les références au préau ne semblent pas surprenantes en soit, car la nouvelle construction est composée d'un grand préau. De plus, le nouveau bâtiment ne comporte pas d'espaces de circulation et l'accès aux classes se fait directement depuis la cour de récréation (Figure 154). Même si moins courante que dans l'école de Bouvron, l'évocation aux murs en terre crue est présente : « l'originalité des murs intérieurs (Id.99) » ou « des murs en terre (Id.94) ». D'autre part, certains parents font référence à l'ambiance apaisante[38] générée par le côté naturel des matériaux comme le bois et la terre.

*Figure 153 Synthèse des réponses des parents de l'école de Baulon à la question : Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entrés à l'**école** ?*
Un total de 20 réponses sont récoltées.

Pour faciliter la compréhension, les mots de la même famille ont été regroupés par un seul mot (en gras ci-dessous) :

***préau** / la grandeur du préau / le préau très grand / grand préau / le préau avec les espaces paysages | **des murs en terre** / les murs / l'originalité des murs intérieurs | **belle** architecture / belle école / beauté | sensation d'**espace** / spacieuse.*

[37] « La grandeur du préau (Id. 79) » ou « « Le préau avec les espaces paysages dans la cour (Id.92) ».
[38] « J'ai trouvé l'ambiance apaisante pour une école (Id.88) ».

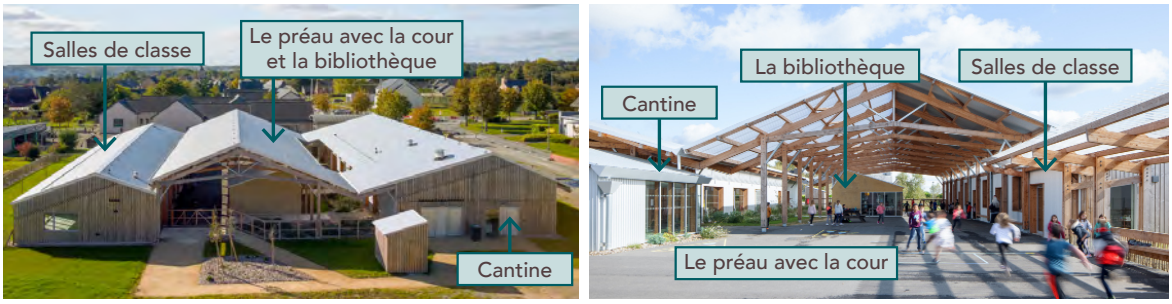


Figure 154 Espaces de l'école de Baulon. Crédit photos : Collectif Faro.

Cependant les références au préau ne sont pas présentes quand les 5 mots sont demandés (*Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'école ?*). Dans ce cas, c'est l'espace qui prend le dessus (Figure 155). Malgré les précisions apportées dans le questionnaire de se focaliser sur l'espace construit, et non sur d'autres notions de l'école, nombreux parents abordent des notions comme : maîtresse, copains, récréation, travail, enfants, etc., (Figure 155). Dans le cas de cette école, les références à l'écologie sont beaucoup moins présentes que dans l'école de Bouvron.

*Figure 155 Réponses des parents de l'école de Baulon à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'**école** ?*
Un total de 21 réponses et 81 mots sont récoltés.

Pour faciliter la compréhension, les mots de la même famille ont été regroupés par un seul mot (en gras ci-dessous) :

***copains** / copain / amis | **enfants** / enfance | **maîtresse** / instituteur / professeur | **cour de récréation** / récréation | **original** / originale.*

Or, quand les questions sont focalisées sur la classe, « **la terre** » est une évidence, suivie par des références à « l'espace » mais également l'important « volume » de par la hauteur des plafonds (Figure 156). La présence de la terre est parfois associée à des sensations « agréables » ou mise en valeur par son côté « naturel »[39].

*Figure 156 Réponses des parents de l'école de Baulon à la question : Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entrés dans la **classe** de votre enfant ?*
Un total de 17 réponses sont récoltées.

Pour faciliter la compréhension, les mots de la même famille ont été regroupés par un seul mot (en gras ci-dessous) :

***espace** / classes spacieuses / beaucoup espace | **mur en terre** / murs / murs originaux | **grandeur** / grande classe | **hauteur** plafond / plafond haut | **agréable** /agréable avec les murs en terre / j'ai eu une impression agréable de par le naturel des matériaux | **chaleureux** /chaleureux mur en terre.*

[39] Comme par exemple : « Les murs en terre, j'ai eu une impression agréable, de par le naturel des matériaux (Id.87) », « Les murs en terre – Naturel (Id.91) » ou « Agréable avec les murs en terre (Id.92) ».

Quand des mots sont demandés, les références à la « lumière » sont plus importantes (Figure 157). L'espace et des notions associés (comme « grande » ou « petite ») sont encore une fois assez récurrents et la terre, même si toujours présente, est moins mise en avant. Cependant, nous observons des rappels à la « nature » et « naturelle » mais aussi « l'écologie » associés à la terre crue.

*Figure 157 Réponses des parents de l'école de Baulon à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à la **classe** de votre enfant ?*
Un total de 15 réponses et 57 mots ont été récoltés.

Pour faciliter la compréhension, les mots de la même famille ont été regroupés par un seul mot (en gras ci-dessous) :
***lumière** / lumineuse / lumineux | **nature** / naturelle | **apprentissage** / étude | **maîtresse** / instituteur.*

4.2.2.1.2 Les travailleurs de l'école

Deux questionnaires ont été distribués aux travailleurs des 4 écoles, un plus général et un autre plus focalisé sur l'ambiance sonore et les qualités acoustiques (3.3.2.1.1.2). À l'exception de Mouais, les 3 autres écoles ont plusieurs bâtiments et la terre crue est présente seulement dans un des eux. À Bouvron[40] et Fégréac, la terre se trouve dans le bâtiment de maternelle et à Baulon dans le bâtiment avec les classes de niveaux CE2, CM1 et CM2. Le taux de réponse des travailleurs des bâtiments avec de la terre crue sont assez satisfaisants, sauf pour l'école de Fégréac où seulement un travailleur a répondu au questionnaire (Tableau 40). Cependant, les retours des questionnaires plus focalisés sur l'ambiance sonore sont moins nombreux car seuls les travailleurs des écoles de Bouvron et Baulon ont répondu et en moindre mesure (Tableau 40).

Les tableaux et les informations complémentaires sur l'analyse des retours des travailleurs sont présentés dans l'annexe 7.2.

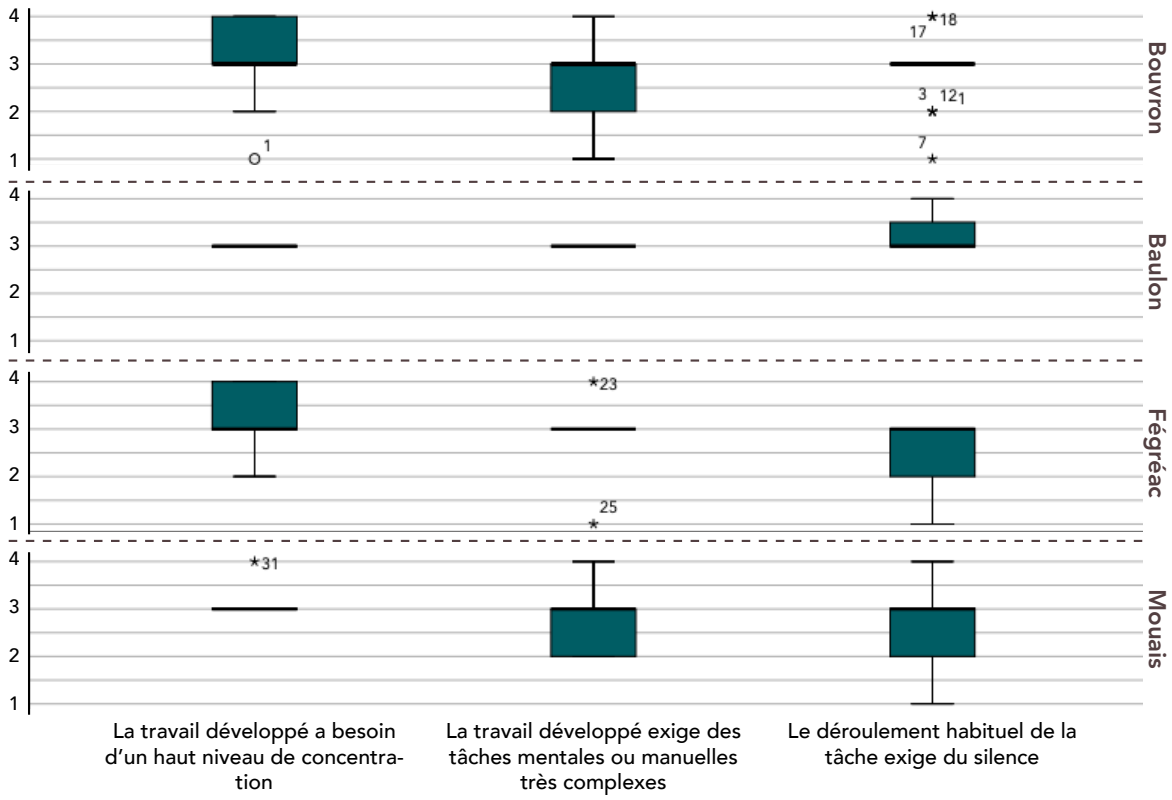
École	Type de questionnaire	Travailleurs du bâtiment avec de la terre crue		Travailleurs du bâtiment sans de la terre crue		Travailleurs des deux bâtiments	
		Total de travailleurs	Retours	Total de travailleurs	Retours	Total de travailleurs	Total de travailleurs
Bouvron	Général	14	13 (93%)	7	3 (43%)	2	2 (100%)
	Acoustique	14	11 (79%)	7	1 (14%)	2	1 (50%)
Baulon	Général	3	3 (100%)	Non sollicités		-	-
	Acoustique	3	2 (67%)	Non sollicités		-	-
Fégréac	Général	4	1 (25%)	4	4 (100%)	-	-
	Acoustique	Pas de retour		Pas de retour		-	-
Mouais	Général	5	5 (100%)	-	-	-	-
	Acoustique	Pas de retour		-	-	-	-

Tableau 40 Travailleurs par école et pourcentage des retours aux questionnaires.

[40] Les classes de CP et CE1 à Bouvron sont aussi situées dans le bâtiment de maternelle avec de la terre crue.

4.2.2.1.2.1 Le travail développé dans leur travail et leur environnement

Dans un premier temps, nous posons des questions sur le niveau de concentration, la complexité des tâches et le niveau de silence lors des tâches réalisées. Dans l'ensemble des écoles, la plupart des travailleurs sont « plutôt d'accord (3) » ou « tout-à-fait d'accord (4) » sur le fait que le travail qu'ils développent a besoin d'un haut niveau de concentration (Figure 158). Concernant la question « Le travail développé exige des tâches mentales ou manuelles très complexes » à Baulon et à Fégréac l'ensemble des enseignants sont « plutôt d'accord (4) » (Figure 158). Cependant, à Bouvron et Mouais, au moins 50% des travailleurs sont entre « plutôt d'accord (3) » et « plutôt pas d'accord (2) » mais avec une dispersion plus importante que dans les deux autres écoles (Figure 158 et Annexe 7.2.1). À Bouvron, les différences principales sont entre les travailleurs enseignants et les non enseignants comme les ATSEM, les AESH ou les SCU[41] (Annexe 7.2.1). Les non-enseignants sont « pas du tout d'accord (1) » et surtout « plutôt pas d'accord (2) » avec cette affirmation. En revanche, l'ensemble des enseignants sont « plutôt d'accord (3) » ou « tout à fait d'accord (4) ». Le besoin de silence semble être également plus important pour les enseignants. Par exemple, 89% des enseignants de Bouvron sont « plutôt d'accord (3) » sur cette affirmation mais les réponses d'autres travailleurs de l'école sont plus disparates (Annexe 7.2.1). Dans les autres établissements scolaires, 50% au plus des enseignants sont aussi « plutôt d'accord (3) » sur le besoin de silence.



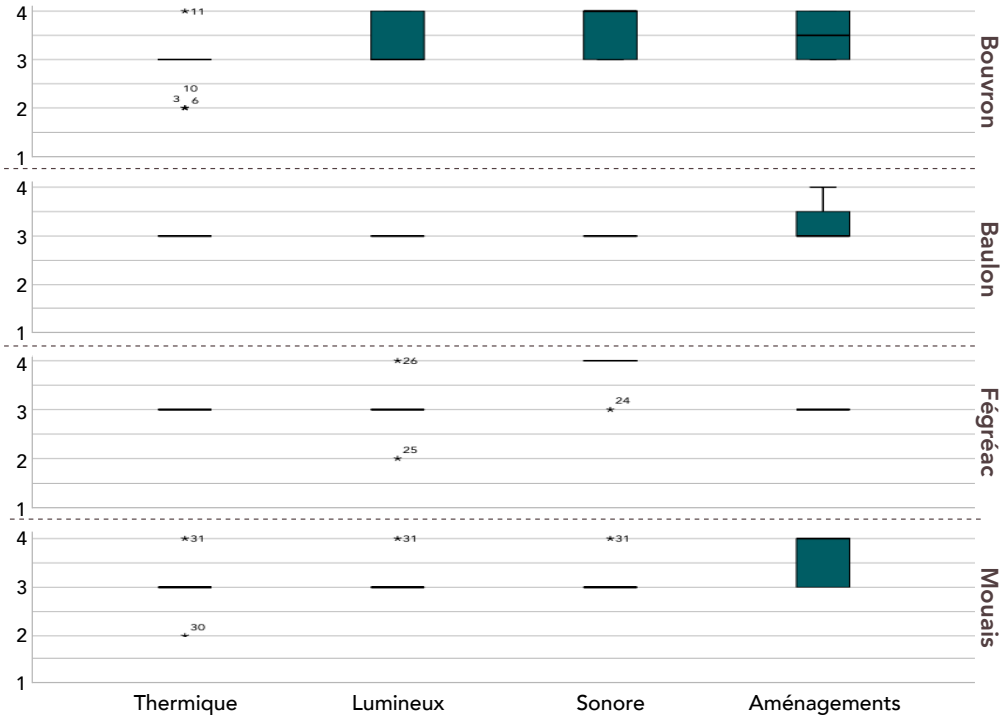
Valeurs de l'axe ordonné : Tout-à-fait d'accord (4) / Plutôt d'accord (3) / Plutôt pas d'accord (2) / Pas du tout d'accord (1)

Figure 158 Réponses des travailleurs des écoles à la question : Par rapport aux tâches développées dans votre travail, êtes-vous d'accord avec les affirmations suivantes ?
Programme utilisé : SPSS statistics.

[41] ATSEM = Agent territorial spécialisé des écoles maternelles / AESH = Accompagnant des élèves en situation de handicap / SCU = Service civique universel.

Par la suite, les travailleurs sont questionnés sur l'importance des environnements thermique, lumineux, sonore et spatial (aménagements). Sauf pour certains travailleurs de Bouvron et Mouais pour qui la thermique est évaluée comme « légèrement important » et un travailleur de Fégréac pour qui la lumière est également « légèrement important », les autres environnements sont considérés comme « très important (3) » ou « extrêmement important (4) » pour tous les travailleurs (Figure 159).

L'importance de l'environnement sonore dans les écoles, mise en avant dans la partie 3.1.1, est mise en évidence avec les réponses obtenues à la question : *« Quel est le besoin le plus important pour le bon déroulement de vos tâches ? »*. Plusieurs travailleurs mettent en avant l'importance de « l'environnement acoustique (Id.T03) » ou de « l'environnement sonore (Id.T26) » mais également l'importance du calme, du silence et de la sérénité (Tableau 83 de l'annexe 7.2.1 avec l'ensemble des réponses).



Valeurs de l'axe ordonné : Tout-à-fait d'accord (4) / Plutôt d'accord (3) / Plutôt pas d'accord (2) / Pas du tout d'accord (1)

Figure 159 Réponses des travailleurs des écoles à la question : Comment priorisez-vous les différents environnements nommés ci-dessous pour le bon déroulement de votre travail - Environnement climatique : thermique / Environnement lumineux : éclairage / Environnement sonore : acoustique / Environnement spatial : aménagements. Programme utilisé : SPSS statistics.

4.2.2.1.2.2 Le type et la qualité d'habitat face au ressenti

Plus des 60% des travailleurs des écoles habitent dans des bourgs de villages ou de villes, excepté les travailleurs de l'école de Mouais où un plus grand nombre (60%) habitent en campagne et 40% dans le bourg du village. Les travailleurs habitent principalement dans des maisons isolées ou mitoyennes, sauf 17% des travailleurs de Bouvron et 20 % de Fégreac qui habitent dans des habitats collectifs. Autour de leurs maisons, il y a principalement des maisons individuelles, des routes et des champs donc comme les parents des élèves, les sources de bruits proviennent principalement

de l'activité agricole et du trafic routier. Cependant, les habitants en centre bourg ou dans des habitats collectifs risquent d'avoir d'autres sources de bruit lié à une certaine activité commerciale mais également un risque plus grand de bruits de voisinage (Annexe 7.2.2).

Comme pour les parents, le matériau le plus utilisé reste le parpaing (Annexe 7.2.2 - Tableau 87). La terre crue est seulement présente dans les murs d'une travailleuse de l'école de Baulon. Encore une fois, le matériau naturel le plus présent est la pierre. Par rapport aux finitions, l'ensemble des travailleurs ont principalement de la peinture et du carrelage chez eux et dans aucun cas ils n'ont des enduits en terre crue (Annexe 7.2.2 - Tableau 88). Donc, à l'exception des murs de la maison d'une travailleuse, la terre crue n'est pas présente dans leurs espaces quotidiens.

Aucune convergence claire entre la matérialité ou la situation de leurs logements et l'ambiance perçue n'a pu être avérée (Annexe 7.2.3). Comme avec les parents, l'échantillon reste assez limité (même plus petit) pour pouvoir établir des relations statistiquement significatives.

4.2.2.1.2.3 Le transport et le jugement sonore

À Bouvron 89% des travailleurs utilisent la voiture couramment dans leur quotidien et à Baulon c'est 100%. Seuls deux travailleurs, qui n'ont pas le permis de conduire, utilisent habituellement les transports collectifs ou ils se déplacent à pied. L'utilisation généralisée de la voiture et l'absence de relation objectivable entre le moyen de transport utilisé et l'ambiance ressentie fait que cette section a été enlevée dans les questionnaires distribués plus tard dans les établissements de Mouais et Fégréac. Donc, il n'y a pas de retours dans les établissements de Fégréac et Mouais de la part des travailleurs à ces questions.

4.2.2.1.2.4 Relation entre le ressenti des logements et celui des écoles

Les retours des travailleurs des écoles sur l'ambiance ressentie dans leurs logements, l'école et leurs classes sont plus divers que pour les parents (Figure 160). À Bouvron, les retours n'ont pas de grandes dispersions et 50% ou plus des travailleurs évaluent les différents paramètres de l'ambiance de l'école et des classes comme « très agréable (6) » ou « assez agréable (5) » (Figure 160). Seul un désaccord plus grand apparait sur le facteur de l'humidité de l'école (compris entre « très agréable (6) » et « un peu agréable (4) »). En analysant en détails les retours, il est observé que les jugements les plus défavorables sont ceux des personnes travaillant dans le bâtiment sans terre crue (Annexe 7.2.4). De façon générale, les retours sur l'école et les classes sont similaires ou plus favorables que dans leurs propres logements (Figure 160).

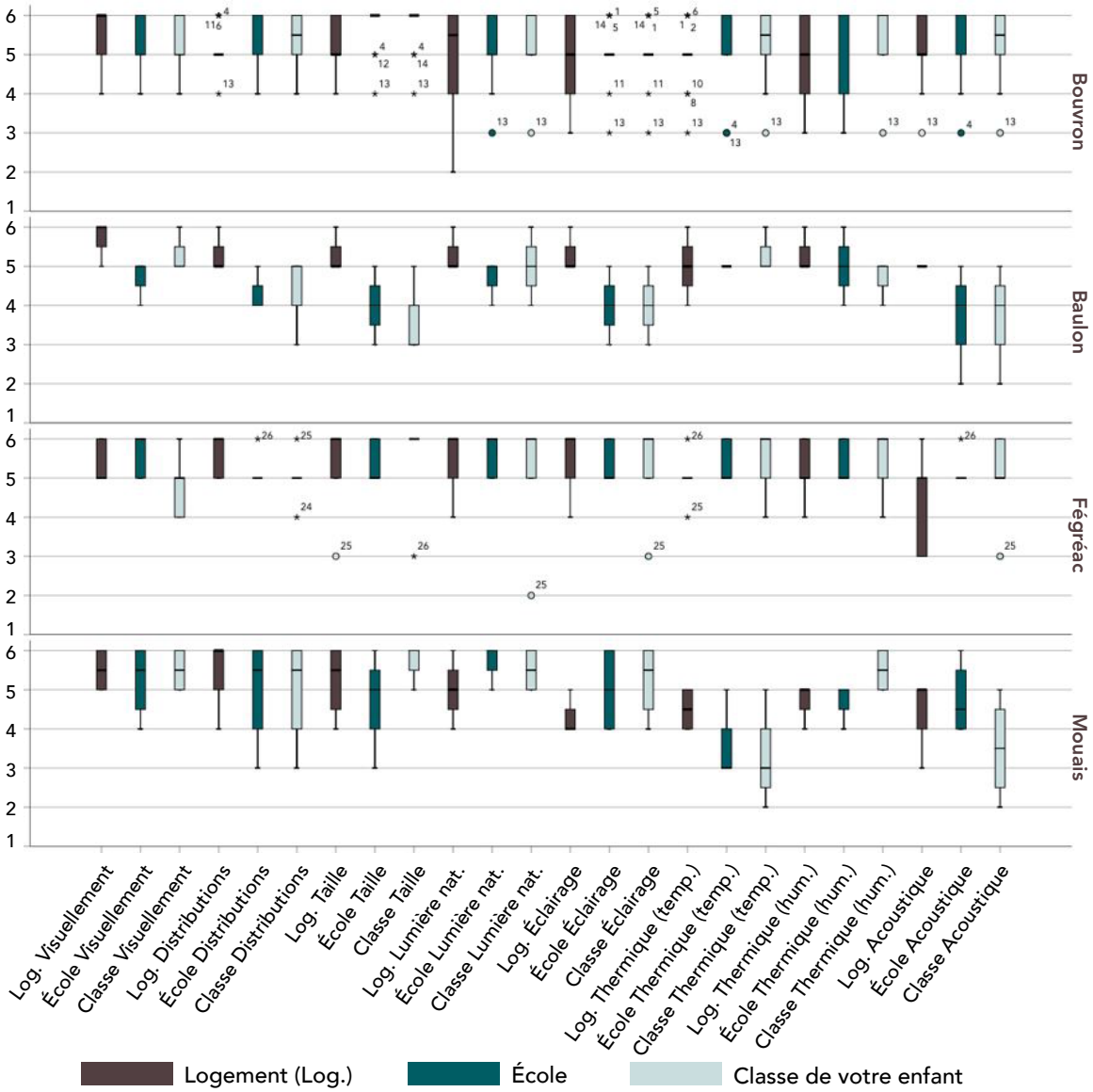
À Baulon, il est plus compliqué d'établir une tendance nette, mais en général les appréciations sont moins bonnes à l'école et dans les classes que chez eux. Le plus grand désaccord mais également les valeurs les plus défavorables récoltées concernent l'acoustique (entre « assez agréable (5) et « assez désagréable (2) »). En analysant des retours d'autres questions du questionnaire mais également grâce aux réunions tenues avec les enseignants, deux explications sont apportées : les fentes entre la terre crue et la structure bois des cloisons qui laisse passer le son entre classes (Id.19_Q.5.6) et la qualité du revêtement du sol (Id.19_Q.5.6) qui « amplifie » d'une certaine façon les sons. Ces deux aspects rendent l'ambiance sonore peu satisfaisante (Figure 160).

À Fégréac, pour l'école et la plupart des paramètres sur l'ambiance des classes, 50% des appréciations ou plus sont comprises entre « très agréable (6) » et « assez agréable (5) ». Parmi l'ensemble des retours, les jugements « moins agréables » correspondent aux enseignants travaillant dans le bâtiment sans terre crue, comme par exemple les réponses données par l'enseignant avec la référence « 25 » sur la Figure 160. La seule enseignante travaillant dans le bâtiment avec de la terre crue juge l'ambiance comme « très agréable (6) » pour l'ensemble des paramètres, sauf pour l'acoustique et les aménagements qu'elle juge comme « assez agréable (5) ». Les retours de l'ensemble des travailleurs sur leurs logements sont assez favorables, sauf pour l'acoustique qui a une plus grande variabilité. Sur les 5 travailleurs, 2 évaluent l'acoustique de chez eux comme « un peu désagréable (3) » et en regardant leur entourage nous observons que ces logements sont situés dans le bourg d'un village, donc ce fait pourrait expliquer, en partie, les appréciations données (Figure 160).

Finalement, à Mouais il y a une plus grande variabilité dans les réponses. Principalement sur « les distributions » (les valeurs sont comprises entre « très agréable (6) » et « un peu désagréable (3) »), « la température » ou « l'acoustique » dans les classes avec des valeurs entre « assez agréable (5) et « assez désagréable (2) pour les deux paramètres. Dans les questions ouvertes, nous trouvons certaines explications à ces jugements plus défavorables. Par exemple pour les distributions et aménagements, il est exprimé le besoin d'avoir « plus de rangement » ou un « espace cocooning pour les plus petits (Id.28) ». Sinon, plusieurs travailleurs soulignent l'excès de lumière naturelle et donc le risque de surchauffe des classes avec des retours tel que : « Il y a parfois trop de lumière (problème de soleil dans les yeux...) d'où la nécessité d'installer des rideaux. Et, il fait sans doute un peu trop chaud avec les baies vitrées lors de grosses chaleurs (Id. 30) ». La réserve sur la possibilité de surchauffe de classe est également mise en avant pour trois des cinq travailleurs de l'école en signalant la thermique comme l'élément qui les a surpris le plus négativement dans l'école [42]. La mauvaise appréciation acoustique paraît être la conséquence du haut niveau sonore de la ventilation, surtout dans la classe de maternelle[43] (Figure 160).

[42] Question : « De tous les éléments signalés dans la question précédente (question 6.4) quelle ambiance vous a le plus marqué / surpris négativement dans votre classe (une seule réponse possible) ?

[43] « Régler la ventilation qui fait un brouhaha constant dans la classe (Id.31) ».



Valeurs axe : « très agréable (6) » / « assez agréable (5) » / « un peu agréable (4) » / « un peu désagréable (3) » / « assez désagréable (2) / « très désagréable (1) ».

Figure 160 Retours des travailleurs à la question : L'ambiance de votre logement/ de l'école / la classe de votre enfant vous paraît (du point de vue de votre ressenti).
Selon les paramètres : Visuellement (formes, couleurs, architecture...) / Les distributions des espaces et les circulations (aménagements) / La taille des espaces / La lumière naturelle / L'éclairage / La thermique (température) / La thermique (humidité) / Sonore (acoustique). Programme utilisé : SPSS statistics.

Concernant l'acoustique, l'analyse réalisée vient renforcer les observations faites par rapport aux retours sur le ressenti (Figure 160). À Bouvron, plus de 80% des retours sur l'acoustique sont similaires à chez eux et même meilleurs. Cependant, à Baulon 2 travailleurs sur 3 jugent l'ambiance de l'école et des classes pires que chez eux. À Fégréac, les tendances sont différentes selon si c'est l'école (plus favorables) ou les classes (moins favorables). Finalement, à Mouais, les retours sont différents également sur l'évaluation du ressenti de l'école ou de la classe. Sur l'école, 60% sont plus favorables (29%) et similaires (40%) à ceux de leurs logements mais la tendance est inversée pour les classes avec 60% des appréciations moins favorables que chez eux (Figure 161).

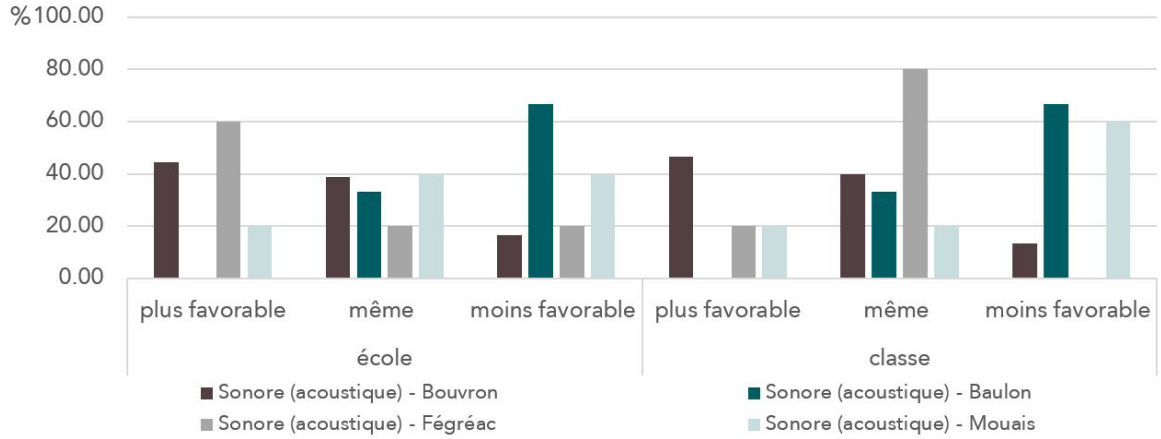


Figure 161 Différences entre les jugements de l'ensemble des travailleurs sur l'ambiance sonore ressentie à l'école et dans la classe en comparaison avec le jugement de l'ambiance sonore de leurs logements.

4.2.2.1.2.5 La présence de la terre dans les mots des travailleurs

Quand les travailleurs sont questionnés sur « *Quelle est votre impression générale de l'école ? Que ressentez-vous ? Tentez de le décrire brièvement (du point de vue de votre ressenti)* », seule une enseignante de Bouvron arrivée à l'école en 2019 fait référence à la terre et le fait qu'elle apporte une ambiance apaisante « Lieu de travail très agréable, bâtiment maternelle «apaisant» par ses couleurs, la terre des murs (Id.06) ». Deux travailleurs de Fégréac, mais enseignants dans le bâtiment sans terre crue, ne parleront pas de terre directement mais ils font référence au côté écologique du projet et de son harmonie avec la nature. Néanmoins, dans les descriptions de leurs impressions générales les notions « agréable » ou « apaisant » sont mises en valeur dans les 4 écoles[44]. Donc, de façon générale, les travailleurs de l'école ont moins tendance à parler de la matérialité des écoles que les parents. Les qualités spatiales, la luminosité, l'aménagement ou les qualités techniques comme l'acoustique semblent prendre le dessus.

Le manque de références à la terre, en comparaison par exemple aux parents, est aussi présente dans l'analyse de la question « *Quelle est la première chose que vous avez remarqué la première fois que vous êtes entrés à l'école ?* ». À Bouvron, seuls deux des dix-huit retours récoltés (travailleurs arrivés à l'école en 2018 et 2020) répondront « Les murs en terre (Id.09 et Id.12) ». Plus avéré que dans les retours des parents de la même école, « l'espace » paraît être l'élément le plus marquant pour les travailleurs de l'école de Bouvron (Figure 162). Dans la question : « *Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'école ?* », la présence de la terre ou des notions associées à celle-ci sont également restreintes (Figure 163).

[44] « École très agréable, je ne me sens pas à l'étroit. C'est calme et la vue est agréable (Id.01) », « C'est une école très agréable où l'on prend plaisir à venir travailler (Id.05) », « apaisant, agréable (Id.20) », « Bien-être général - Excellentes conditions pour exercer mon métier de PE (Id.22) », « L'école maternelle est un espace très agréable (intérieur, extérieur), avec des volumes bien pensés, des classes lumineuses et un projet écologiquement responsable (Id.25) » ou « Les espaces sont agréables malgré quelques problèmes dus à la priorité mise sur l'esthétisme (Id.31) ».

*Figure 162 Synthèse des réponses des travailleurs de l'école de Bouvron à la question : Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entré à l'**école** ?* [45]
Un total de 18 réponses et 24 notions sont récoltées.

Pour faciliter la compréhension, les mots de la même famille ont été regroupés par un seul mot (en gras ci-dessous) :

*En référence à l'espace intérieur : **espace** / spacieuse / grandes classes / grands volumes / grande / taille / largeur des couloirs.*

*En référence à la lumière : **lumineux** / luminosité.*

*Figure 163 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'**école** ?*
Un total de 18 réponses et 82 mots sont récoltés.

Pour faciliter la compréhension, les mots de la même famille ont été regroupés par un seul mot (en gras ci-dessous) :

***Espace** / Spacieux / Spacieuse / Place (spacieux) | **Grand** / Grand espace / Grande / Grande classe | **Chaleureuse** / Chaleur / Chaleureux | **Enfant** / Enfants | **Lumineux** / Lumière / Luminosité.*

Seuls les mots répétés au moins 2 fois ont été représentés dans le nuage.

Dans les 3 autres écoles, les murs en terre sont nommés directement uniquement à Baulon. Cependant, un enseignant de Fégréac parle indirectement de la terre crue car il fera référence aux matériaux naturels (Tableau 41). Les autres contributions sont axées sur l'espace, la lumière, la grandeur mais aussi sur des jugements esthétiques ou des questionnements sur l'état fini de la construction (Tableau 41). De ce fait les retours des travailleurs des autres écoles permettent d'établir le même constat : l'absence, quasi généralisée, des références à la terre crue.

Baulon	Fégréac	Mouais
« L'aspect extérieur est assez décevant (hangar). Les classes ne sont pas suffisamment grandes (Id.19) ».	« Les **matériaux naturels** (Id.22) ».	« Beaucoup d'espace (Id.27) ».
« Chaleur agréable / Température / grands volumes / **côté apaisant des murs en terre** (Id.20) ».	« Les grandes baies vitrées (Id.23) ».	« Espace (Id.28) ».
« Si la construction est terminée (Id.21) »	« Je me suis étonné de la récence du bâtiment (Id.24) ».	« Une classe grande. Il y a beaucoup de lumière (Id.29) ».
	« L'esthétique des lieux (Id.25) ».	« La grandeur des pièces et la hauteur sous plafond (Id.30) ».
	«Chaleur (Id.26) ».	«La luminosité (Id.31) ».

Tableau 41 Réponses des travailleurs des écoles à la question : Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entré à l'école ?

[45] Certains exemples Bouvron : « Largeur des couloirs. Grandeurs des classes (Id.03) » / « Qu'elle était très spacieuse (Id.07) » / « Les murs en terre (Id.09) » / « Une belle et grande école (Id.13) » / « La luminosité est la première chose que j'ai remarquée (Id.16) » / « La taille de l'espace cour et la structure bois du bâtiment maternelle (Id.05) ».

Dans l'analyse des 5 mots apportés par les travailleurs des écoles de Baulon, Fégréac et Mouais, seul un enseignant de l'école de Mouais nomme directement les « murs en terre » (Figure 166). À Fégréac, certains travailleurs abordent des notions comme « écologie » et « nature » (Figure 165) mais à Baulon ni la terre ni des notions associées ne sont recueillies (Figure 164).

Baulon

*Figure 164 Réponses des travailleurs de l'école de Baulon à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'**école** ?*

Fégréac

*Figure 165 Réponses des travailleurs de l'école de Fégréac à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'**école** ?*

Mouais

*Figure 166 Réponses des travailleurs de l'école de Mouais à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'**école** ?*

Quand les enseignants, ATSEM ou AESH sont questionnés directement par la classe où ils travaillent certains changements sont produits. À Bouvron les notions associées à l'espace continuent à prévaloir face à d'autres notions et la terre, comme pour les parents, est seulement nommée par « la grotte » des classes maternelles (Figure 167). Comme par exemple : « L'espace est intéressant. La grotte qui permet aux élèves de s'isoler (Id.04) » et « L'espace et les différentes possibilités d'aménagement et la fameuse grotte (Id.12) »[46].

*Figure 167 Résumé des notions des réponses des travailleurs de l'école de Bouvron à la question : Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entré dans la **classe** ? Un total de 15 réponses sont récoltées.*

Pour faciliter la compréhension, les mots de la même famille ont été regroupés par un seul mot (en gras ci-dessous) :

***espace** / grandeurs / taille | **lumière** / luminosité*

Même si la notion « d'espace » est toujours très présente, quand les «5 mots » sur leurs classes sont demandés aux travailleurs de Bouvron, les notions associées à la « lumière » prennent plus de poids (Figure 168). Cependant, de nouvelles notions associées aux qualités acoustiques des classes apparaissent également. Les bonnes appréciations acoustiques des salles de classe de la

[46] Certains exemples de Bouvron : « La grandeur de la classe (Id.10) », « L'espace dont j'allais disposer, cela me semblait grand. La luminosité naturelle (on était au mois de mars) (Id.08) » ou « La taille de la pièce et la partie sanitaire intégrée à la classe (Id.17) ».

part des enseignants avaient été soulignées précédemment en juin 2016 par l'atelier mené par Véronique Girard sur le retour d'expérience et dans la continuité du travail de PCI (processus de conception intégrée). À l'occasion, des retours tels que : « Dans la classe le niveau sonore a baissé. On est comme dans un cocon, une bulle » ont été recueillis. Dans l'entretien avec les architectes de l'école, ils nous expliquent comment, dans l'atelier de retour d'expérience, mais également dans la vidéo de présentation de l'école, la bonne acoustique avait déjà été signalée, par exemple dans la vidéo de présentation une enseignante expose le fait que « quand on est arrivé, on avait l'impression d'avoir de 5 à 10 élèves en moins dans la classe, tellement l'acoustique est bonne »[47], elle remarquait aussi le fait que comme « l'acoustique est de bonne qualité les enfants baissent le ton, c'est vrai que c'est très agréable, ils sont plus calmes ».

*Figure 168 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à la **classe** ?*
Un total de 15 réponses et 63 mots sont récoltés.

Pour faciliter la compréhension, les mots de la même famille ont été regroupés par un seul mot (en gras ci-dessous) :

***Espace** / Spacieuse / Taille | **Lumineuse** / Lumière / Lumineux / Luminosité | **Grande** / Grandeur | **Calme** / Apaisante | **Aménagement** / Bien aménagé | **Chaleureuse** / Chaude | **Fonctionnel** / Fonctionnelle | **Acoustique** / Insonorisée | **Grotte** / Terre.*

Seuls les mots répétés au moins 2 fois ont été représentés dans le nuage.

Néanmoins, d'autres notions comme « agréable » et même le sentiment de « se sentir bien », « se sentir chez moi » ou « se sentir à l'aise »[48] sont partagés de manière récurrente avec la question *« Quelle est votre impression générale de la classe ? Que ressentez-vous ? Tentez de le décrire brièvement (du point de vue de votre ressenti) »*.

Dans les trois autres écoles, quand les travailleurs sont questionnés sur « *Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entré dans la **classe** ? »*, des références directes à la terre crue apparaissent seulement dans un cas où l'enseignante s'interroge sur l'état final de la construction par les murs en terre (Tableau 42). Sans nommer directement la terre, une enseignante de Fégréac fait référence aux « couleurs très apaisantes » de la classe mais sinon la majorité des retours sont des notions spatiales.

[47] Vidéo sur l'école de Bouvron : https://www.youtube.com/watch?v=GRLZ8A8Nd74 minute 3'56''.

[48] Certains exemples : « Je m'y sens «chez moi» (si l'on peut dire cela de son lieu de travail», c'est un espace accueillant (Id.06) », « Je me sens à l'aise pour travailler, avec de la place, avec la liberté du coup d'organiser les lieux pour rendre les différents temps avec les enfants agréables, pour les séparer afin de gagner en calme, en sérénité, pour mieux se concentrer sur les tâches à accomplir. Je me sens bien dans ma classe. Le week-end j'y viens pour travailler, j'y ressens du calme (Id.08) » ou « On se sent bien dans la classe (Id.11) ».

Baulon	Fégréac	Mouais
« Le volume agréable et le manque de profondeur (Id.19) ». « Agréable /Chaleur (Id.20) ». « Construction terminée ? **Car mur en terre** (Id.21) ».	« L'espace et la lumière ainsi que les **couleurs très apaisantes** (Id.22) ». « La luminosité (Id.23) ». « J'ai été agréablement surpris par l'espace (Id.24) ». « La taille, très grande (Id.25) ». « Le mauvais état des murs, la petite taille (anciens bâtiments) (Id.26) ».	« Espace (Id.28) ». « La classe est grande (Id.29) ». « La grandeur des pièces et la hauteur sous plafond (Id.30) ». « Grandeur de l'espace et luminosité (Id.31) ».

*Tableau 42 Réponses des travailleurs des écoles à la question : Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entré dans la **classe** ?*

En analysant les mots recueillis avec la question *« Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à la classe ? »* des écoles de Baulon, Fégréac et Mouais, la terre est un peu plus présente même si dans aucun cas elle ne prévaut sur les autres notions. À Baulon, « agréable » semble être la notion la plus répétée mais de nouveaux mots autour de l'ambiance sonore apparaissent comme « bruit » et « sonore » (Figure 169). La notion « agréable » et même « apaisant » (mise en avant sur la question : *Quelle est votre impression générale de la classe? Que ressentez-vous ? Tentez de le décrire brièvement (du point de vue de votre ressenti)*) sont également présentes. Suite à une réunion tenue avec deux des trois enseignants de Baulon, ils associaient le côté apaisant des classes au volume (hauts plafonds) et à la présence du bois et de la terre (des murs) mais également aux surfaces vitrées avec des vues sur l'herbe, la végétation et les plantes. À Fégréac, seuls les retours de l'enseignante qui travaille dans le bâtiment en terre crue sont analysés et nous pouvons observer que même si la terre n'est pas nommée, son côté « naturel » et des notions comme « apaisement » ou encore « l'espace » ressortent (Figure 170). À Mouais, la « lumière » comme pour l'école est la notion la plus abordée suivi de « l'espace ». « Les murs en terre » sont seulement nommés par un enseignant (Figure 171). La notion « bruyant » apparait également comme conséquence du bruit constant de la ventilation dans la classe de maternelle (Figure 171). Enfin, quand les enseignants de Mouais sont questionnés directement sur « impression générale de la classe », trois notions sont identifiées : « la grandeur » et « la luminosité », déjà vues, mais aussi la mise en avant du côté « agréable »[49].

Baulon

*Figure 169 Réponses des travailleurs de l'école de Baulon à la question : « Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à la **classe** ».*

Fégréac

*Figure 170 Réponses des travailleurs de l'école de Fégréac à la question : « Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à la **classe** » (Seulement la personne qui travaille dans le bâtiment avec de la terre crue).*

[49] Certains exemples : « Espace agréable dans l'espace mais construit sans discussion avec les personnes travaillant à l'intérieur du bâtiment (Id.28) », « Je n'ai pas la sensation d'être étouffée, on peut se déplacer facilement. La lumière passe à travers les fenêtres, c'est agréable (Id.29) », « Une sensation d'avoir de grands espaces, lumineux (parfois un peu trop). C'est agréable aussi d'avoir une école neuve (Id.30) » ou « impression de grandeur et de luminosité (Id.31) ».

Figure 171 Réponses des travailleurs de l'école de Mouais à la question : « Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à la classe ».

4.2.2.1.2.6 La terre crue et la perception de l'ambiance

Dans le deuxième questionnaire (sur l'acoustique), les travailleurs sont questionnés directement sur la présence de la terre crue et leur possible contribution dans leur ressenti général (7.2.6 et le Tableau 107). À Bouvron, deux des treize travailleurs enquêtés n'arrivent pas à savoir si la terre joue ou pas un rôle dans leurs perceptions. Cependant, le reste des travailleurs pensent qu'effectivement la terre crue contribue positivement à leur perception du lieu (Figure 172). L'analyse des réponses apporte plusieurs explications à cela. Certains font appel au visuel et comment **la couleur** de la terre crue offre une ambiance apaisante, chaleureuse et globalement agréable. D'autres parlent d'une impression de cocon, une ambiance plus **cocooning** comme « enveloppant ». L'ambiance ou la sensation de « **naturelle** » est également mise en valeur par plusieurs travailleurs comme quelque chose de positif et appréciable. Finalement, la terre est mise en relation avec l'apport d'une ambiance plus **feutrée**. Ce dernier facteur pourra effectivement être mise en relation avec une bonne qualité acoustique qui peut rendre un lieu sonorement moins agressif et agréable.

Figure 172 Synthèse des notions entre la ressenti et la présence de la terre des travailleurs de Bouvron. Question : « Pensez-vous que la présence de la terre crue contribue positivement à votre perception du lieu en général et de l'ambiance sonore en particulier (du point de vue de votre ressenti)? Si oui, comment expliqueriez-vous cela ? Si non, pourquoi ? ».

À Baulon, les enseignants mettent également en valeur le côté **apaisant** de la terre crue et son **confort thermique**.

4.2.2.1.2.7 L'ambiance sonore

Entre les deux écoles (Bouvron et Baulon), où des retours aux questionnaires sur l'ambiance sonore sont collectées, d'importantes différences sont observées. Tandis qu'à Bouvron les appréciations et les retours sur l'acoustique sont plutôt favorables, à Baulon ce n'est pas le cas. Les différences sont observées dans l'analyse de la première question « *De façon générale (fenêtres et portes fermées) êtes-vous dérangé par le bruit pendant votre travail ?* » où 77% des travailleurs de Bouvron répondent « pas du tout » et 23% « légèrement » mais à Baulon les retours sont sur « beaucoup » ou au moins « légèrement ». Aucun des deux travailleurs enquêtés de Baulon ne répond « pas du tout ».

Quand les retours à la question « *Avec un mot comment décririez-vous l'environnement sonore de*

votre lieu de travail ? » la différence est également évidente. À Bouvron, les travailleurs utilisent des mots tels que : « agréable » (40%), « calme » (20%), « classe propice à la mission » (10%), « bien » (10%), « bien isolé » (10%) ou « serein » (10%). Cependant, à Baulon l'environnement sonore est qualifié d'« irrégulier » ou de « pétulant ».

Les travailleurs sont questionnés également par le lieu de l'école et de leurs classes qu'ils jugent particulièrement agréables et plus désagréables du point de vue de l'environnement sonore. À Bouvron, plusieurs critères semblent s'accorder pour désigner le lieu « particulièrement agréable ». D'un côté, certains travailleurs l'associent à une activité comme par exemple la bibliothèque ou le dortoir où par nature ce sont de lieux silencieux. Le dortoir a également été signalé par sa situation « loin de tout ». D'un autre côté, l'absence de résonnance, un bruit de ventilation plus faible ou la perception plus feutrée du lieu sont des critères utilisés pour désigner les espaces « particulièrement agréable » comme la salle de pause ou une partie des couloirs avec des murs en terre. Finalement, certains travailleurs nomment leur classe mais d'autres signalent le fait qu'il n'y a aucun lieu particulièrement agréable mais pas non plus désagréable du fait que « peu importe à quel moment un élève peut faire du bruit ». Ce constat est aussi signalé par une des enseignantes de l'autre école (Baulon) : « Le bruit apparait et disparait avec les élèves (Id.14A) ». Par rapport aux lieux jugés plus désagréables, les travailleurs de Bouvron désigneront des lieux qui, de leur point de vue, ont une plus grande résonance et par conséquent les sons se propagent plus vite comme la salle de motricité. Cette salle est aussi signalée pour avoir un niveau de ventilation plus élevé. Un autre lieu jugé comme « plus désagréable » est le SAS d'entrée où, au-delà de la résonance, il existe des sifflements à cause des courants d'air jugé désagréable.

En ce qui concerne leurs classes, les lieux jugés par plusieurs travailleurs comme plus « agréable » sont souvent associés à des espaces plus isolés (éloignés du groupe) où des travaux individuels peuvent se dérouler de manière plus « intimiste », par exemple au fond de la classe, espace séparé de l'entrée, dans la grotte de maternelle à Bouvron, ou aux coins du fond « loin des élèves les plus bavards » pour un des enseignants de Baulon. À Bouvron, des espaces de la classe où les élèves ont l'habitude de se poser et être plus à l'écoute (comme la zone de l'ellipse en maternelle[50]) sont également signalés ou les ateliers des classes, des endroits plus petits et un peu plus isolés du groupe. Plusieurs travailleurs de Bouvron considèrent les toilettes (intégrés dans les classes) comme le lieu « particulièrement désagréable » de leurs classes en raison de sa résonance mais également de par sa petite taille et le regroupement d'élèves qui se produit parfois. Les regroupements qui peuvent se produire dans d'autres endroits de la classe, comme la zone de jeux ou les vestiaires de l'entrée de la classe, sont également signalés par certains travailleurs de l'école de Bouvron comme des lieux « particulièrement désagréables ». Finalement, la grotte mise en avant par sa possibilité de s'isoler est aussi remarquée par une autre enseignante, comme un endroit où la voix résonne et qui, en conséquence, peut devenir « assez désagréable » quand les enfants parlent fort. Les classes de Baulon avec moins d'espaces permettant de s'isoler, les lieux signalés comme les plus « particulièrement désagréables » sont les emplacements des élèves les plus bavards et les plus bruyants dans la classe.

[50] L'ellipse des classes maternelles est une ligne dessinée au sol ou les enseignants font des regroupements. Les élèves sont assis sur la ligne et souvent ils sont calmes et à l'écoute des consignes de l'enseignant.

4.2.2.1.2.7.1 Les particularités acoustiques

De façon générale, les travailleurs de Bouvron ont un bon ressenti de l'acoustique de l'école et des classes (les retours aux questions dans l'annexe 7.2.6). Dans le bâtiment de maternelle (avec de la terre crue), l'effet feutré des sons mais également la baisse de la voix dès que la porte est franchie est constatée par les travailleurs. Dans les couloirs, les travailleurs ont « l'impression de calme, pas de brouhaha (Id.03A-Q8.4) » et ils trouvent que c'est agréable de circuler dans les couloirs avec un groupe d'élèves, même nombreux, car « le bruit ne semble pas se propager (Id.02A-Q8.4) » et « le volume sonore n'est pas trop important malgré des couloirs avec des hauts plafonds (Id.02-Q8.5) ».

Dans les classes de Bouvron, la bonne acoustique est également mise en valeur car, par exemple, de façon générale, les travailleurs ne sont pas obligés de forcer la voix, sauf dans des moments ponctuels où les élèves sont trop bruyants, parlent fort, tous en même temps ou dans des moments de transition où les élèves sont en mouvement tous au même moment. Du moment que les portes et fenêtres sont fermées tous les travailleurs de l'école de Bouvron sont d'accord pour affirmer qu'ils n'entendent quasiment pas ou très peu de bruits venant de l'extérieur[51] mais pas non plus ceux des classes voisines ou des couloirs. Par rapport au bruit extérieur, la bonne isolation est mise en avant ainsi que le fait d'être à l'écart et assez éloigné des routes ou d'autres sources de bruits importants. En ce qui concerne les bruits intérieurs comme annoncé par une travailleuse : « le volume sonore d'une classe reste dans la classe (Id.05-Q8.7) ». Par rapport aux qualités acoustiques des classes, à l'exception des toilettes ou de la grotte (pour une enseignante), tous les travailleurs sont d'accord sur l'absence ou la très faible perception de réverbération.

Finalement, ils sont plusieurs travailleurs de l'école de Bouvron à comparer la nette amélioration des qualités acoustiques de l'école actuelle avec l'ancienne école (avant la construction du bâtiment de maternelle en 2015) ou également avec d'autres écoles où ils ont pu travailler.

Par rapport à la présence de la terre crue, plusieurs travailleurs de Bouvron se sont questionnés sur le rôle des murs en terre, en se disant que peut-être la bonne perception sonore qu'ils avaient et la bonne qualité acoustique du bâtiment et des classes était probablement grâce à la présence des murs à terre qui atténuent ou absorbent les bruits et les sons. Quand ils sont questionnés directement sur la relation entre la perception sonore et la présence de la terre crue (*Question : Pensez-vous que la présence de la terre crue contribue positivement à votre perception de l'ambiance sonore (du point de vue de votre ressenti) ? Si oui, comment expliqueriez-vous cela ? Si non, pourquoi ?*), la mise en avant d'une possible « absorption » et « atténuation des effets sonore » grâce à la présence de la terre est récurrente. Les sons sont également perçus comme « plus mats » (Tableau 106 dans l'annexe 7.2.6).

Cependant, à Baulon les retours sont bien différents. Les classes sont décrites comme « très sonores (Id.14-Q8.5) ». Plusieurs facteurs sont exposés comme : « Le passage du bruit entre les classes : On entend la voix du maître dans l'autre classe et le bruit des élèves de la classe voisine en activité de groupe. On entend la musique dans la classe voisine. On entend les élèves qui jouent dans la 3ème classe sur le temps de midi. Il me semble aussi que le sol renvoie beaucoup le son. Les sons

[51] « On n'entend très peu les bruits extérieurs, on ne les entend pas si la fenêtre n'est pas ouverte, on n'entend par exemple ni orage, ni vent, ni les moutons ou les enfants qui jouent dehors (Id.08-Q8.6) ».

me paraissent plus clairs et nets. Les voix des enfants qui bavardent sont claires (Id.15-Q8.7) ». Tous ces facteurs sont vus comme un « vrai problème » surtout pour une enseignante. Par rapport aux bruits extérieurs, les travailleurs sont d'accord sur le fait que les sources de bruits comme par exemple les voitures sont lointaines mais ils arrivent à entendre les enfants d'autres classes en récréation. Néanmoins, les problèmes soulignés sont principalement liés au manque d'isolation entre classes (fentes) et à l'éventuelle qualité du sol, car les deux enseignants sont d'accord sur l'absence importante de réverbération, sauf d'un endroit précis d'une des classes où l'enseignante a l'impression que sa voix résonne plus. Donc, dans le cas de Baulon, les enseignants ont des difficultés pour établir un lien entre l'ambiance sonore et la terre crue car par exemple les fentes entre les cloisons en terre sont à l'origine de plusieurs problèmes de qualité sonore dans les classes.

4.2.2.1.2.7.2 Les activités des classes

Selon l'activité réalisée (par exemple atelier en petit groupe, atelier motricité, enseignement en classe grand groupe, etc.) des différences sont observées sur les appréciations des travailleurs de l'école mais aucune conclusion nette n'a pu être obtenue car une activité similaire a pu être appréciée différemment selon la personne. Ce fait met en exergue l'importance de la subjectivité et la sensibilité propre à chaque personne, à la fois en ce qui concerne la fréquence du son, son volume ou la gêne occasionnée. Cependant, une appréciation assez générale a pu être observée, et qui viendrait compléter l'analyse réalisée juste avant sur les particularités acoustiques (partie 4.2.2.1.2.7.1), la mise en avant des « bruits générés par les usagers »[52] et les « bruits générés par les activités de l'école »[53]. De façon générale, les bruits avec un volume sonore élevé sont considérés comme les plus fréquents et les plus gênants (Annexe 7.2.7). Surtout à Baulon, les bruits produits par « la qualité acoustique du bâtiment »[54] sont également considérés comme les plus gênants mais aussi avec un volume sonore plus élevé (34% peu fort et assez fort).

4.2.2.1.3 Les enfants

L'enquête mise en place pour les enfants (3.3.2.2) est réalisé avec la grande section de deux classes de maternelle, une classe de CP et une classe de CE1 de l'école de Bouvron et avec une classe de CE2-CM1 et une classe de CM1-CM2 de l'école de Baulon.

4.2.2.1.3.1 Le monde sensible – Un travail sur les émotions et les sens

4.2.2.1.3.1.1 Les émotions

Le travail sur les émotions avec les plus petits (grande section) est focalisé sur les émotions primaires : joie, tristesse, peur et colère ainsi que sérénité et amour. Dans l'activité d'association des photos d'expressions des visages avec les émotions, les élèves arrivent à bien identifier la colère.

---

[52] Bruits générés par les usagers : Conversations entre élèves, collègues, déplacements dans les couloirs, récréations, activités dans les locaux voisins, etc. au-delà des activités que vous êtes en train de réaliser.

[53] Bruits générés par les activités de l'école : À l'intérieur de votre classe ou lieu de travail.

- Les élèves : travaux de groupe, demandes diverses, discussions, jeux, cris, etc.

Les enseignants : qui donnent cours, qui rappellent à l'ordre, qui discutent, etc.

[54] Bruits produits par l'acoustique du bâtiment (surfaces réfléchissantes, etc.) : Réverbération et présence d'écho, etc. Voir questionnaires.

Cependant, entre joie et amour ou tristesse et peur, les associations avec les expressions des visages sont parfois moins claires. Au moment des explications ou de l'association de situations, la tristesse et la peur sont souvent confondues.

Avec les classes de CP de Bouvron, les élèves travaillent avec un plus large panel d'émotions y compris des émotions appelées secondaires. En groupes de trois, ils choisissent une carte parmi les 8 cartes d'émotions distribuées par groupe d'élèves, pour expliquer aux camarades de classe. Une bonne partie des groupes choisissent des cartes joyeuses ou avec des symboles dans les cartes (Figure 173). Pour expliquer les cartes, les élèves décrivent les traits du visage comme : « il a un sourire », « les yeux qui tournent veut dire qu'il est amoureux » ou aussi les symboles : « il a le cœur brisé parce qu'en haut il y a le dessin d'un cœur cassé ». Par la suite, ils décrivent des situations où ils peuvent sentir ces émotions par exemple pour la carte « *je ne me sens pas aimé.e* » les élèves trouvent : « Quand on peut perdre un ami » ou « On peut perdre ce que on a de précieux ».

Figure 173 Exemples des cartes choisies par les élèves à présenter à ses camarades. Jeu de cartes « Le langage des émotions » composé de 69 cartes illustrant des émotions (fcppf, 2019).

Les élèves de CE1 de Bouvron travaillent également avec les cartes « des besoins », ils expliquent les cartes et donnent des exemples de quand ils ont ces besoins (fcppf, 2019). Par exemple : « Quand il y a des personnes qui me dérangent, j'ai besoin d'être seul » pour la carte « *besoin de solitude* » ou « profiter un peu de tout » pour la carte « *besoin de rêver* » (Figure 174).

Figure 174 Exemples des cartes choisies par les élèves à présenter à ses camarades. Jeu de cartes « L'expression des besoins » composé de 70 cartes besoins illustrées (fcppf, 2019).

Les élèves de CP et CE1 ont également construit leur « roue des émotions » (3.3.2.2.1.1) pour continuer à approfondir et travailler sur les émotions. Ils ont essayé de trouver des situations à associer aux émotions de la roue (Figure 71).

À Baulon, les élèves travaillent également par groupes sur les cartes des émotions. Cette fois, les explications des cartes sont réalisées à partir de représentations théâtrales. De façon générale, et avec une certaine collaboration de l'enseignant (en leur disant s'ils s'approchent ou pas), les élèves arrivent à trouver l'émotion correspondante.

4.2.2.1.3.1.2 Les autres sens (au-delà de l'ouïe)

Avant de se focaliser sur le sonore, il était souhaitable de travailler sur les autres sens pour introduire la terre et les matériaux naturels (3.3.2.2.1.2). Les « boites noires » mises en place et le parcours sensoriel à pieds nus ont permis de travailler le toucher (Figure 175). Les élèves sont invités à « toucher » et « décrire » mais également à exprimer leur ressenti. De façon générale les élèves sont partagés entre deux sensations avant de commencer la pratique. D'un côté certains sont « excités », même « impatients », et d'un autre côté ils sont « stressés », même parfois, pour les plus petits, ils ont une sorte de « peur » face à l'inconnu. Une fois qu'ils touchent, les élèves trouvent le fait de toucher les fibres plutôt « agréable », ils « aiment bien » de façon générale, pour certains même « ça chatouille ». Entre les matières végétales, le liège en vrac crée un peu plus de controverse car d'un côté certains élèves « aiment bien », même « ils adorent », d'autres « n'aiment pas » et ils ne trouvent « pas agréable ». Par rapport à la terre les sensations sont mitigées car certains trouvent le fait de toucher la terre « agréable » même « très agréable » mais d'autres « pas agréable » et ils « n'aiment pas ». Le fait de toucher pour certains devient même « rigolo » et pour d'autres « ça donne des frissons ».

Figure 175 Boites noires, parcours sensoriel et odorat à Bouvron.

Pour décrire l'expérience, les élèves ont utilisé majoritairement des adjectifs tels que : « dur, rocheux, sableux ou sec » pour des terres en mottes. Pour des terres plus désagrégées, les élèves utilisent souvent des antonymes comme : « rugueux-doux ou petit-grand » pour une même terre. Parfois ils font aussi appel à la température comme : « froid ». D'autre mots utilisés pour la terre ou même pour les graviers sont « piquant » et les plus petits utilisent « frottant ». Pour les terres, parfois les descriptions sont plus basées sur des composants de la terre, surtout les élèves des derniers cours d'élémentaire, comme « des cailloux de terre », « graviers », « sable compact », « cailloux qui se casse » ou « poussière » et « argile » pour des parties plus fines. Le sable parfois est associé à la « farine » ou la partie fine de certaines terres à la « craie ». Même si plus rares, certains

élèves ont identifié les matériaux à partir du bruit comme « Des cailloux parce que ça fait du bruit » ou pour le sable : « bruit frottant ». Il est intéressant d'observer comment des adjectifs tels que « frottant » associés au sens tactile à la base sont utilisés pour la description également des sons et des bruits. Ce fait met en relief les mélanges et interconnexions des sens dès le plus jeune âge et l'importance de la multi sensorialité (partie 2.1).

Pour les fibres les élèves utilisent des adjectifs tels que : « pas dur, fin, mou, doux, piquant ». Cependant, des différences existent entre le toucher avec les mains et le toucher avec les pieds, par exemple la fibre de lin considérée « douce » avec les mains devient « piquante » avec les pieds. Une plus grande sensibilité paraît être présente sur les pieds. La cannisse est aussi définie comme « cassant » et le liège décrit par rapport à la taille ou la forme comme « petit » et « c'est un peu rond ». Les textures des fibres sont comparées « aux feuilles », « à l'herbe très sèche », « au thym » ou dans le cas des cannisses un élève de grande section (maternelle) assimile les cannisses aux « spaghettis ». Le liège en vrac offre encore un plus large panel de comparaisons comme : « charbon », « fait penser à du plastique », « comme du popcorn mais plus petit », « des croquettes pour chat » ou « caoutchouc ».

Par rapport aux odeurs, les élèves trouvent que la paille ou d'autres fibres « ça sent bon » à l'exception du liège qui, pour plusieurs élèves, a un odeur « bizarre » ou « sent le grillé ». Concernant les sables et les cailloux les élèves ne trouvent pas du tout d'odeurs, cependant pour les terres parfois « ne sent rien du tout » ou « pas très parfumé » mais d'autres fois « pas bon », « horrible », « dégoutant » ou « ça pue ». Certaines des terres ont été stockées humides directement dans les boites, ce qui peut expliquer les mauvaises odeurs que les enfants ont parfois identifié. D'autant plus que les terres qui étaient stockées sèches dans les boites n'ont pas eu les mêmes retours.

Le travail sur les autres sens était intéressant pour commencer à comprendre le vocabulaire utilisé par les enfants en rapport aux différents matériaux de construction naturelle. Cette première approche permet d'observer le rapport individuel et subjectif du ressenti même pour les plus petits. La construction de la perception commence au plus jeune âge et celle-ci est propre à chacun, ce qui explique la contradiction parfois dans les retours des élèves.

4.2.2.1.3.2 La représentation et le repérage de l'espace

Pour pouvoir placer les sons et les bruits dans l'espace, un travail en amont sur la représentation et le repérage de l'espace a été jugé pertinent. Compte tenu du jeune âge de certains élèves (grande section - maternelle) le travail de représentation est réalisé sur une maquette physique à une échelle 1 : 10. À partir d'une grande planche en bois, les enfants de chaque classe essayent d'assembler les différents murs jusqu'à composer la géométrie de leur classe (Annexe 8.1 sur le déroulé de l'ensemble de l'activité avec une classe de grande section à Bouvron). Pour la fabrication des murs en terre de chaque classe une série d'ateliers est réalisée avec chaque classe de Bouvron et Baulon (Figure 176 et annexe 8.1). Finalement, les classes ont été aménagées et même des personnages représentant chaque élève et les enseignants sont créés (Figure 176). Les grands meubles ont été fournis directement mais dans les classes de Baulon et également celle de CE1 de Bouvron, les élèves ont fabriqué leurs chaises et leurs tables.

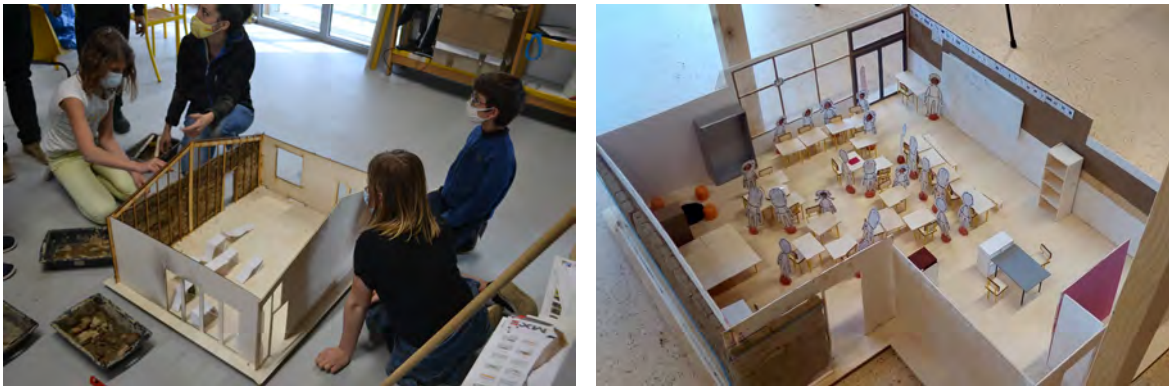


Figure 176 À gauche fabrication du mur en terre dans l'école de Baulon et à droite l'état final de la maquette de la classe de CE1 de Bouvron avec les meubles, certaines affiches, les élèves et l'enseignant.

La géométrie plus complexe des classes de Bouvron, mais également les enfants les plus jeunes, ont permis de souligner la plus grande difficulté de certains élèves de cette école à se repérer dans l'espace mais aussi la clairvoyance d'autres. Donc finalement la maquette se présente comme un outil de travail intéressant même au-delà de cette thèse.

Le repérage dans l'espace est également travaillé avec des photographies. Dans ce cas, les enfants doivent se placer à l'endroit depuis lequel la photographie a été prise. De façon générale les élèves arrivent assez bien à se situer (ce travail a été fait principalement avec la classe de CP).

4.2.2.1.3.3 L'ambiance sonore

4.2.2.1.3.3.1 L'écoute

Certaines classes ont fait des écoutes de sons à la suite des premiers travaux sur les émotions et le sens du toucher et de l'odorat. Par exemple, une des classes de GS de Bouvron a réalisé des écoutes sur des sons fournis sur le quotidien de l'école comme la cour de récréation, l'écriture au crayon ou des sons d'ambiances pas spécialement rattachés à l'école, comme le bruit de la foule ou le trafic (voir l'ensemble des sons fournis dans Tableau 11 de la partie 3.3.2.2.3.1). Certains enfants identifient les bruits et font des descriptions basées sur les sources de bruits comme : « une porte qui fait du bruit » ou « c'était des enfants qui sortaient en récréation ». D'autres fois, ils font des rapprochements telles que : « un cheval qui galope » pour les marches en escalier ou « un caddie qui se range bien » pour le travail avec une règle métallique. Le partage de leurs impressions est fait en groupe et à voix haute, donc à plusieurs reprises les enfants répètent l'explication de leurs collègues. Par ailleurs, ils nomment l'émotion procurée dans l'écoute du bruit comme : « peur » ou « joie » et dans une moindre mesure « sérénité » ou « colère ». Parfois, l'émotion est partagée avec l'utilisation des adjectifs tels que : « joyeux », « calme », « triste » ou « amoureux » et pas directement l'émotion en soit. En certaines occasions, ils partagent plutôt des sensations comme « m'évoque la paix » ou « très fort, j'ai mal aux oreilles » mais également certains jugements comme « j'aime bien », « pas bien », « ça me plaît » ou « j'adore ». Suite à l'analyse, il est intéressant d'observer que depuis le plus jeune âge les enfants n'ont pas la même appréciation des bruits, comme par exemple l'ambiance sonore de la cour de récréation pour certains « c'est énervant » mais pour d'autres « c'est joyeux » et même « rend plein de sérénité » au moins dans l'écoute. Ce travail d'écoute montre également que les enfants sont capables de faire des rapprochements

entre l'écoute et les émotions procurées mais souvent avec l'aide d'un adulte qui va lui demander directement. Le travail préalable sur les émotions se montre comme une aide fondamentale pour encourager l'utilisation des émotions dans les descriptions des sons et bruits écoutés.

4.2.2.1.3.3.2 La recherche des mots pour les environnements sonores et leur utilisation

En poursuivant le travail autour de l'ambiance sonore, les classes élémentaires de Bouvron ont travaillées sur la recherche de 4 mots pour qualifier ce qu'ils entendaient. Selon les retours des enseignants et des élèves, ce n'était pas un travail facile mais ils ont fini par se mettre d'accord.

Dans la classe de CP, parfois ils ont assigné deux mots à la place d'un seul pour recueillir les impressions de tous les élèves. Pour aider à la recherche, l'enseignant de CP utilise la phrase « Ce que j'entends c'est ……. », c'est dans la fin de cette phrase que le mot choisi devait être cohérent et en concordance avec leur perception.

Dans la classe de CP les mots trouvés sont les suivants (Figure 177) :

Figure 177 Mots pour évaluer l'ambiance sonore de la classe de CP.

Selon les retours des élèves :

- Silencieux « c'est quand j'entends quelque chose (pas trop) mais qui ne me gêne pas du tout » comme par exemple « la ventilation de la classe ».

- Calme c'est un son ou un bruit qui ne gêne pas trop. Exemple : « quand on fait de l'écriture ».

- Pour des sons et bruits qui commencent à gêner, pour les enfants de CP la limite entre gênant et bruyant n'est pas très nette mais malgré tout, les deux mots sont assez proches. Exemple : « Quand tu (enseignant) parles et que tu le monde se met à parler ».

- Finalement, ils choisissent énervant – insupportable pour quand « ça va pas du tout » ou « ça gêne beaucoup ». Exemple : « C'est insupportable quand j'entends des personnes qui parlent ».

Dans la classe de CE1 pour trouver les mots, ils ont travaillé à partir des sons et bruits qu'ils entendaient dans la classe comme par exemple « parler à voix haute, c'est comment ? ». Avec cet exercice, ils ont trouvé les mots suivants (Figure 178) :

Figure 178 Mots pour évaluer l'ambiance sonore de la classe de CE1.

Les enfants ont donné des exemples tels que :

- Calme « faire de l'écriture, parce que vu qu'on se concentre tout le monde est calme ».

- Supportable « de petits bruits (matériel scolaire) ».

- Fatigant « la chasse d'eau des toilettes » ou « quand les chaises grincent ».

- Insupportable « l'alarme incendie » ou « quand les enfants parlent en même temps, on dirait que c'est une grosse machine qui est en train de parler ».

Dans le cas des classes maternelles, la recherche des 4 mots pour qualifier les ambiances sonores n'a pas été pas réalisée, l'activité était jugée trop complexe par les enseignants. Ils ont utilisé les mots trouvés par les élèves de CP ou directement travaillé sur une échelle de gêne suivante : « pas du tout », « légèrement », « très » et « extrêmement ».

Ce travail démontre la variabilité dans le lexique autour des ambiances sonores ainsi que la difficulté d'associer des mots aux perceptions. Les mots trouvés par les enfants mettent également en évidence le poids de la subjectivité sur la perception car un même mot peut être interprété différemment selon l'enfant ou le groupe d'enfants (comme par exemple : calme).

À partir des mots trouvés par chaque classe, les enseignants questionnent les élèves sur leurs perceptions selon différents moments de vie de classe (partie 3.3.2.2.3.1) et à plusieurs reprises. L'analyse des retours montre des variabilités entre les réponses des différentes classes. Cependant, pour les niveaux élémentaires l'environnement plus « calme - CE1 » ou « silencieux - CP » est quand ils sont en train de faire du travail individuel comme par exemple de l'écriture. Pour les groupes de grande section (GS) des classes de maternelle, l'environnement plus « silencieux » est quand ils sont tous seuls avec l'enseignant, sans les groupes de moyenne et de petite section (Figure 179). Les autres retours ne montrent pas une tendance claire, pour en avoir une, un plus grand nombre de retours aurait été souhaitable[55].

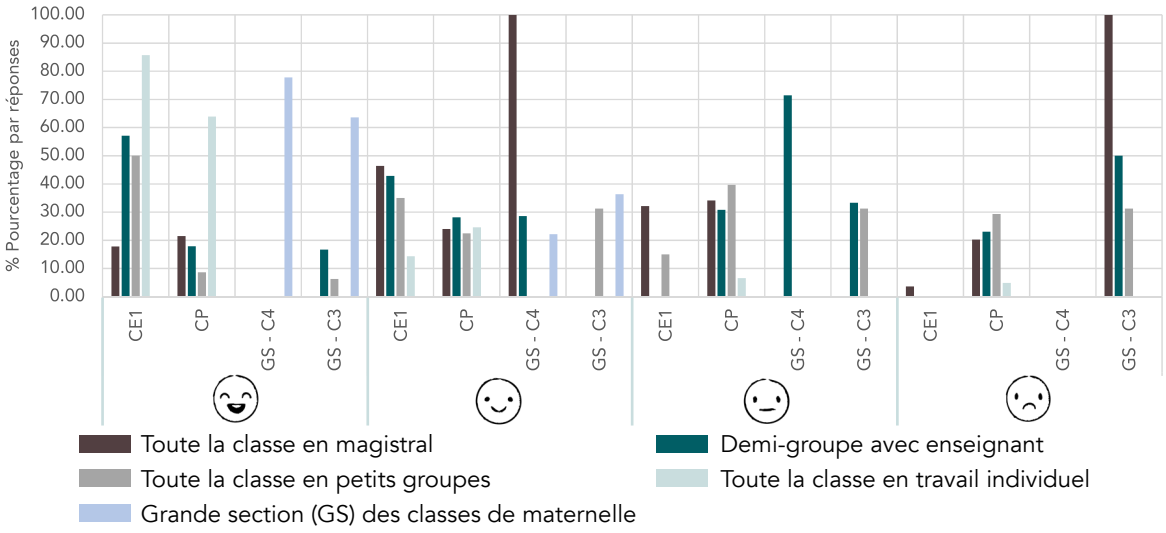


Figure 179 Retours des élèves sur la perception sonore de la classe selon les situations de vie décrites dans la Figure 76.

4.2.2.1.3.3.3 Introduction aux bruit et sons – Le volume et la gêne

Dans un premier temps, un exposé sur les différences entre les sons et les bruits avec la classe au complet est réalisé (partie 3.3.2.2.3.1). Par la suite, les notions de volume sonore et de gêne sont également introduites. Pour le volume sonore nous avons travaillé sur « l'échelle des décibels » (partie 3.3.2.2.3.1). À partir d'une série de dessins des situations dans l'école (Figure 180) mais aussi de références externes (Figure 180), de façon collective (avec toute la classe) les dessins sont

[55] Total des retours : 8 retours de CE1,12 retours de CP, 6 de GS-C4 et 8 de GS-C3.

placés dans une « échelle des décibels » commune sur le tableau de classe (Figure 181). Les mêmes images, et avec la classe au complet, sont placées sur une échelle de gêne (Figure 181). Une fois l'ensemble des images placées, une écoute commune sur l'ensemble des sources ou des situations des images est réalisée. Ce même travail collectif a été réalisé également en petits groupes de trois élèves avec l'ensemble des classes. Cela a permis d'étudier plus précisément les jugements plus personnels des enfants et avoir un panel plus large des réponses.

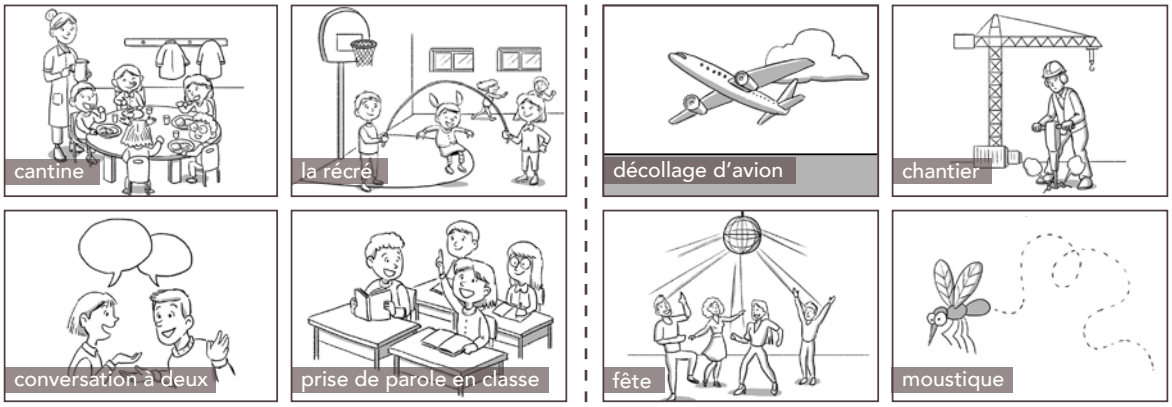


Figure 180 Dessins des situations dans l'école (à gauche) et dessins d'autres sources sonores externes à l'école (à droite).

Figure 181 Travail avec les classes au complet sur les échelles de décibels et de gêne (Bouvron et Baulon).

Dans l'analyse des retours (Annexe 8.3.1), « la prise de parole en classe » et « une conversation à deux », sont cataloguées avec un volume sonore « très faible (1) » ou « assez faible (2) », sur une échelle de bruit de 1 à 6, par plus de 85% des élèves de Bouvron. À Baulon, les élèves resteront sur les appréciations « faible (entre 1 et 3) » mais 35,7% des élèves jugent « la prise de parole » comme « peu faible (3) » et 21,4% des élèves également comme « peu faible (3) » pour « une conversation à deux ». Les appréciations du volume sonore des espaces comme « la cantine » ou « la récréation

» sont plus partagés. Cependant, à Bouvron comme à Baulon, les élèves ont tendance à apprécier un volume sonore plus élevé pour ces deux situations que pour les deux précédentes car plus de 50% des élèves placeront ces deux images entre « peu fort (4) » et « assez fort (5) ».

En analysant l'ensemble des retours des élèves, nous remarquons que quand une source sonore ou une action concrète est identifiable - par exemple le moustique, le décollage de l'avion ou le marteau piqueur du chantier - les jugements sur les volumes sonores sont plus concentrés sur les mêmes niveaux de « l'échelle de bruit » (Annexe 8.3.1). Néanmoins, quand les images représentent des ambiances sonores plus générales d'un espace comme « la cantine », « la récréation » ou « la fête » où plusieurs sources sonores peuvent exister, les volumes imaginés par les enfants sont plus divers. Par exemple, le volume sonore de « la récréation » est considéré par certains groupes comme « assez faible » tandis que pour d'autres « assez fort ». Ces observations nous amènent à imaginer que quand la source est isolée ou identifiable, elle reste plus facilement quantifiable et objectivable par les enfants. En revanche, les enfants montrent une plus grande difficulté à objectiver et évaluer des ambiances sonores où une diversité des sources intervient.

Quand les appréciations sur le volume sonore sont comparées avec les jugements sur la gêne pour des situations comme « la prise de parole en classe » ou « la conversation entre deux personnes » avec un plus faible niveau sonore correspondant également à celles jugées comme moins gênantes (Annexe 8.3.2). Par exemple, au moins 75% des élèves des deux écoles jugent ces deux situations comme « pas du tout gênant » ou « légèrement ». Dans le cas de « la récréation » et « la cantine » l'analyse des jugements est plus complexe surtout si une comparaison est réalisée entre les deux écoles. À Bouvron, 77% des élèves jugent la « cantine » comme « très » ou « extrêmement » gênant et plus de 60% des élèves portent les mêmes jugements pour la récréation. En revanche, à Baulon, 100% des élèves jugent l'ambiance sonore de la récréation « pas du tout » ou « légèrement » gênante et plus de 70% ont le même constat pour la cantine. Cette différence entre les deux écoles remet en question les différentes sensibilités selon les âges (plus jeunes à Bouvron qu'à Baulon) ainsi que la compréhension différente entre gêne et niveau sonore (volume), qui n'est peut-être pas très claire pour les élèves les plus jeunes. Les retours par petits groupes de l'école de Bouvron restent encore plus surprenants quand ceux-ci sont comparés aux retours donnés précédemment dans les travaux collectifs avec toute la classe (voir par exemple les retours des élèves de maternelle Figure 182). Ces retours sur la gêne (Figure 182) placent l'ensemble des situations de l'école entre « pas du tout » et « légèrement » gênantes. Au moment de l'activité collective, l'absence de gêne avait même parfois surpris les enseignants des maternelles[56] (Figure 182). Ce sentiment pas du tout partagé par les enseignants (surtout dans la cantine) mettait en relief les appréciations différentielles entre adultes et enfants mais également comment la perception peut changer du moment que nous sommes impliqués dans l'action. Cependant, les retours en petits groupes remettent en cause cette analyse car une plus grande partie des élèves partagent une gêne plus importante mais en même temps révèlent la complexité d'analyse des paramètres si subjectifs comme la gêne.

[56] Retour d'une enseignant pendant le bilan final : « par rapport ce qui gêne et ne gêne pas, quand tu as fait sur le tableau, c'était assez surprenant ».

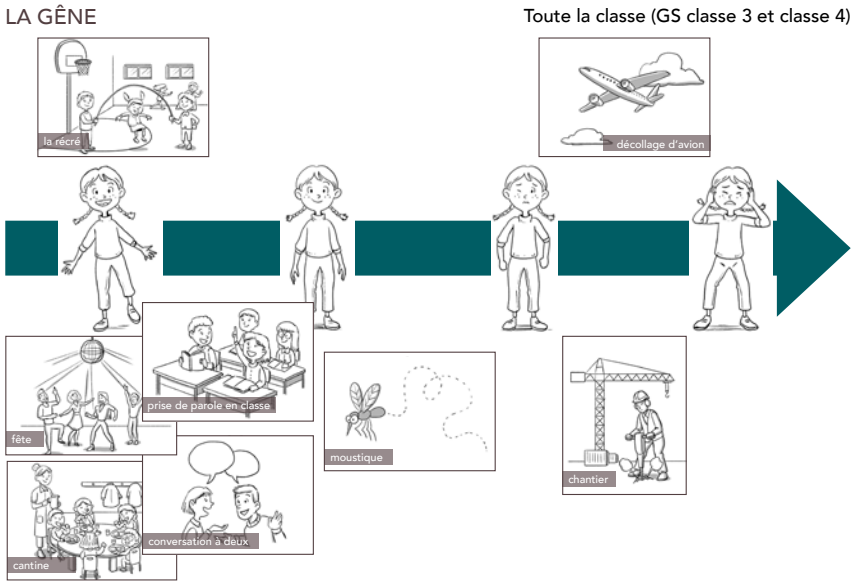


Figure 182 Appréciations de l'ensemble des élèves de maternelle de l'école de Bouvron. Échelle gêne.

4.2.2.1.3.3.4 Identifications des bruits de l'école et de la classe

En continuant le travail sur l'ambiance sonore, les enfants, principalement des niveaux élémentaires, et avec l'aide de l'enseignant, se sont interrogés sur les bruits et sons qui composent leur quotidien dans l'école et la salle de classe (Figure 183). Des bruits sont également associés à différents moments de vie de classe comme par exemple « le travail individuel » (Figure 184). En observant les bruits et sons identifiés par les enfants on observe différentes natures de bruits mais surtout des **bruits générés par les usagers** et essentiellement générés par les élèves en utilisant leurs fournitures personnelles et de l'école (papier, stylo, trousse, etc.). Les autres bruits produits par les élèves sont des actions (les pieds qui bougent, les pieds qui tapent sur le sol, etc.), des bruits produits en contact avec le mobilier (le grincement des chaises et tables, les mains qui touchent la table, etc.) et finalement des voix (des élèves qui parlent, des chuchotements ou des enfants qui rigolent entre autres) (Figure 185).

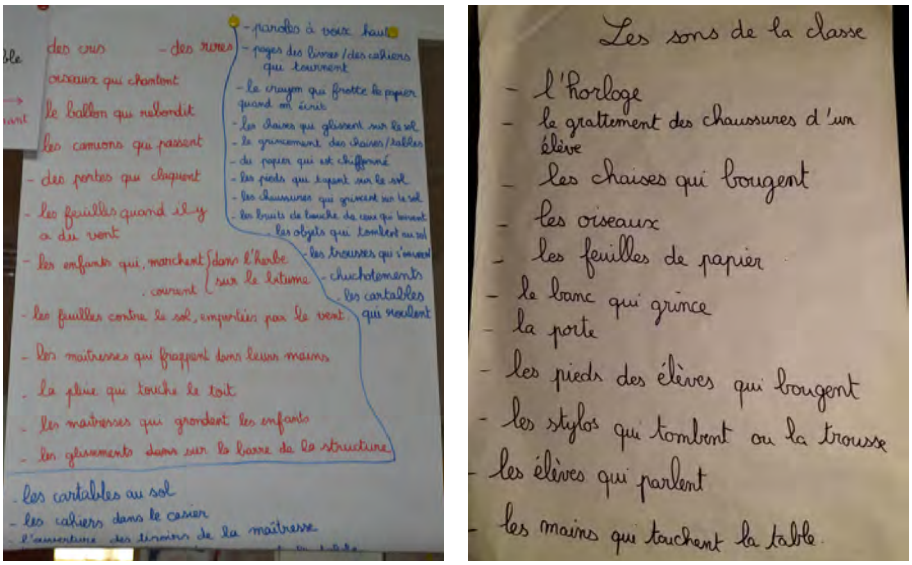


Figure 183 Bruits et sons identifiés dans la vie de l'école et de classe (à gauche travail de la classe de CE1 et à droite de la classe de CP) – Bouvron.

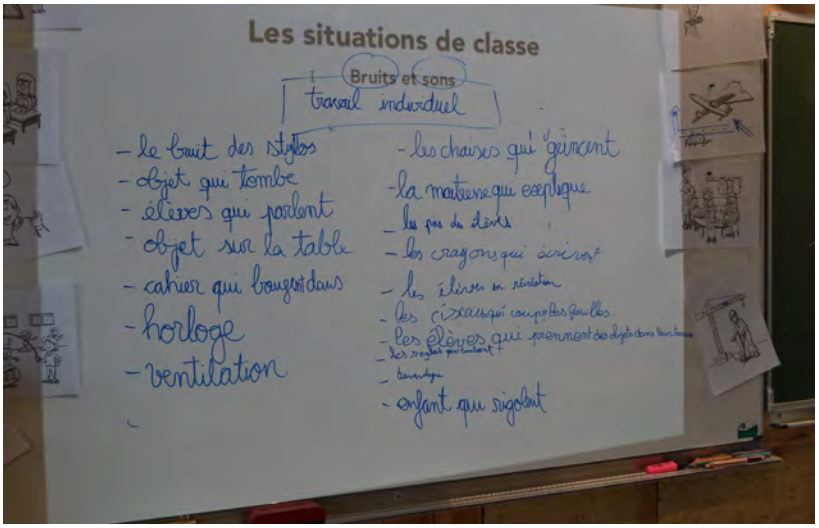
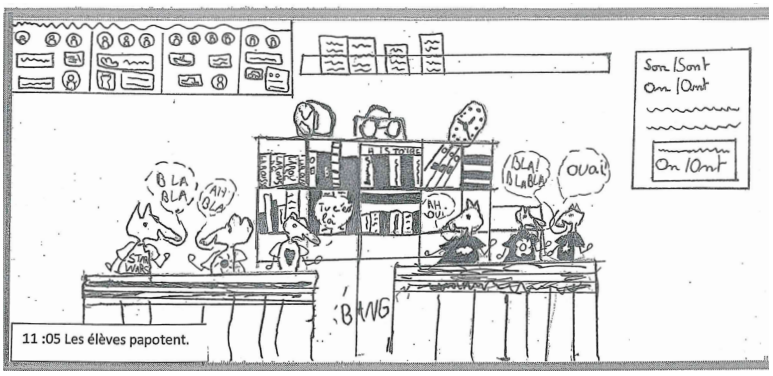


Figure 184 Exemple du travail d'identification des sons et bruits en fonction d'un moment de vie de classe à Baulon.

Figure 185 Catégories identifiées des bruits générés par les usagers.

Dans la continuité et l'identification des sons et bruits de leur quotidien à l'école, les deux derniers cours élémentaires de Baulon ont réalisé un travail commun en forme de bande dessinée représentant une journée « sonore » à l'école (Annexe 8.2). Les évènements sonores sont représentés principalement par des sources « objets » ou par des « situations » sonores (Raimbault et Lavandier, 2006), soit dans la classe soit dans la cour de récréation (Figure 186). Dans l'ensemble des vignettes, les pratiques sonores de l'école sont accompagnées de commentaires décrivant l'action (Figure 187). Les dessins des sources sonores ou des situations sont en même temps accompagnés d'onomatopées avec ou sans graphismes complémentaires comme des lignes de vibration par exemple ou des bulles quand ils cherchent à représenter des sons ou des bruits produits par la voix (Figure 187).



Situation sonore : les enfants dans la classe qui papotent

Sources objet : La cloche

Figure 186 Exemples des évènements sonores représentés.

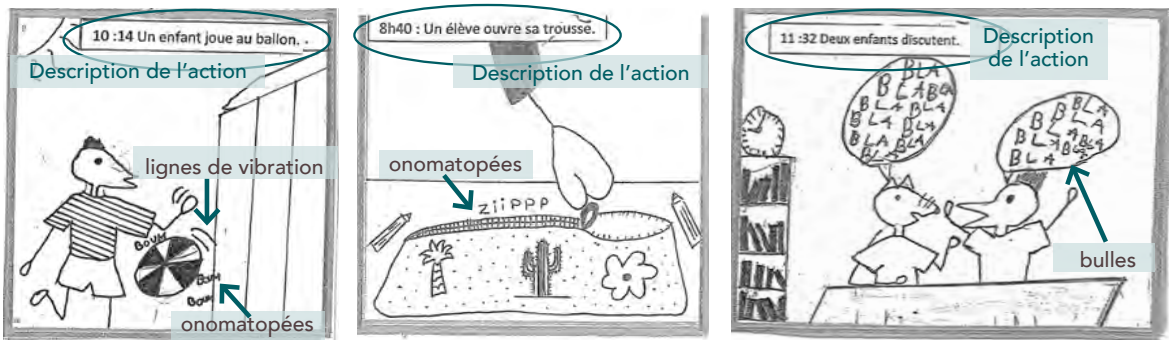


Figure 187 Exemples des différents modes de représentation utilisés.

Comme dans le travail d'identification des bruits et sons de la classe réalisé auparavant (Figure 183), la majorité des bruits et sons représentés dans la bande dessinée sont générés par les usagers. Cependant cette fois-ci un plus grand nombre de voix (qui parlent, qui crient, qui chuchotent et même qui sifflent) sont représentées. Les bruits produits par l'utilisation des fournitures de l'école ou personnelles (trousse, règle, craie, etc.), assez récurrents auparavant, sont moins dessinés. Cette dernière observation entre la représentativité des voix et des sources-objets tels que l'utilisation des fournitures, introduit les notions de fréquence face à la nature du bruit. Car effectivement, il existe une plus grande variabilité (nature) des sons et des bruits produits par les fournitures ou équipements de l'école que par les paroles, comme nous avons pu l'observer dans la liste effectuée par les élèves (Figure 183 et Figure 185). Néanmoins, l'analyse de la bande dessinée montre la voix comme l'élément possiblement plus représentatif de l'ambiance sonore de l'école car c'est celui que les enfants ont représenté le plus souvent.

4.2.2.1.3.3.5 Qualification de l'ambiance sonore des espaces de l'école

Les élèves de Bouvron[57] ont été questionnés de manière individuelle sur le lieu de l'école qu'ils jugent particulièrement calme, moyennement calme-bruyant et bruyant. Il est intéressant d'observer que comme les travailleurs (partie 4.2.2.1.2.6), les élèves ont tendance à juger comme calme des espaces qui, par la nature du lieu, sont des lieux tranquilles, comme le dortoir et la bibliothèque (Figure 188). Pour les espaces plus bruyants, les élèves ont principalement signalé les salles de classe, soit leur propre classe soit des classes à proximité. En moindre mesure la salle de motricité a été également jugée comme bruyante mais surtout comme moyennement calme-bruyante. Après la salle de motricité, la salle tapis - un autre lieu également destiné à l'activité physique - se démarque dans les réponses comme un endroit moyennement calme- bruyant.

[57] L'école de Baulon ne se prêtait pas à cet exercice car dans le bâtiment avec de la terre crue, il y a seulement des salles de classe.

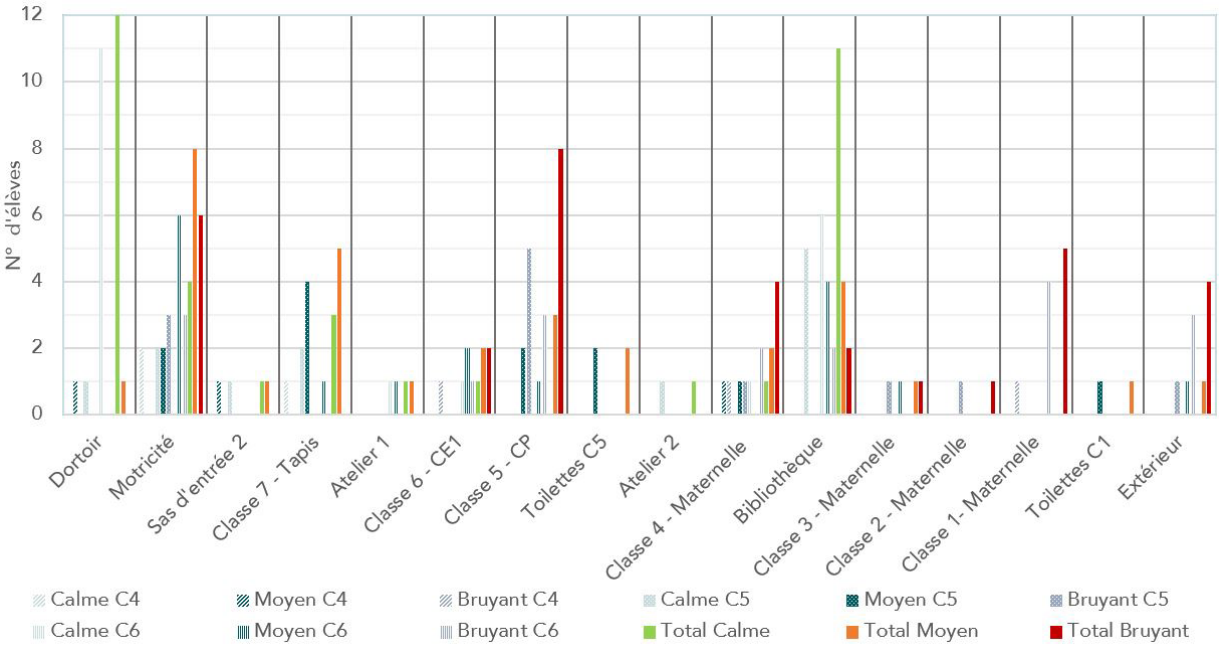


Figure 188 Appréciations des espaces de l'école des enfants de Bouvron par rapport à l'ambiance sonore.

En résumé, les retours sur les espaces et les échanges réalisés avec les enfants montrent une relation entre les activités développées dans la pièce et les perceptions sonores partagées des espaces.

4.2.2.1.3.3.6 Décomposition et recomposition du paysage sonore de la classe

En regroupant les éléments travaillés auparavant comme les bruits et les sons identifiés dans la classe (partie 4.2.2.1.3.3.4) ou les situations de classe identifiées par les enseignants et les élèves, nous avons testé l'interface d'utilisateur tangible auprès des élèves de quatre classes de Bouvron et de deux classes de Baulon (parties 3.3.1.4 et 3.3.2.2.3.3). Avec l'implémentation de cet outil nous avons travaillé sur la décomposition et la recomposition des paysages sonores de la classe avec les enfants.

Cependant, la composition et l'écoute finale des paysages sonores sont précédées de 5étapes préparatoires (partie 3.3.2.2.3.3). Dans les points suivants, nous exposons le travail réalisé plus précisément lors des étapes.

1. <u>Identification et enregistrements des sons et des bruits de la classe</u>

Conjointement avec les enfants et les enseignants, plusieurs natures de sons ont été identifiées. L'analyse des listes réalisées dans la partie 4.2.2.1.3.3.4 et de l'ensemble des sons enregistrés (Annexe 8.4.1) fait ressortir trois catégories de sources sonores (Figure 189) :

- Les **usagers**, élèves et enseignants sont des acteurs actifs et constitue une part importante de la composition des ambiances sonores des écoles. Entre les sons produits par les usagers, nous identifions les catégories suivantes : des voix d'élèves (chuchotement, bavardage), des voix d'enseignants (exposé, appel au calme), des réponses reflexes (rires, soupirs, toux) et des sources sonores produites par des déplacements et mouvements des usagers (marcher, courir).

- Les **équipements** dont nous distinguons le matériel personnel et de travail des usagers (stylo, trousse, gourde), les bruits produits par les usagers en contact avec le mobilier (portes, chaise), les équipements de travail de la classe (vidéoprojecteur, ordinateurs) et les équipements du bâtiment (ventilation, alarmes).

- Les **extérieurs** aux classes et aux activités de l'école comme les sons de la nature (pluie, vent), les animaux (oiseaux, moutons) ou les bruits du trafic (voitures, camions).

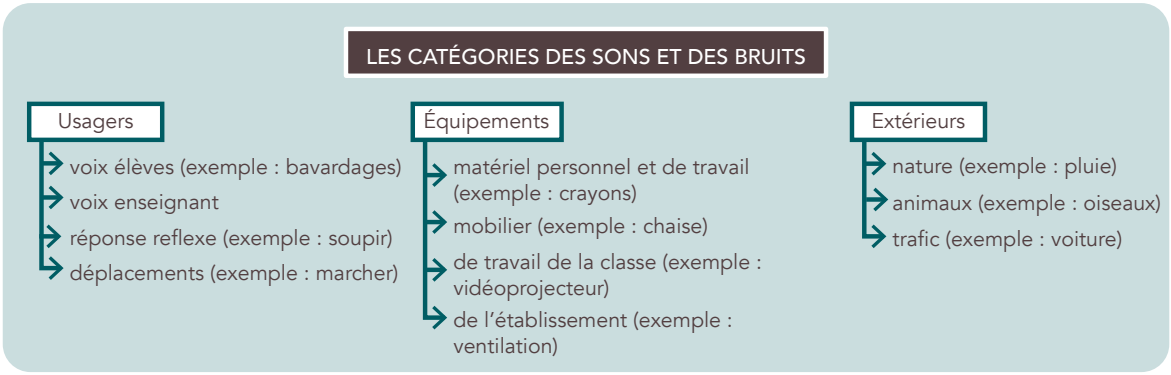


Figure 189 Synthèse des catégories des sons et des bruits identifiés

Une bonne partie des enregistrements des sons et des bruits (et utilisés par la suite) sont réalisés avec les enfants et enseignants. Au total 78 enregistrements ont été réalisés (31 à Baulon et 47 à Bouvron). Les équipements utilisés pour les enregistrements sont présentés dans l'annexe 8.4.2 et le procédé comporte trois étapes : sélection du son à reproduire, vérification de la distance entre les micros et reproduction et enregistrement du son (Figure 190).

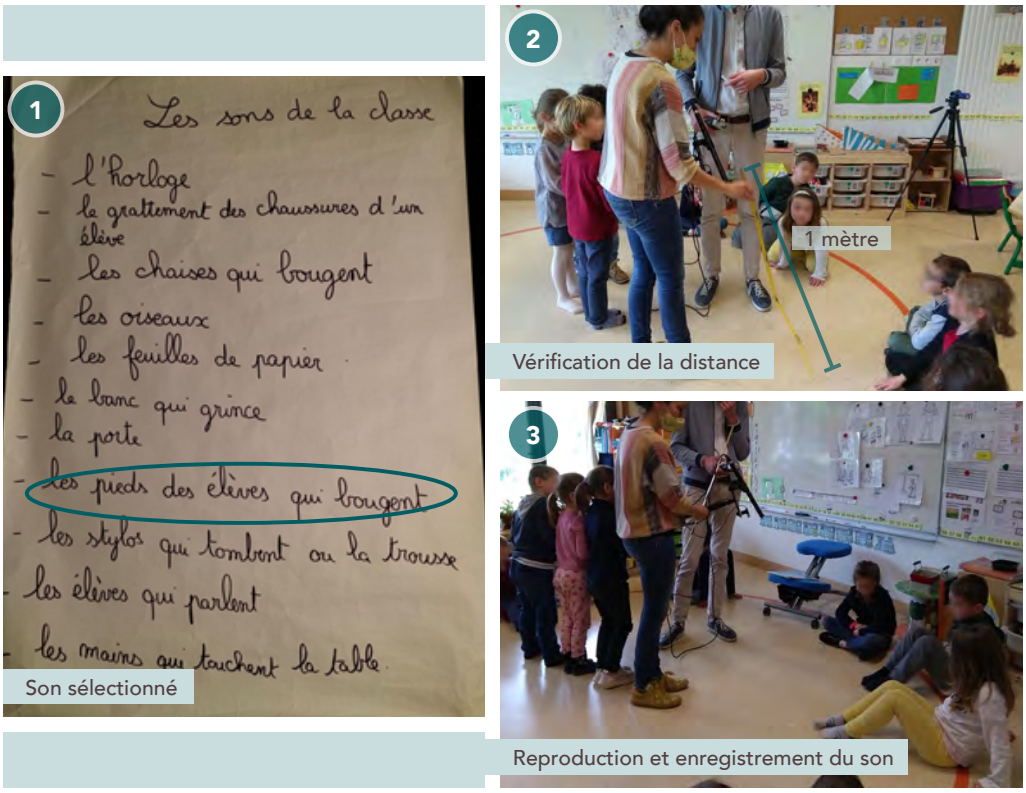


Figure 190 Exemple du procédé des sons enregistrés

2. Organisation spatiale des moments de vie de classe dans la maquette

Les échanges et l'analyse des retours des travailleurs des établissements scolaires font ressortir deux catégories principales de l'organisation et la distribution des usagers dans l'espace pendant les moments de vie de classe : « toute la classe » ou « en groupe » (Figure 191). Dans chaque catégorie, nous retrouvons différentes propositions et c'est sur au moins une de celles-ci que les élèves des différentes classes vont travailler la décomposition et la recomposition du paysage sonore dans la maquette.

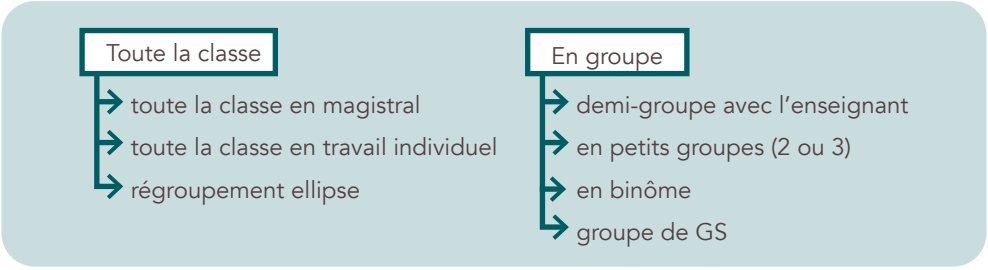


Figure 191 Moments de vie de classe identifiés.

Pour la reproduction d'un moment de classe, dans un premier temps, les élèves vont placer l'ensemble du mobilier et par la suite les personnages représentant chaque élève et l'enseignant en fonction du moment choisi (Figure 192).

Figure 192 Composition d'un moment de vie de classe dans la maquette (exemple : toute la classe en travail individuel - Classe de CE1)

3. Sélection et vérification du volume sonore des sons et des bruits composant le moment de vie de classe choisi

L'ensemble des sons et des bruits enregistrés sont affichés sur le tableau blanc de la classe (Figure 193). Avec toute la classe, l'ensemble des sons sont balayés et ceux présentés dans le moment de vie de classe représentée dans la maquette sont associés à une cible (Figure 193) (pour l'association précise des cibles voir annexe 2.4). Cette cible est placée dans la maquette et grâce à une caméra située au-dessous de la maquette, à environ 1m ou 1,20m, les sons sont activés par l'identification de la cible associée (Figure 194). Quand un son est présent dans différents lieux de la classe par exemple « des chaises qui grincent » une cible est associée à chaque emplacement. En moyenne entre 25 et 30 sons ont été sélectionnés et associés aux représentations des maquettes de chaque classe. Chaque classe (4 à Bouvron et 2 à Baulon) a réalisé cette activité au moins sur un moment de vie de classe.

L'application développée permet également de gérer le volume de chaque son par rapport aux volumes enregistrés et calibrés. Pour la gestion du volume, à chaque fois qu'un son est sélectionné celui-ci est reproduit et ce sont les élèves qui jugent, selon leurs perceptions, si le volume qu'ils entendent est le bon ou si, au contraire, il est nécessaire de monter ou de baisser le volume.

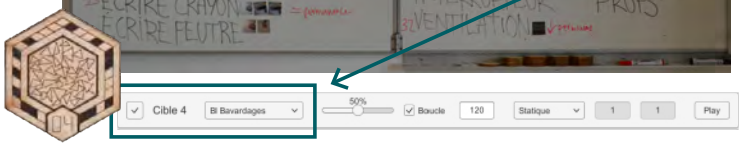


Figure 193 Affiche des sons sur le tableau de classe et exemple d'association d'une cible.

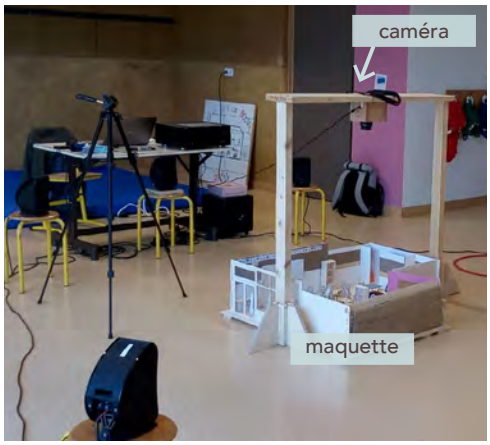


Figure 194 Installation de l'interface d'utilisateur tangible avec caméra pour identification des cibles.

L'analyse de la gestion des volumes des enfants montre que, en ce qui concerne les équipements, plus de 60% des enregistrements ont un volume trop élevé selon les perceptions des élèves. Entre les différentes catégories d'équipements (Figure 189), seuls les équipements de travail personnel sont parfois jugés par les élèves avec un niveau sonore enregistré conforme à la réalité. Ce dernier fait est surtout présent dans l'école de Baulon où 67% des sources sonores du matériel personnel de travail introduit dans la maquette ont un niveau sonore en accord avec les perceptions des enfants. Par rapport aux sons produits par les usagers (Figure 189), les niveaux sonores enregistrés des « réponses reflexes » et des « déplacements » sont jugés trop forts sauf « la marche avec des chaussettes ». Les élèves de maternelle ont demandé d'augmenter le volume de cette dernière. Pour les élèves de CM1-CM2 de Baulon qui ont décidé d'analyser l'ambiance sonore de la classe travaillant en groupes de 3 personnes, les niveaux sonores des chuchotements, des discussions et de toutes les conversations générales entre enfants enregistrés et introduits dans la maquette, ont un volume en accord avec la réalité. Seule une conversation a été jugée trop faible et ils ont demandé d'augmenter un peu le volume. Cependant, pour la même situation, le volume de la voix de l'enseignant a suivi des modifications car selon les élèves le volume sonore de l'enseignant était trop élevé quand il criait mais pas assez fort quand il grondait. À Bouvron, l'ensemble des classes ont choisi de représenter dans la maquette « le travail individuel » (chacun à sa place et seulement les élèves de grande section des classe maternelles). Donc, de façon générale, ce sont des moments plutôt calmes où « on ne parle pas (Elève-C4) » ou « il n'y a pas de bruit (Elève-C4) ». Les rapports des élèves au chuchotement ou au bavardage sont différents selon les niveaux. Les CE1 (une classe plutôt calme en général) juge les niveaux sonores des enregistrements initiaux comme trop forts et ils ont demandé de descendre le volume. Dans la classe de CP (une classe moins calme que celle de CE1), le volume des chuchotements a été descendu mais les bavardages et les

autres conversations ont été augmentés. Finalement, les élèves de maternelle ont trouvé corrects les niveaux sonores initiaux. Il reste intéressant d'observer au niveau des classes élémentaires de Bouvron, comment les niveaux sonores, surtout les voix des enfants, ont réglées en concordance avec les impressions générales partagées par les enseignants sur leurs classes (CE1 – classe calme et sage et CP- classe plus mouvementée).

L'application introduit la possibilité de régler également la répétition des sons dans le temps, la durée et les déplacements des sons dans l'espace, par exemple s'il est statique ou s'il y a un déplacement linéaire comme le parcours d'une marche (Annexe 2.4.2). L'analyse des compositions des paysages sonores des classes réalisées par les enfants montre la présence constante de certaines sources d'équipements comme la ventilation ou l'horloge. Cependant, les premières impressions récoltées des enfants, par exemple celles de CE1, ont souligné également des éléments du mobilier, comme les « chaises qui grincent » comme des sources sonores permanentes. Or, quand l'écoute finale est faite leur présence a été réduite car l'impression initiale (imaginée) ne correspondait pas à la réalité écoutée. Les chuchotements ou les bavardages sont également des sons qui se répètent très souvent au cours d'un moment de classe, ceci vient soutenir des observations déjà faites auparavant sur l'important poids des voix des usagers dans la composition des ambiances sonores des classes et de l'école. Selon la tâche concernée, l'ambiance sonore est également composée par une répétition de sources telles que le « crayon qui écrit » ou d'autre sons associés au matériel de travail personnel. Parmi les sons des équipements personnels d'autres sons comme des stylos qui tombent, la trousse, les gourdes sont moins répétés au cours d'un moment de classe. D'autre par les sons associés aux déplacements (marcher) ou l'utilisation des toilettes restent des sons assez ponctuels et pas très répétés dans les moments de classe choisis. Donc, en résumé, l'analyse montre une prévalence des sons de chuchotement et de bavardage, même pendant les travaux individuels, et une utilisation des équipements de travail personnels associés à une activité (par exemple des crayons qui écrivent). Les autres éléments qui prévalent dans les ambiances sonores analysées sont des sons associés aux équipements du bâtiment comme la ventilation ou l'horloge, mais ils ne semblent pas être des éléments perturbateurs ou gênants pour les élèves. Parfois ils ont même du mal à les repérer, par exemple dans la classe de CP l'enseignant nous explique que « c'était hyper compliqué, il a fallu faire un super silence dans la classe » par rapport au bruit de la ventilation.

4. Placement des sons et bruits

Les cibles associées à chaque bruit sont placées dans la maquette de la classe par les élèves. À Baulon, cette tâche a mis en relief la focalisation des sources sonores dans certaines parties de la classe. Par exemple dans la classe 1 les bruits sont focalisés sur la partie avant de la classe (autour du bureau de l'enseignant) tandis que dans la classe 2 ceux-ci sont situés dans la partie arrière de la classe (à l'opposé du bureau de l'enseignant) (Figure 195). Ces distributions des sons et des bruits correspondent selon les enseignants au choix porté par chaque enseignant à l'emplacement des élèves plus « bruyants ».

Classe 1 Baulon - Travail en groupe

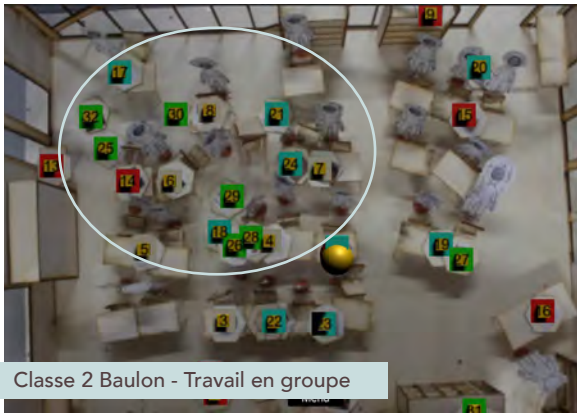

Classe 2 Baulon - Travail en groupe

Figure 195 Emplacement des sons et des bruits des deux classes de Baulon.

Dans le cas de Bouvron, les cibles ont été plus réparties dans l'ensemble de la classe. Cependant dans la classe 3 de maternelle, les cibles sont concentrées autour d'une seule table. La situation de classe recréée pour cette classe était un « travail individuel grande section ». Dans ce moment de vie de classe, l'ensemble des élèves de grande section, entre 5 et 6 élèves, travaillent autour d'une même table. La majorité des sources composant l'ambiance sonore de la classe sont associées aux actions des usagers, donc la concentration des cibles au même endroit de la maquette est raisonnable. Cependant, pendant l'activité, une difficulté fut également observée par les enfants de maternelles pour appréhender autant de sons différents et pour les spatialiser correctement. Donc les deux facteurs réunis pourraient expliquer ce résultat. Dans les autres exemples de vie de classe analysées, les élèves étaient plus répartis partout dans la classe donc ils ont plus facilement distribué les sources sonores.

Classe 3 Bouvron - Travail en individuel GS

Classe 4 Bouvron - Travail en individuel GS

Classe 5 Bouvron - Travail en individuel

Classe 6 Bouvron - Travail en individuel

Figure 196 Emplacement des sons et des bruits des quatre classes de Bouvron.

La tâche de placer les sources sonores dans la maquette de la classe s'avère une activité intéressante pour prendre conscience de la localisation des bruits « dérangeants ». D'un autre côté et vu que la majorité de sources sonores identifiées proviennent des usagers et principalement des élèves, parfois l'activité pouvait devenir une sorte « stigmatisation » vers certains élèves (surtout dans les derniers cours d'élémentaire de Baulon). Donc, pour des futures manipulations, nous conseillons de faire attention à ce fait pour ne mettre aucun élève mal à l'aise, par exemple le travail réalisé de façon individuel ou en plus petits groupes peut être une bonne solution d'une part pour obtenir une plus grande visibilité de la subjectivité de chaque élève mais d'autre part pour éviter toute sorte de stigmatisation.

5. Écoute spatialisée

La dernière étape est l'écoute spatialisée (partie 3.3.2.2.3.3 et l'Annexe 2). Les premiers essais d'écoute réalisés avec les classes de Baulon ont montré un manque de réalisme. Principalement à cause du manque de variété dans les enregistrements des voix d'enfants où les 2 ou 3 conversations enregistrés se répétaient et le résultat s'avère peu crédible pour une classe de plus de 25 élèves. Suite à ces premières remarques, plus d'enregistrements de voix ont été réalisés et les deuxièmes écoutes ont été plus convaincantes Un enseignant de Bouvron a même partagé le fait que « c'est réaliste, franchement oui ».

Figure 197 Disposition des appareils d'écouté spatialisée (à gauche), la classe de Baulon pendant l'écouté (à droite).

Malgré des retours plutôt convaincants sur certaines classes, dans l'ensemble des cas de réajustement des niveaux sonores, des fréquences et même des rajouts de certaines sources ont été nécessaires. Deux enseignantes ont partagé le fait que les classes étaient moins calmes dans l'écoute de la maquette que ce qu'ils entendaient dans le quotidien. Les élèves ont également souhaité ajouter des voix d'enfants, des chuchotements, des discussions et même des bruits d'objets. Pour les classes élémentaires des deux écoles, qui comptent entre 21 et 28 élèves, ces constats ont été assez partagés. Cependant, dans les classes de maternelle qui n'étaient que quelques élèves (un effectif de 6 ou 7) la demande a été inverse, c'est-à-dire de plutôt enlever des sources dans la maquette de la représentation de la classe.

4.2.2.1.3.4 Le parcours commenté - Une perception en mouvement

L'analyse des données récoltées par les parcours commentés proviennent des descriptions réalisées par les enfants, des observations et des photographies prises. Dans un premier temps nous exposons le rapport à la terre de la part des enfants et les descriptions réalisées. Par la suite, les descriptions, les ressentis mais également les formes des repérages pour se situer dans l'espace des enfants sont expliqués. Pour finir, les rapports à l'ambiance sonore sont analysés.

De façon générale, pour avoir les descriptions de leurs perceptions, les enfants ont besoin d'être relancés, des questions telles que : v*ous voyez quoi ? vous sentez quoi ? vous entendez quoi ? vous vous sentez comment ?* ou en demandant les raisons de leurs réponses ou plus d'explications à leurs réponses. Sinon ils marchent sans spécialement décrire et même, parfois, ils ont besoin que nous apportions du vocabulaire[58] pour avoir des descriptions plus précises et complètes. Les enfants ont également tendance à comparer, en utilisant des adverbes tels que « plus » ou « moins » comme « plus calme » ou « moins calme ». Pour exprimer une position centrale ils utilisent parfois des antonymes comme par exemple « chaud-froid » pour exprimer une ambiance « tiède ».

La normalisation de la terre crue

Une absence généralisée des références aux murs en terre de l'espace est constatée dans les descriptions des élèves de CP et CE1. Des 13 groupes (7 CE1 et 6 CP), seuls deux élèves se réfèrent à la terre, un de CP qui réalise une liaison entre l'existence d'un mur en terre dans sa classe et également dans le lieu où il se trouve à ce moment-là et un autre de CE1 qui décrit la bibliothèque en se référant aux murs en terre. Les autres groupes ne parlent pas du mur en terre, même pas quand ils touchent celui-ci. Cependant, entre les élèves de grande section, la totalité des groupes sauf un, nomment les murs en terre quand ils font les descriptions de l'espace qui les enveloppe. Cette première observation questionne, comme dans les cas des enseignants, sur la banalisation des murs en terre des enfants plus âgés et donc une sorte d'habitude instaurée par rapport à celui-ci. Cette banalisation des murs peut par exemple être observée dans le retour d'une élève de CE1, qui, même si elle ne nomme pas la terre, met en évidence le fait d'aimer ces murs car « Ce sont les murs notre école s'il n'y avait pas ces murs, il n'y aurait pas d'école ». Par rapport aux enfants plus jeunes peut-être la proximité des ateliers de la maquette et un travail en cours d'apprentissage sur leur rapport à l'espace fait qu'ils nomment des choses connues et travaillées récemment pour se situer et décrire leur entourage.

Les observations réalisées ont aussi mis en évidence comment les élèves de maternelle tendaient davantage à toucher les murs quand ils marchaient et surtout dans les parties avec des couloirs plus étroits. Cette action était moins courante chez les élèves de CP et CE1. Cette observation a été également corroborée par les enseignants. Une enseignante de maternelle nous exposait qu'il y avait plusieurs raisons qui expliquaient ce fait, d'un côté la texture particulière des murs qui génère une sorte de curiosité chez les élèves mais aussi par leur repérage dans l'espace « quand ils passent par des petits endroits ils touchent les murs qui les entourent pour se repérer dans l'espace ».

Au-delà de nommer les murs les enfants ne font pas énormément de descriptions visuelles, seuls

[58] Le vocabulaire que nous utilisons correspond à celui travaillé en classe dans les différentes activités.

un groupe de CP et un groupe de maternelle parleront de la couleur « marron » des murs. Un élève de maternelle fait même une association entre la couleur et un jugement esthétique car selon lui « c'est moche parce que la couleur marron est moche ».

Même si pendant la marche les enfants touchent parfois les murs (surtout les élèves de maternelles), ils réalisent seulement des descriptions quand nous les interrogeons ou nous rappelons qu'ils peuvent toucher autour. Dans ces cas-là et quand ils touchent les murs en terre, une bonne partie des élèves considèrent que « ça gratte » même parfois ils s'étonnent et ils s'exclament (Figure 198). Des mots déjà retrouvés pendant les activités des boîtes noires réapparaissent aussi. Par exemple les élèves des CE 1 utilisent « rugueux » ou « moins doux » quand ils touchent plusieurs surfaces de suite. En CP et maternelle parfois c'est « ça pique ». Le mot « dur » est également utilisé au moins par un groupe de chaque classe. Au-delà du rapport à la température « chaux » et « tiède », les retours tactiles ne sont généralement pas très positifs même parfois ils confirment ce fait avec des affirmations telles que « Je n'aime pas parce que ça gratte » ou « Je n'aime pas trop car après j'ai mal aux mains et la peau toute sale ». Pendant qu'ils touchent le mur, dans un groupe de maternelle, un élève décrit également les fait qu'« il y a des petits trucs » dans le mur en terre, comme une évidence quand nous demandons *« c'est quoi les petits trucs ? »*, il répond « c'est de la paille ». C'est le seul cas où la paille des murs en bauge est mentionnée.

Figure 198 Mots employés par les enfants au toucher de la terre

Par rapport à l'odeur du mur, les enfants ne sentent rien. Seul un enfant développe légèrement son ressenti en partageant le fait que « le mur ça va, ça sent bon. Ça sent juste un peu la boue ».

Suite à l'analyse réalisée, le rapport à la terre crue des enfants se fait principalement par le toucher. C'est autour de celui-ci que les enfants apportent le plus d'informations. L'autre fait marquant est la banalisation de la présence de la terre crue et surtout pour les élèves d'élémentaire.

Le repérage dans l'espace

Les enfants ont une tendance à se repérer dans l'espace par rapport à leurs expériences vécues comme par exemple « on est dans la salle de motricité, je me souviens car j'ai une photo dans ma tête », « on est dans les couloirs (je sais) parce que je suis allé beaucoup dans l'école » ou « on est arrivés à la classe de L., je sais parce que j'étais dans sa classe avant ». Les repérages sont également parfois réalisés par rapport à ce qu'ils voient comme « on est dans la bibliothèque parce qu'il y a des livres » ou « près de la salle des grands parce qu'il y a des grands ». D'autres fois ils se situent avec des éléments architectoniques comme « on est au bout du couloir parce qu'il y a des portes et là il y a un mur qui coupe le passage, on ne peut pas passer à travers le mur » ou « on est dans le couloir parce qu'il y a plus de murs en terre (groupe de maternelle) ». Parfois, certains enfants se situent dans une partie ou une autre de l'école grâce aux sons qu'ils entendent comme

« on est à côté des classes parce qu'on entend les gens parler ». Donc comme pour les ambiances (partie 2.1), le repérage dans l'espace est réalisé par l'union de la perception et des vécus.

Description de l'espace par les sens

Une bonne partie des élèves d'élémentaire basent leurs descriptions dans les décorations et les dessins de maternelle. Ils sont plusieurs à établir des jugements esthétiques sur les dessins comme « jolie » ou « bizarre » mais aussi ils sont plusieurs à avoir du plaisir à retrouver le dessin de leur petit frère ou petite sœur. Sinon les descriptions des élèves se portent sur les éléments qu'ils voient comme des livres, des chaises mais aussi des portes, la couleur du sol, des murs, etc. Sur l'invitation à toucher, les élèves ont décrit et comparé des surfaces comme par exemple les murs en terre (tièdes et grattants) et les murs avec des plaques de plâtre (doux et froid). Grâce à l'ensemble de notre peau, ils ont identifié différentes températures dans le parcours avec des SAS d'entrée et une salle de motricité plutôt froids et des couloirs chauds ou tièdes. De façon générale ils préfèrent la température dans les couloirs mais plusieurs élèves ont manifesté une préférence pour la fraicheur[59]. Par rapport aux odeurs, de façon générale, les élèves ne remarquent pas d'odeurs particulières. Seul au bout du couloir, à proximité du dortoir, plusieurs élèves ont remarqué une odeur qui n'était pas bonne.

Au-delà des descriptions basées sur les différents sens, les élèves, principalement d'élémentaire décrivent certains espaces de mémoire, en particulier la salle de motricité, un espace qu'ils n'utilisent plus depuis la maternelle.

Ressentis et émotions

Malgré le travail réalisé autour des émotions, le rapport aux émotions ou sensations reste assez sommaire. Quand les enfants sont questionnés, plus de la moitié des groupes répondent « bien » ou « je me sens bien ». Seuls certains élèves de CP partagent une certaine « colère » en ce qui concerne certains endroits de la balade particulièrement bruyants ou dans d'autres cas en faisant référence à une situation de classe où ils n'arrivent pas à écouter car les gens parlent. Il ne s'agit donc pas de références à des moments ou des endroits du parcours commenté. Le manque de lumière dans la salle de motricité a généré de la « peur » chez un élève. Finalement, dans un groupe, également de CP, quand ils sont au bout du couloir (en face du dortoir), un élève nous dit qu'« il est tranquille, zen », sentiment ou émotion confirmés également par ses coéquipiers de groupe. Les autres commentaires resteront assez généraux sur leurs ressentis en les qualifiant de « agréable » ou « désagréable » ou « froid », « chaud » ou « tiède » par rapport à la température. En dépit de tout le travail réalisé auparavant, les élèves (comme une bonne partie des adultes) n'arrivent pas à intégrer la diversité des émotions et des sensations dans leur transmission orale. Probablement par rapport à l'espacement entre les différents travaux mais également la complexité en soit de l'expression des émotions. Parfois les élèves délivrent des réponses attendues car nous exigeons une réponse de leur part. Faire les parcours commentés en groupes peut se révéler être à double tranchant car d'un côté cela peut encourager la participation de certains élèves mais de l'autre côté cela peut créer de la répétition dans les réponses avec l'attendu « moi aussi » et souvent un déséquilibre dans la prise de parole (souvent il y a un enfant qui parle moins). Pour de

[59] Les parcours ont été réalisés en février.

futurs travaux, il peut être intéressant de travailler aussi de façon individuelle avec certains élèves, de préférence avec les plus renfermés.

L'ambiance sonore

Quand on demande aux enfants leurs impressions d'un point de vue sonore, ils décrivent les lieux principalement avec deux adjectifs : « calme » et « bruyant ». Dans l'ensemble des groupes 94% utilisent à un moment ou à un autre l'adjectif « calme » parfois pour comparer avec un autre endroit du parcours comme « un petit moins calme » ou « plus calme » mais l'adjectif est aussi utilisé dans des constructions telles que : « tout calme » ou « calme mais pas trop, trop ». L'adjectif « bruyant » précédé de « pas » ou « moins » ,comme « pas bruyant » ou « moins bruyant », est également utilisé pour exprimer l'absence ou le faible niveau de bruit. L'emploi d'autres mots est plus restreint. Parfois quand certains mots travaillés en classe comme : silencieux, supportable, fatigant ou insupportable (4.2.2.1.3.3.2) sont rappelés conjointement avec calme et bruyant, les enfants les utilisent, mais sans rappel leur utilisation est rare[60]. Parfois, même si cela est beaucoup moins courant, l'ambiance sonore est qualifiée tout simplement comme « agréable » ou « désagréable ».

Quand pendant les parcours, il a été demandé aux enfants de se focaliser sur l'écoute (parfois nous avons demandé aux enfants de fermer les yeux pour cela), les enfants parlent de sources sonores. Nous marquons l'identification généralisée des sources en lien avec les usagers, qu'il s'agisse de la « voix » ou des actions comme par exemple « les pas » (Figure 199). Les élèves nomment principalement des bruits et sons produits par d'autres enfants et c'est également sur ceux-là qu'ils montrent une plus grande gêne surtout quand ils sont en classe. Suite au travail sur les bruits et sons de l'école (4.2.2.1.3.3.4), les enfants ont identifié des sons provenant des équipements du bâtiment comme la ventilation. Pour expliquer les bruits entendus, et surtout dans les classes de maternelles, les enfants reproduisent les bruits entendus avec du son qu'ils imaginent ou revivent comme par exemple l'alarme incendie « bip, bip, bip ! ». Parfois les élèves, et surtout ceux de maternelles, font des rapprochements assez particuliers par rapport aux bruits d'équipements avant de trouver la provenance. Par exemple, la ventilation est « un avion ». Donc au-delà des interprétations et des reproductions des différents bruits et sons entendus pendant les parcours, les sources de gêne principales pour les enfants sont les mêmes que pour les enseignants : ces sources provenant des usagers et principalement des autres enfants.

Figure 199 Sources sonores nommées par les enfants pendant les parcours commentés.

[60] La classe de CP a travaillé avec les mots : **silencieux**, **calme**, **gênant-bruyant** et énervant-**insupportable**.
La classe de CE 1 avec : calme, supportable, fatigant et insupportable.
Note : les mots employés par les élèves pendant les parcours sont en gras.

Par rapport, à l'ambiance sonore nous avons observé comment dans la majorité des groupes un changement de comportement se produisait quand les enfants se trouvaient au fond du couloir (en face du dortoir). Dans cette partie des parcours les enfants sont plus silencieux (parfois ils baissaient même la voix) et ils marchent plus doucement. Cet endroit est souvent qualifié de « calme ». Deux explications pourraient expliquer ce comportement, d'un côté la proximité des dortoirs, lieu connu et destiné au repos donc où le silence est demandé et de l'autre côté, la situation plus éloignée de toute porte d'entrée et donc plus isolée des bruits éventuels comme par exemple la récréation.

Finalement il a été intéressant d'observer qu'à plusieurs reprises, le jugement d'un lieu porte sur des paramètres sonores par exemple « Pas trop agréable parce qu'il y a trop de bruit » ou « je n'aime pas quand il n'y a pas de bruit, j'aime bien quand il y a un petit peu de bruit ». Il est intéressant d'observer nos différents rapports aux bruits dès les plus jeunes âges, et ce qui pour certains peut être dérangeant pour d'autres est rassurant.

Un choix – Les endroits plus et moins appréciés de la balade

À la fin du parcours, les enfants sont questionnés sur l'endroit qu'ils ont préféré et celui qu'ils ont moins aimé. Les endroits qui sont plus souvent nommés sont des endroits avec des affiches, des dessins, des éléments décoratifs en général qu'ils trouvent jolis, qu'ils aiment bien parce que, par exemple, il y a des animaux ou ils sont réalisés par leur frère ou leur sœur. La salle de motricité et la bibliothèque, deux salles avec des activités différentes, sont aussi largement appréciées par les enfants. Pour les élèves de CP et CE1, la salle de motricité est un endroit avec de bons souvenirs et des jeux qu'ils ne fréquentent plus. Ils étaient donc majoritairement contents d'y retourner. Même

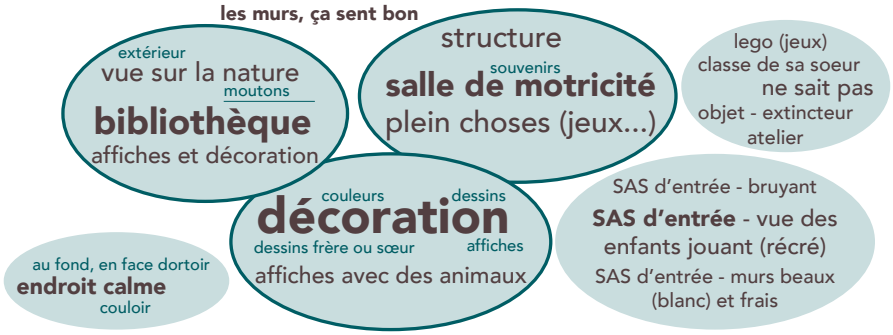


Figure 200 Synthèse des endroits préférés des élèves suite à la balade dans l'école.

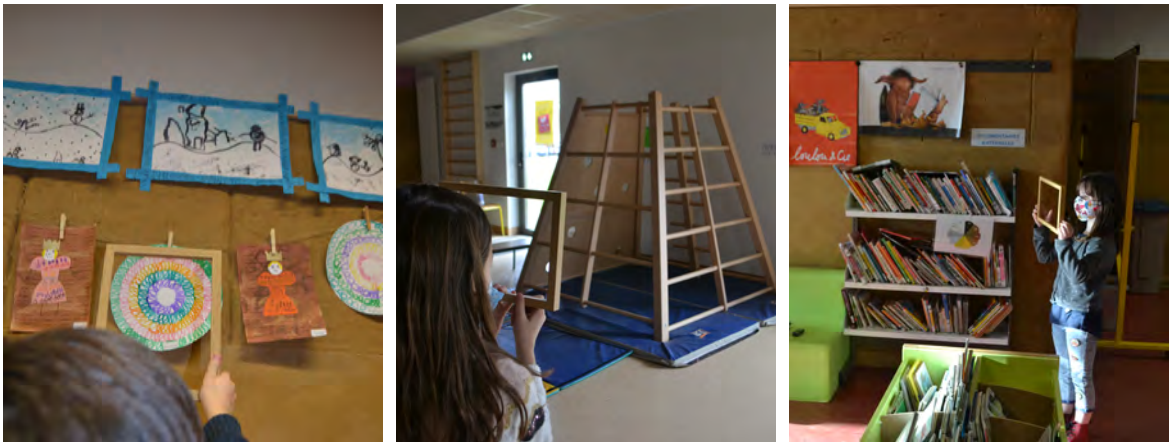


Figure 201 Exemples des endroits préférés des enfants (dessins-décoration, salle de motricité et bibliothèque).

si moins fréquemment, des endroits comme les SAS d'entrée, que ce soit par la vue vers la cour de récréation avec des enfants qui jouent, l'esthétique des murs, la fraîcheur de l'endroit ou un bruit plus important, sont également nommés. Certains enfants apprécient plus des endroits calmes du couloir (Figure 200 et Figure 201).

La variabilité des réponses par rapport aux endroits moins appréciés est plus importante mais une référence récurrente au sonore est observée (Figure 202). Plusieurs enfants n'aiment pas un lieu pour être très bruyant ou pas assez calme. Par rapport à la présence de la terre jamais nommée comme raison des lieux préférés, une élève nomme une partie des couloirs avec de la terre « je n'aime pas parce que ça gratte et aussi je n'aime pas trop », fait qui n'est pas partagé par ses collègues de groupe qui aiment bien cet endroit et les murs. Après le bruit, comme pour le lieu préféré, les jugements esthétiques sur la décoration en général est l'élément le plus déterminant dans le choix du lieu moins aimé. D'autres choix sont portés sur la température dans les Sas d'entrée ou les ateliers par manque de vue vers la nature mais également les finitions des parements (carreaux). Finalement, ils sont plus nombreux à ne pas savoir choisir un endroit moins aimé même un élève nous transmet le sentiment de tout aimer (Figure 202 et Figure 203).

Figure 202 Synthèse des endroits moins appréciés des élèves suite à la balade dans l'école.

Figure 203 Exemples des endroits moins appréciés par les enfants (SAS d'entrée – froid, SAS d'entrée – bruit dehors et le mur en terre car ça gratte).

Tandis que les lieux préférés sont assez basés sur le visuel et les souvenirs, les moins appréciés ont une plus grande relation avec l'ambiance sonore et le niveau de bruit. Cette dernière appréciation vient soutenir les observations réalisées sur les sources sonores et la perturbation que le bruit peut avoir même pour les plus petits. En ce qui concerne la terre crue, à l'exception de deux enfants, la terre ne paraît pas jouer un rôle majeur dans les perceptions ni dans la construction de leurs ressentis.

4.2.2.1.3.5 Les mots des élèves à leurs parents

Dans les questionnaires distribués aux parents, il y avait la question « *Quels mots utilisent couramment votre enfant pour exprimer sa perception (du point de vue de son ressenti) de l'***école** *? » et aussi « de sa* **classe** *? »*. Dans le cas de Bouvron, les parents ont signalé la difficulté à obtenir des retours de leurs enfants principalement par rapport à l'âge de ceux-ci. Souvent les retours tournaient autour des notions générales comme « bien », « joli », « grand » ou simplement, ils exprimaient le fait de bien aimer l'école et la classe. À aucun moment des retours sur la terre ou la matérialité de l'école n'ont été exprimés. Cependant, dans les retours de Baulon avec des enfants plus âgés, certains aiment bien ou trouvent jolie leur école et leur classe car il y a de la terre crue. Un enfant a fait aussi l'association de l'école avec une ferme possiblement par la présence de la terre crue qui est présente dans le patrimoine rural de la région (Figure 204). À Bouvron à aucun moment les enfants n'ont abordé les notions d'écologie. En revanche, les élèves de Baulon, possiblement du fait de leur âge et de leur sensibilisation plus grande aux enjeux environnementaux[61], ont nommé l'écologie et arrivent même à associer le fait qu'il fait toujours bon dans leur classe au fait que l'école est écologique (Figure 204). Il reste intéressant d'observer les remarques réalisées par deux élèves sur les qualités acoustiques de la classe. Une élève partageait avec ses parents le fait d'entendre la classe d'à côté et un autre élève faisait une relation entre la présence de la terre crue et la plus faible résonance « J'aime bien la terre sur les murs parce que ça ne résonne pas (moins qu'avant, l'autre école ». Même si ça reste deux cas, il est intéressant de retrouver ces réflexions chez les enfants car effectivement ce sont deux notions remarquées suite à la réalisation des mesures physiques mais également dans les échanges et retours aux questionnaires de travailleurs.

*Figure 204 Synthèse des réponses des parents de l'école de Baulon à la question : « Quels mots utilisent couramment votre enfant pour exprimer sa perception de l'***école** *? / de sa* **classe** *»*

Pour faciliter la compréhension, les mots de la même famille ont été regroupés par un seul mot (en gras ci-dessous) :

***bien** / très bien / c'est bien / j'aime bien / se sent bien | **jolie** / belle | **écologie** / écolo | **chaud** / il fait bon / bon ni trop chaud ni trop froid | **nature** / végétalisé | **terre** / mur en terre | **acoustique** : elle entend la classe d'à côté / ça ne résonne pas.*

4.3 Synthèse du chapitre

Par rapport à nos questionnements initiaux (1.2.1 et 4.1), nous identifions des rapports à l'espace et la terre crue différents selon le type d'usager. Les parents ont une adhérence plus forte au récit du projet et les valeurs environnementales associées aux bâtiments. Ces valeurs sont souvent associées aux matériaux naturels comme la terre crue. L'influence de la terre crue est aussi constatée dans un changement de comportement à Bouvron car ils baissent la voix et ils touchent le mur en terre. Par ailleurs, les travailleurs construisent leurs représentations des perceptions principalement sur

[61] Pendant la construction du nouveau bâtiment de l'école, les enfants ont participé à des ateliers sur la terre crue et ils ont suivi également la construction de leurs nouvelles salles de classe.

une base fonctionnelle et organisationnelle de l'espace et les enfants sur leurs mémoires et les représentations individuelles et collectives. Au premier abord, seuls les parents d'élèves semblent intégrer la terre crue dans leurs perceptions. Toutefois, en approfondissant dans la recherche des explications, les travailleurs considèrent que le côté naturel, la couleur apaisante ou l'effet cocooning que produit la présence de la terre crue se joue dans leurs ressentis généraux de l'espace, et la terre crue favorise la création d'ambiances plus agréables et apaisantes. Les enfants ne semblent pas être spécialement interpellés par la présence de la terre crue ou pas d'une manière consciente. Cependant, les observations comportementales réalisées nous interrogent sur l'influence de la terre crue et surtout sur les plus petits (maternelle).

L'ambiance sonore perçue et vécue par les usagers habituels (travailleurs et enfants) semble s'appuyer sur trois traits significatifs : d'abord, que ce soit pour les adultes ou pour les enfants, les descriptions par les sources et l'attention particulière donnée aux sources des usagers, ensuite l'importance de l'usage et enfin l'identification des phénomènes physiques (seulement pour les adultes). C'est seulement dans l'association à ces phénomènes physiques que parfois les usagers vont intégrer la présence de la terre crue comme un matériau qui favorise la baisse de la résonance de la pièce et propice des ambiances feutrées

En se référant à l'ambiance sonore, si les données physiques mesurées sont en accord avec la règlementation et les retours des usagers sur les qualités acoustiques favorables, comme par exemple à Bouvron, les travailleurs trouvent des relations favorables entre la présence de la terre et l'ambiance sonore perçue. Ils associent la terre à « l'atténuation ou l'absorption des sons » mais également à une « ambiance plus feutrée ». Cependant, du moment que la gestion acoustique n'est pas satisfaisante comme par exemple à Baulon, les travailleurs peuvent presque relier les défauts acoustiques à la présence de la terre crue ou au moins avoir du mal à établir un lien favorable à la terre crue pour la création des espaces acoustiquement confortables et efficaces.

L'étude des paramètres acoustiques réglementaires tels que le niveau de bruit de fond, l'isolation entre classes, le temps de réverbération ou l'intelligibilité s'est avérée une méthode utile pour connaître les caractéristiques générales des salles de classe et des espaces étudiés. Les caractéristiques mesurées ont pu également se corréler avec les retours des usagers et mettre en évidence leur convergence. Cependant, il est compliqué d'estimer l'apport précis de la terre crue sur les valeurs globales obtenues. À ce propos, l'approfondissement sur les phénomènes d'absorption in situ et en laboratoire, et sa convergence dans les simulations acoustiques, ont permis d'avoir certains facteurs d'interprétation pour mieux comprendre l'influence de la terre sur les performances acoustiques des salles étudiées. Ainsi, les résultats obtenus ont mis en relief la versatilité de la terre crue et comment selon sa mise en œuvre et la nature des mélanges, les coefficients d'absorption peuvent balayer presque l'ensemble des valeurs. La technique de mise en œuvre, la nature et le pourcentage des fibres et l'état de surface plus ou moins homogène ont des conséquences directes sur l'absorption et la réflexion des parois en terre crue. Par ailleurs, tant pour les mesures in situ que pour les mesures en laboratoire dans le tube de Kundt, les valeurs d'absorption mesurées varient peu en fonction de la fréquence, les pics d'absorption sont rares. Ce comportement plutôt linéaire permet d'envisager des corrections acoustiques plutôt constantes pour l'ensemble du spectre, ou au moins entre les fréquences de 350Hz et 3000-4000Hz.

Chapitre 5. Cas d'études : une même salle avec et sans terre crue

5.1 Introduction

En reprenant l'idée de « re-sensibiliser » l'architecture abordée dans le chapitre 2 (partie 2.1), nous tentons d'étudier comment les matériaux naturels et plus précisément la terre crue, face à des matériaux industriels, a la capacité de générer des processus d'appréhension avec une plus grande implication de notre corps et donc de l'ensemble de notre sensorium (Figure 205). L'objectif est également d'étudier et de comprendre comment la terre crue peut venir enrichir l'expérience sensible de l'ambiance perçue.

De ce fait, dans le but de répondre au questionnement exposé ci-dessus, dans ce chapitre, nous travaillons avec l'idée de **comparaison**. Plus concrètement, l'expérience réalisée et présentée dans les pages suivantes a donné l'opportunité d'étudier et d'analyser un même environnement avec et sans terre crue dans deux contextes et avec deux mises en œuvre différentes et, par conséquent d'analyser:

Comment le changement de matérialité d'un lieu peut modifier la perception de celui-ci ? et plus concrètement, comment la terre crue peut influencer l'ambiance perçue ?

Dans ce chapitre nous nous interrogeons également sur le rôle à jouer des matériaux naturels telle que la terre crue comme moyen de renforcement d'une architecture multi-sensorielle mais aussi comme moteur d'éveil des sens. À cet égard, cette expérience a permis également de nous questionner sur la multi-sensorialité dans l'appréhension d'un espace et le vocabulaire utilisé pour le décrire :

Comment identifier et décrire les sentiments corporels ? Est-ce que la terre crue peut amener un plus grand éveil des sens ?

Figure 205 Une architecture devenu fade – Comparaison d'une a rchitecture vernaculaire (à gauche) et un lotissement à Saint Herblain (44) (à droite).

Contrairement aux chantiers de construction conventionnels qui utilisent des matériaux issus de l'industrie, les chantiers de construction en terre peuvent permettre aux futurs utilisateurs, aux non-professionnels et au grand public de participer aux chantiers de construction. Dans le cadre de cette étude nous avons organisé un atelier de production et mise en œuvre de briques en terre crue et un atelier de réalisation d'un enduit en terre avec des bénévoles non professionnels. Ces expériences permettent aux participants d'être en contact avec une matière première – de plus en plus rare car les matériaux et les objets qui arrivent entre nos mains ont suivi de multiples transformations - et de découvrir une technique de mise en œuvre en terre crue. Certains des participants des ateliers ont été également interviewé pour analyser comment une participation active aux phases de chantier pourra générer des changements dans la perception de l'ambiance, ou autrement dit :

Cette implication pourrait-elle laisser des traces sous le vécu et modifier la perception d'un espace ?

Finalement, avec l'expérience exposée dans ce chapitre, nous tentons d'étudier comment la présence de la terre peut modifier les performances acoustiques d'un espace. Grâce à cette expérience, nous avons eu l'opportunité de comparer les performances acoustiques d'un même espace avec et sans terre crue. Cette comparaison a été aussi possible d'un point de vue plus subjectif. Même si nous considérons que la séparation des sens est artificielle du point vu du ressenti et de l'ambiance perçue, la dimension sonore a été aussi mise en avant séparément afin d'explorer comment des liens avec notre milieu se tissent à travers elle. Donc :

Les textures, les appareillages et en résumé les mises en œuvre de la terre peuvent-ils changer les performances acoustiques d'un lieu et en conséquence le rendre plus agréable à vivre ? Ces changements sont -ils possibles à retrouver également dans la perception des usagers ?

5.2 Les profils des participants

À Grenoble ont participé 23 personnes (13 femmes et 10 hommes) âgés de 19 à 57 ans et de 9 nationalités, de milieux sociaux et culturels différents. Entre les 23 personnes, il y a 9 personnes qui ont fait l'expérience dans la salle deux fois (profil 3 et 5) (Tableau 43). Les caractéristiques des différents profils sont expliquées dans la partie méthodologique (3.3.2.3.4).

Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4	Profil 5
7 participants (3 femmes et 4 hommes)	5 participants (2 femmes et 3 hommes)	5 participants (3 femmes et 2 hommes)	2 participants (1 femmes et 1 hommes)	4 participants (5 femmes)

Tableau 43 Profils des participants de Grenoble.

À Barcelone ont participé 21 personnes (11 femmes et 10 hommes) âgés de 18 à 56 ans et de 7 nationalités. La totalité des participants ont fait des études universitaires ou sont en train de les faire. Entre les 21 personnes, il y a 8 personnes qui ont fait l'expérience dans la salle deux fois (profil 3 et 5) (Tableau 44).

Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4	Profil 5
7 participants (4 femmes et 3 hommes)	6 participants (2 femmes et 4 hommes)	7 participants (4 femmes et 3 hommes)	0 participants	1 participants (1 femmes)

Tableau 44 Profils des participants de Barcelone.

5.3 Analyse des résultats

Concernant ces données, il est important de signaler que dans aucun cas les analyses et les conclusions ici exposées ne cherchent à faire des généralisations mais ont pour but d'exposer les singularités de cas d'études concrets. Comme exposé dans la partie sur les techniques de recueil d'informations de la méthodologie (partie 3.3.1), nous réalisons une étude exploratoire.

5.3.1 Approche physique

Les mesures physiques concernent principalement les propriétés acoustiques des pièces. Le temps de réverbération et le STI (Speech Transmission Index). Cependant, pendant l'isolement dans la salle des participants, (voir protocole dans la partie 3.3.2.3.4) la température et l'humidité relative sont également mesurées. La prise de mesures a deux objectifs ; d'une part connaître les caractéristiques physiques des salles et d'autre part pouvoir confronter ces mesures avec les retours sur le perçu et le vécu des participants dans les deux salles d'expérimentation.

5.3.1.1 La mesure physique – Valeurs acoustiques

Des mesures de temps de réverbération et STI sont réalisées avant et après l'incorporation d'un mur de briques de terre crue à Grenoble et d'un enduit en terre crue à Barcelone. Ces mesures permettent de vérifier si le changement réalisé dans la salle apporte des modifications significatives sur la qualité acoustique des pièces ou pas.

Dans les deux cas d'études, les mesures réalisées montrent une, même si réduite, diminution du temps de réverbération vers les fréquences aigües avec la présence de la terre crue (Figure 206 et Figure 207). Dans le cas de Grenoble la diminution est produite surtout à partir de la bande de 800Hz et elle correspond à une diminution entre 5% et 14% par rapport au $T30$ de la pièce sans la présence de la terre. À Barcelone, la réduction s'observe un peu plus tard, aux alentours de la bande de fréquence de 1250Hz et elle est moins importante, entre 3% et 7%.

L'autre observation qu'il est possible de faire est par rapport aux valeurs obtenues. Dans le cas de Grenoble entre 200Hs et 1250Hz pour les deux cas (avec et sans terre crue), le temps de réverbération mesuré est supérieur à 1s. Si la pièce est considérée comme une salle de réunion, selon la règlementation et en prenant en compte du volume de la pièce (62,5m^3), les valeurs obtenues sont supérieures à celles prescrites (entre $0,4 \leq Tr \leq 0.8$ secondes). Donc même l'amélioration observée avec la présence de la terre crue, il est fort possible que la pièce ait une réverbération assez marquée, par rapport à sa taille, qui pourra perturber certains usagers. Le 0,8 seconde recommandé par la réglementation est uniquement atteint avec la présence de la terre crue et aux alentours de la bande 2500Hz et supérieurs. Dans le cas de Barcelone, dans les deux

cas (avec et sans terre crue), les valeurs obtenues sont situées entre 0,4 ≤ Tr ≤ 0.8 secondes donc conformes à la réglementation par rapport à l'usage et le volume de 79 m^3 de la pièce (Figure 206 et Tableau 45). Donc la salle de Barcelone risque d'avoir une réverbération moins marquée pour les usagers.

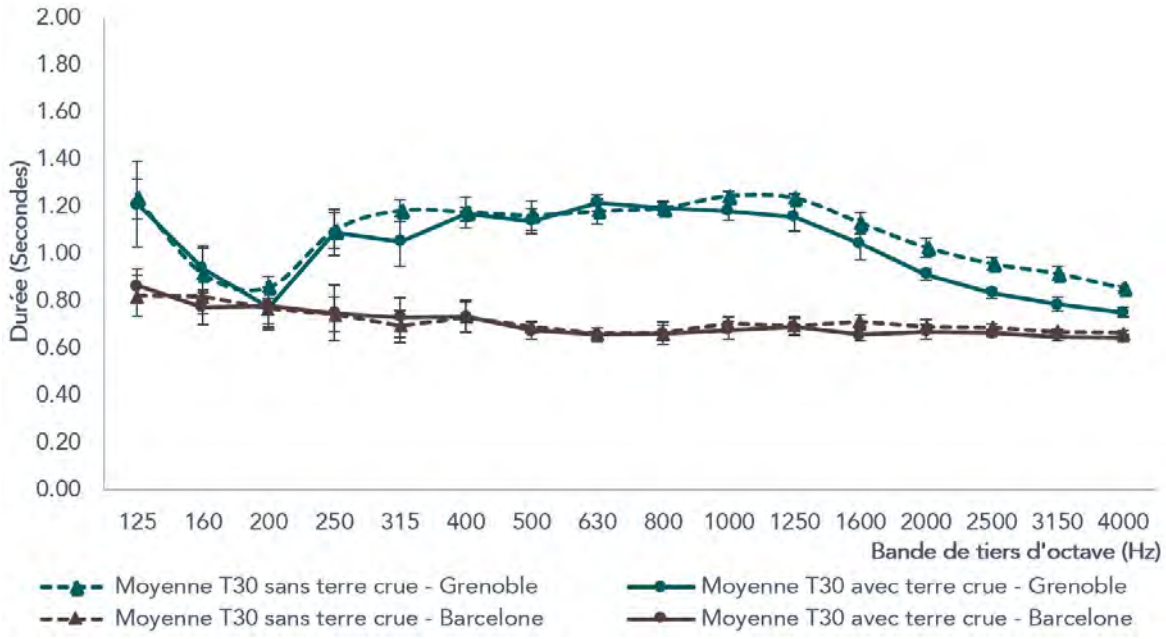


Figure 206 T30 de salles d'expérimentation de Grenoble et Barcelona avec et sans terre crue. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure.

	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	Moy.
Moy. T30 ST Grenoble	1,23	0,92	0,86	1,10	1,18	1,18	1,16	1,18	1,19	1,25	1,24	1,13	1,03	0,96	0,92	0,85	1,09
Écart type	*0,09*	*0,11*	*0,05*	*0,08*	*0,05*	*0,06*	*0,06*	*0,05*	*0,03*	*0,02*	*0,02*	*0,05*	*0,04*	*0,03*	*0,03*	*0,01*	*0,05*
Moy. T30 AT Grenoble	1,21	0,94	0,78	1,09	1,05	1,17	1,14	1,22	1,20	1,18	1,16	1,05	0,91	0,83	0,79	0,75	1,03
Écart type	*0,18*	*0,10*	*0,09*	*0,10*	*0,11*	*0,03*	*0,05*	*0,03*	*0,03*	*0,04*	*0,06*	*0,07*	*0,02*	*0,02*	*0,03*	*0,02*	*0,06*
Moy. T30 ST Barcelone	0,82	0,82	0,77	0,75	0,69	0,73	0,69	0,66	0,67	0,70	0,70	0,71	0,69	0,69	0,67	0,67	0,72
Écart type	*0,07*	*0,07*	*0,08*	*0,12*	*0,08*	*0,07*	*0,04*	*0,03*	*0,05*	*0,04*	*0,04*	*0,03*	*0,03*	*0,01*	*0,02*	*0,01*	*0,05*
Moy. T30 ST Barcelone	0,87	0,78	0,78	0,75	0,73	0,74	0,68	0,66	0,67	0,68	0,69	0,66	0,67	0,67	0,65	0,64	0,71
Écart type	*0,09*	*0,07*	*0,09*	*0,07*	*0,07*	*0,07*	*0,03*	*0,03*	*0,03*	*0,03*	*0,04*	*0,03*	*0,03*	*0,02*	*0,02*	*0,01*	*0,04*

Tableau 45 T30 de salles d'expérimentation de Grenoble et Barcelona avec et sans terre crue par bande d'octave. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce.

Dans l'annexe 9.2, des informations complémentaires des salles pendant la mesure où les valeurs en forme de tableau sont également données.

Par rapport aux valeurs de STI, la majorité des points de mesures dans les deux cas d'étude et les deux cas de figure (sans et avec terre crue) sont situés entre 0,65 et 0,75 (Figure 207 et Figure 208). Donc, selon l'échelle d'appréciation du STI (Figure 44), l'intelligibilité est considérée comme «Bonne». Or, si nous regardons en détail les mesures, plusieurs choses peuvent être observées pour chaque cas d'étude. Dans le cas de Grenoble, une meilleure intelligibilité s'observe sur les points de mesure plus proches à la source par rapport à ceux plus éloignés. Cependant, si les deux situations

(avec la présence du mur en terre et sans le mur) sont comparées, une amélioration est observée dans l'ensemble des valeurs, sauf celui placé juste en face de la source, quand le mur en terre est présent. Ce fait est encore plus intéressant quand nous regardons le niveau de bruit de fond qui est légèrement plus haut avec le mur en terre crue (Tableau 46). En toute logique l'augmentation du bruit de fond aurait dû entraîner une baisse de l'intelligibilité or nous observons l'effet contraire. Donc cette situation ouvre la possibilité à d'autres réflexions sur la présence de la terre crue et sa relation avec hausse d'intelligibilité. Par exemple, la présence du mur en terre au fond de la pièce aurait pu apporter une absorption mais également une diffusion du son atténuant l'effet du champ réverbérant sur l'intelligibilité et un son direct plus net (plus d'intelligible) (3.2.1.2.1).

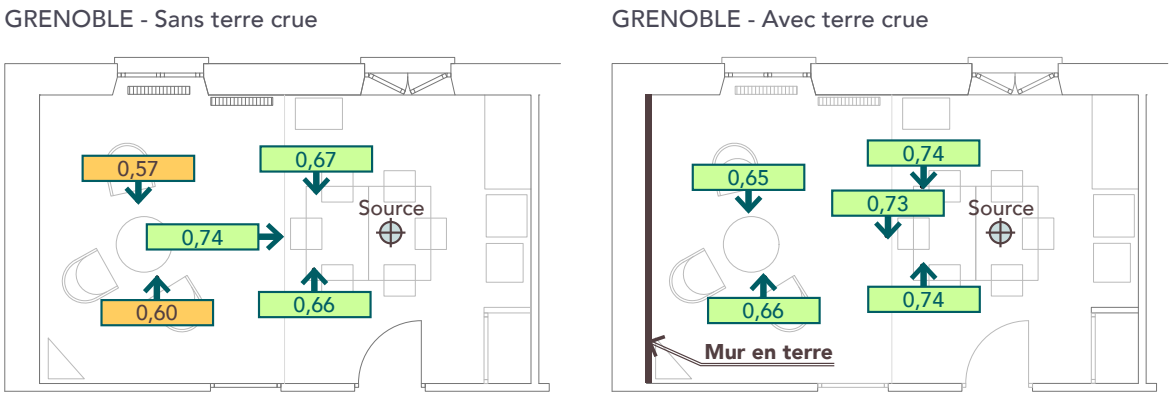


Figure 207 Valeurs d'intelligibilité à la parole - Speech transmission Index (STI) – Grenoble.

	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Global
Grenoble ST	27.9	31.0	25.2	23.4	23.1	21.7	22.0	**34.7dB(A)**
Grenoble AT	35.1	34.0	25.5	23.5	19.0	16.9	18.0	**38.1dB(A)**

Tableau 46 Bruit de fond pris en compte pendant la mesure de STI – Grenoble

À Barcelone, la hausse de 10dB du bruit de fond peut expliquer, en bonne partie, la baisse d'intelligibilité dans 3 des 5 points (Figure 208 et Tableau 47). En outre, ces points sont les plus proches des surfaces réfléchissantes comme le verre. La proximité des surfaces réfléchissantes peut également amplifier l'effet du champ réverbérant sur l'intelligibilité. Les deux points qui montrent une toute légère augmentation de l'intelligibilité sont ceux qui sont aussi plus proches d'autres surfaces (comme l'enduit en terre) que le verre. Donc comme dans le cas de Grenoble la terre peut, peut-être, améliorer dans une certaine mesure, l'intelligibilité mais avant une telle affirmation plus d'essais mériteront d'être réalisés.

	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Global
Barcelone ST	35.9	30.0	26.4	25.7	21.9	20.6	20.4	**37.8dB(A)**
Barcelone AT	44.6	43.2	39.2	33.3	30.2	26.0	21.6	**47.9dB(A)**

Tableau 47 Bruit de fond pris en compte pendant la mesure de STI – Barcelone

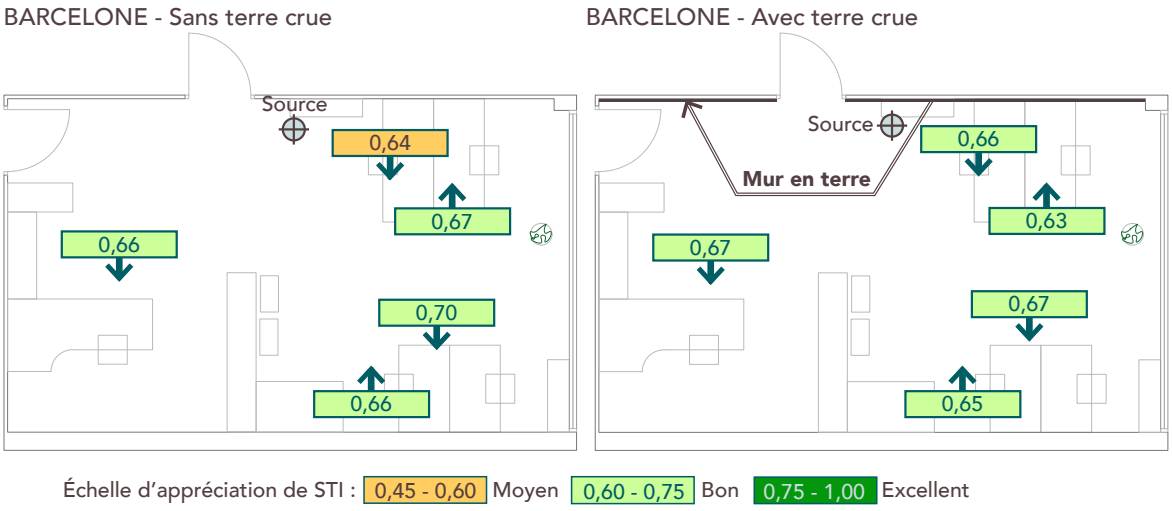


Figure 208 Valeurs d'intelligibilité à la parole - Speech transmission Index (STI) – Barcelone

5.3.1.1.1 Résumé des données obtenues

Les réductions observées sur le temps de réverbération restent réduites pour pouvoir accorder à la présence de la terre crue un rôle significatif dans la qualité acoustique finale des salles. Cependant, il faut signaler que les modifications sont réalisées uniquement sur un mur de la pièce représentant 18,55% du total des surfaces verticales à Grenoble et 23,08% à Barcelone et dans l'ensemble des surfaces (plafonds et sol compris), la modification représente 10% dans les deux cas d'étude. Donc avec une intervention dans l'ensemble des surfaces (au moins verticales), l'influence finale aurait sûrement été plus significative. Donc, en petite mesure et dans l'attente de plus d'études dans des recherches futures, la terre crue pourrait avoir un comportement intéressant principalement en hautes fréquences sur la réverbération des salles.

Concernant les valeurs de STI, les mesures ont montré une légère amélioration sur certaines valeurs d'intelligibilité plus proches aux surfaces avec de la terre crue. Toujours sur la prudence et la mise en garde du besoin de plus d'essais pour vérifier les comportements ici observés (les variations sont réduites), la terre crue placée au fond de la pièce (par rapport à la position de l'auditeur) peut apporter une absorption mais également une diffusion plus importante que d'autres matériaux, comme les plaques de plâtre, favorisant une plus grande intelligibilité.

5.3.1.2 Les conditions thermiques des salles d'expérimentation

Pendant l'isolement dans la salle de chaque participant, la température et l'humidité relative ont été mesurées (Tableau 48). Les écarts de température à Barcelone (entre 1,3°C pour les expériences sans terre crue et jusqu'à 2,2°C pour les expériences avec terre crue) sont inférieurs qu'à Grenoble (de 4,1°C pour les expériences sans terre crue et de 2,4°C pour les expériences avec terre crue). D'autre part, à l'exception du premier jour où des températures de 20,2°C sont enregistrées, l'ensemble des températures de Grenoble est situé en dehors de la zone de confort hygrothermique (entre 19°C et 26°C) (Figure 209). Les autres prises de température dans les deux cas d'étude sont situées dans la zone de confort. Les valeurs de cette zone de confort sont définies dans la norme ASHRAE 55 (Turner et al., 2010), selon (Sulaiman et Olsina, 2014) probablement le

critère de confort le plus utilisé et avec lequel 75% de la population se sent confortable. Dans les deux cas d'étude, les écarts d'humidité entre les valeurs enregistrées sont plus importants avec la présence de la terre crue, mais l'ensemble des valeurs est situé dans la zone de confort (entre 30% et 70%). À Barcelone, des valeurs plus élevées sont également enregistrées.

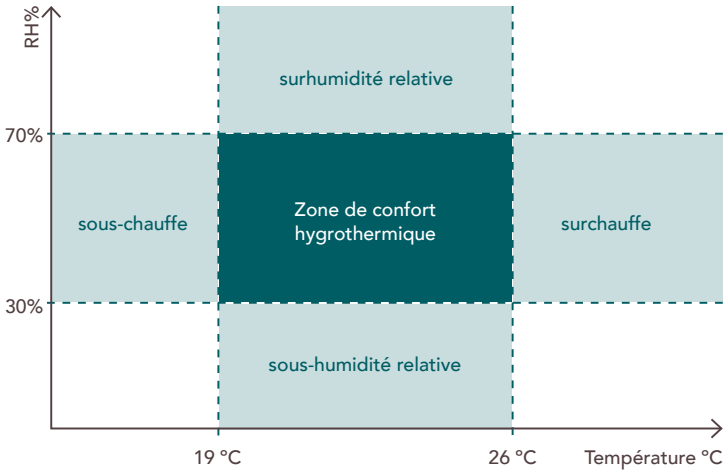


Figure 209 Zone de confort hygrothermique (Sulaiman et Olsina, 2014)

PARTICIPANT	Température °C Sans terre crue	Température °C Avec terre crue	Humidité RH% Sans terre crue	Humidité RH% Avec terre crue
Id, 22 - G	20,2		56,7	
Id, 23 - G	20,2	18,5 ↓	57,8	39,6 ↓
Id, 25 – G	18,5		55,2	
Id, 26 – G	17,6	18,3 ↑	57,6	41,7 ↓
Id, 27 – G	17,1		57,4	
Id, 28 – G	16,1		50,7	
Id, 29 – G		18,1		37,1
Id, 32 – G		17,4		39,5
Id, 33 – G		18,1		37,1
Id, 34 - G		18,2		42,1
Id, 35 – G		16,1		36,5
Id, 37 – G				41,6
Id, 38 – G				41,1
Id, 39 - G				39,1
Id, 40 – G		17,6		47,6
Id, 41 – G		18,0		48,6
Id, 42 – G		18,1		39,9
Id, 43 – G		17,6		39,8
Id, 44 – G		18,4		40,1
Id, 45		16,6		34,5
Écart	*20,2 – 16,1 = 4,1°C*	*18,5 - 16,1 =2,4°C*	*57,8 – 50,7 = 7,1%*	*48,6 – 34,5 =14,1%*
Moy. Grenoble	**18,3°C**	**17,8°C**	**55,9%**	**40,37%**

PARTICIPANT	Température °C Sans terre crue	Température °C Avec terre crue	Humidité RH% Sans terre crue	Humidité RH% Avec terre crue
Id, 1 – B	21,3	22,6 ↑	60,5	51,1 ↓
Id, 2 – B	21,4	21,3 ↓	60,4	43,0 ↓
Id, 3 – B	20,6	20,4 ↓	64,3	47,3 ↓
Id, 4 – B	20,8	22,3 ↑	65,5	53,7 ↓
Id, 5 – B	20,8		65,4	
Id, 6 – B	21,5	22,1 ↑	64,5	43,5 ↓
Id, 7 – B	21,8		65,6	
Id, 8 – B	21,7		65,4	
Id, 9 – B	20,5	22,1 ↑	54,6	58,1 ↑
Id, 10 – B	20,7	21,1 ↑	55,3	43,1 ↓
Id, 11 – B	20,8	22,6 ↑	57,6	53,8 ↓
Id, 12 – B	21,0		59,1	
Id, 13 – B	21,1		59,1	
Id, 14 – B	21,2		58,7	
Id, 15 – B	21,3		58,7	
Id, 16 - B		21,3		45,5
Id, 17 - B		22,2		50,5
Id, 18 - B		22,5		51,9
Id, 19 - B		22,3		53,9
Id, 20 - B		21,8		57,6
Id, 21 - B		22,4		59,0
Écarts	*21,8 - 20,5 = 1,3°C*	*22,6 – 20,4 = 2,2°C*	*65,6 - 54,6= 11%*	*59,0 – 43,0 = 16%*
Moy. Barcelona	**21,1°C**	**21,9°C**	**61,0%**	**50,9%**

Tableau 48 Recueil des températures et humidités enregistrés, (Id= participant, G = Grenoble et B = Barcelone). En vert les valeurs les plus hautes et en rouge les valeurs les plus basses. Les flèches montrent s'il y a eu des montées ou des descentes par rapport à la première expérience.

5.3.2 Approche sensible[62]

Comme exposé dans la méthodologie (partie 3.3.2.3), des techniques de recueil d'informations quantitatives comme qualitatives sont utilisées. Le recueil d'informations à l'aide du questionnaire et de l'entretien est réalisé à la suite du temps d'isolation dans la pièce (voir protocole partie 3.3.2.3.4). Cependant, les résultats des cartes de mouvements proviennent des enregistrements vidéos réalisés pendant l'isolation dans la pièce des participants et leur transcription graphique et leur analyse ultérieures.

5.3.2.1 Données quantitatives (questionnaire)

À Grenoble, dans la comparaison des retours des participants, (sans et avec le mur en terre), une amélioration des jugements de la salle est observée (Figure 210). Par exemple, les participants ne jugent aucun des critères en dessous de « un peu désagréable (3) » avec la présence de la terre, alors qu'auparavant il y avait des jugements « très désagréable (1) » pour l'éclairage ou « assez désagréable (2) » pour le sonore et la température. Donc, une tendance plus positive, à l'exception de la lumière naturelle, est observée de par la présence du mur en terre. Par rapport aux retours sur la lumière, pendant la réalisation des expériences, les conditions météorologiques sont également recueillies (Annexe 9) et on observe plus de journées ensoleillés pendant les entretiens sans le mur en terre. Ce fait pourrait expliquer, en partie, ces retours moins positifs avec le mur en terre crue. D'autre part, diverses études sur la couleur et la lumière montrent comment l'augmentation du niveau de luminosité dans l'espace génère des perceptions plus positives (Hidayetoglu et al. 2012).

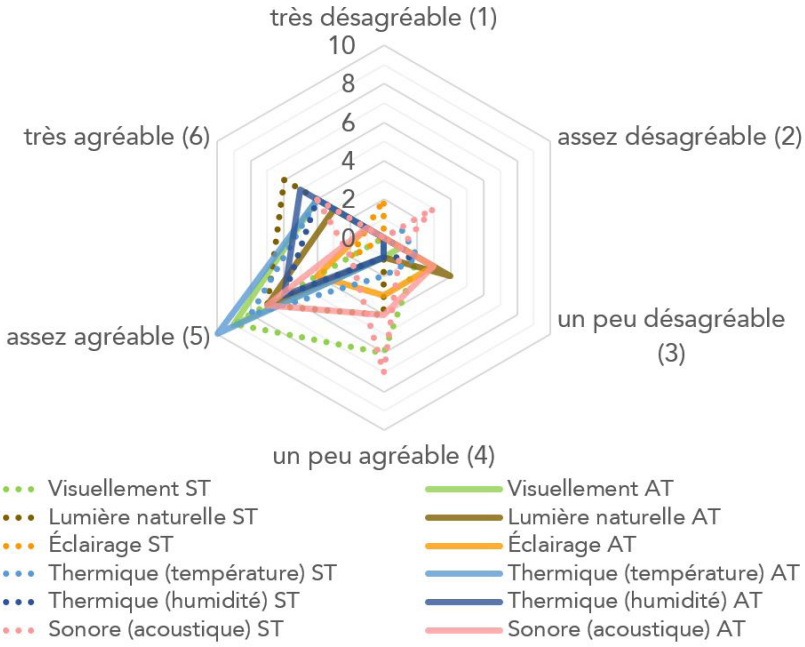


Figure 210 Question : Du point de vue de votre ressenti, l'ambiance de la salle vous paraît. Retours de participants à Grenoble (ST : Sans terre crue ; AT : Avec terre crue).

La tendance générale plus positive avec le mur en terre est également observée à Barcelone (Figure 211). Celle-ci est encore plus évidente qu'à Grenoble. Les participants jugent majoritairement l'ambiance plus agréable qu'auparavant, surtout visuellement où les données collectées montrent

[62] L'ensemble des traductions des retours des participants de Barcelone étaient réalisé pour moi-même.

un changement de « assez désagréable (2) / un peu désagréable (3) » à « un peu agréable (4) / assez agréable (5) ». Ce changement dans le visuel est associé principalement à la présence de l'enduit en terre crue.

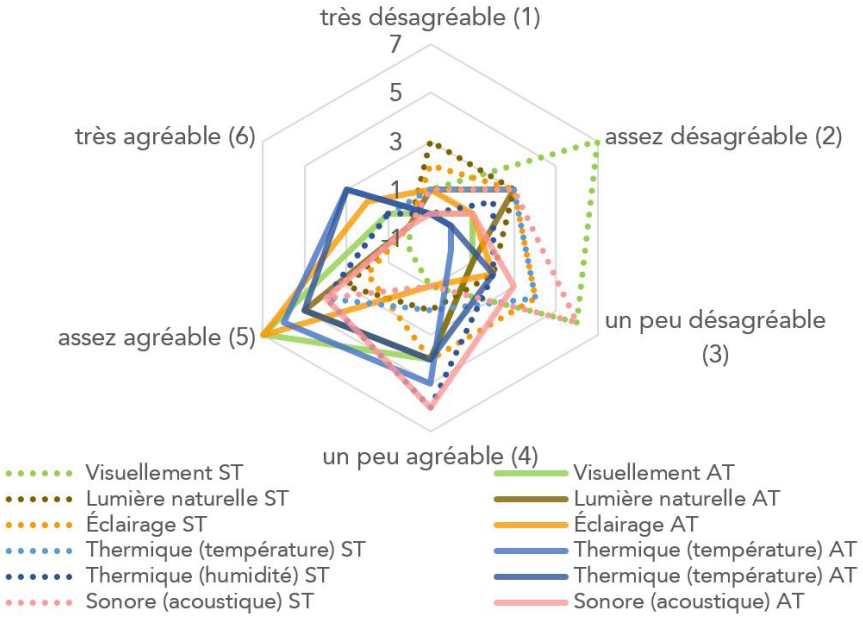


Figure 211 Question : Du point de vue de votre ressenti, l'ambiance de la salle vous paraît. Retours de participants à Barcelone (ST : Sans terre crue ; AT : Avec terre crue).

Par la suite, de l'ensemble des facteurs que nous avons associé à l'ambiance (visuel, lumière naturelle, éclairage, thermique (température et humidité) ou sonore), les participants de Grenoble jugent la « lumière naturelle » comme le facteur le plus « positif » sans le mur en terre crue (Figure 212). De la présence du mur, « le visuel » prend le dessus (Figure 212). Avec le mur en terre, certains participants en marquant l'option « autre », signalent directement « le mur » ou « quelque chose de naturel ». Par rapport, au plus « négatif », la majorité des participants ne marque aucune des différentes notions de l'ambiance sinon qu'ils optent pour l'option « Autre ». Cette option est encore plus employée par la présence de la terre crue. Dans les précisions que les participants apportent sur la notion « autre », nous trouvons : « Pas de surprise négative » ou « Rien ».

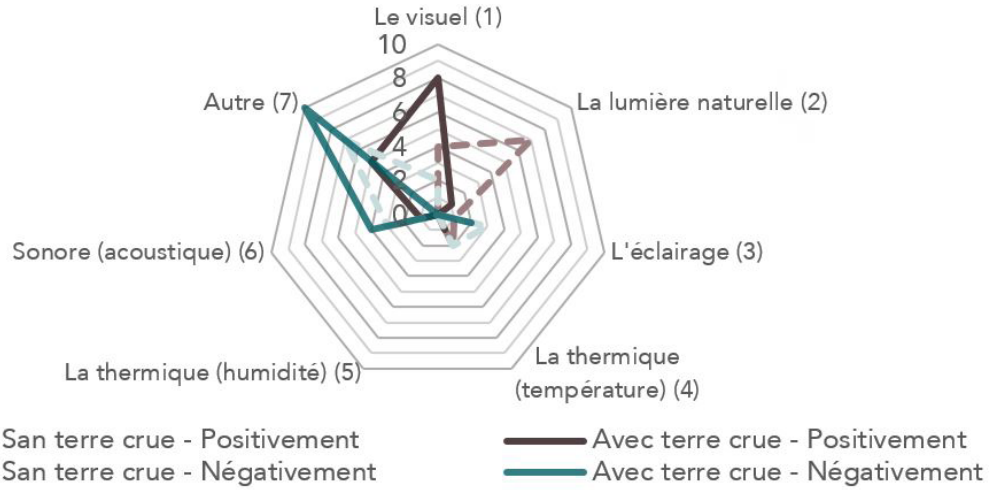


Figure 212 Question : De tous les éléments signalés dans la question précédente « quelle ambiance vous a le plus marqué / surpris positivement/ négativement dans la salle ? (ST : Sans terre crue ; AT : Avec terre crue).

À Barcelone, « le visuel » prend également le dessus comme le facteur plus « positif » avec la présence de l'enduit (Figure 213). Sans la présence de la terre crue, les réponses sont plus partagées même si plus de la moitié des participants optent par « la lumière naturelle » ou « autre ». Dans les cas des réponses « autre », les réponses sont dans la majorité des cas « rien » ou « je ne sais pas ». Par rapport à la question suivante sur le plus « négativement », la majorité des participants signalent le facteur « visuel » sans la présence de la terre crue. Avec l'enduit, les réponses sont plus partagées. Il est observé également que le paramètre « visuel » jugé le plus « négatif » sans terre crue, devient le paramètre le plus « positif » avec la terre crue. Donc, il semblerait qu'effectivement la présence de la terre crue vient modifier positivement la perception de l'ambiance de la pièce ou au moins « visuellement (forme, couleur, architecture…). ».

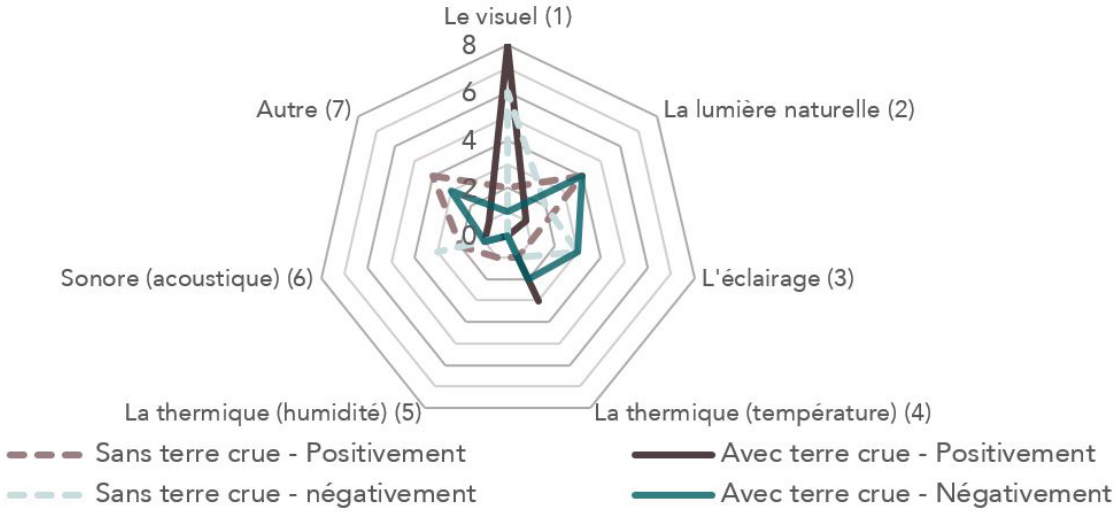


Figure 213 Question : Du point de vue de votre ressenti, l'ambiance de la salle vous paraît. Retours de participants à Barcelone (ST : Sans terre crue ; AT : Avec terre crue).

Les retours aux questionnaires montrent également que les participants n'ont pas un rapport habituel à la terre crue ou du moins pas dans leur atmosphère quotidienne d'habitation. Seulement un participant de Grenoble a de l'enduit en terre chez lui et un participant de Barcelone habite dans une maison avec des murs en pisé. Cependant, par leur profession mais aussi leurs origines, une partie des participants de Grenoble a un rapport avec la terre crue (ils connaissent le matériau) et à Barcelone, plusieurs participants travaillent à l'université et même s'ils n'ont pas un rapport direct dans leur quotidien, ils participent à des projets de recherche avec la terre crue. Donc, ces participants sont d'une certaine manière, familiarisés avec le matériau. Ce fait pourrait créer des différenciations dans les retours, depuis une certaine habitude qui mène à une « normalisation » du matériau et l'atmosphère qu'il peut créer, à une prise de consciences plus importante de ses qualités.

5.3.2.2 Données qualitatives (entretien)

Pour l'analyse de continu des entretiens, nous allons travailler avec les blocs thématiques suivants :

1. La synthèse de l'expérience dans la salle
2. Le premier rapport à l'espace
3. La description de l'ambiance
4. La différentiation des sens
5. Les modes d'action dans un même espace

5.3.2.2.1 La synthèse de l'expérience dans la salle

À la question de l'entretien « *Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit après ce moment dans la salle* », il est observé une différence dans le vocabulaire utilisé par les participants avec et sans terre crue dans les deux cas d'étude (Figure 214 et Figure 215).

Sans terre crue, les réponses décrivent le lieu principalement comme « froid » dans le cas de Barcelone, et « vide » et « lumineux » dans le cas de Grenoble. Au-delà de « vide », sans le mur en terre et de façon générale, il est observé une prévalence des mots assez positifs. Les mots apportés par les participants décrivent la pièce comme un lieu convivial, accueillant, tranquille, etc. Les qualificatifs négatifs sont plus rares ; seuls certains mots comme « chargée » ou dans certains cas « ancien » sont utilisés par les participants. Il convient de relever que la « vieillesse », donc le côté ancien, est parfois jugé comme quelque chose de positif et vu comme « un éloge » car cela représente le passé. Ce n'est pas le cas à Barcelone où nous observons l'utilisation assez récurrente d'adjectifs décrivant le lieu comme assez hostile et impersonnel donc un jugement pas très positif.

Après la réalisation du mur en briques de terre crue de Grenoble, des mots comme « chaleureux » prennent plus de poids. On retrouve également un renforcement des mots décrivant le lieu comme : calme, agréable, cosy, etc. À Barcelone, des mots comme « tranquille » ou « chaleureux » prennent plus de poids. Dans les deux cas, un renforcement de l'idée de « chaleureux » se produit avec la présence du mur en terre.

À Grenoble, le mur prend place dans les discours et le rapport à l'espace des participants. Les mots qui font référence au mur sont multiples, comme par exemple : « mur, terre, paroi en brique, appairage, etc. » mais aussi des adjectifs associés au mur comme « beau, brutal, nature, organique, etc. ». Cependant, dans le cas de Barcelone, les apports sur le mur sont moins directs. La terre est plus associée au ressenti exprimé par les participants (spécialement la notion chaleureuse) mais la matérialité « terre » en elle-même n'est pas nommée. Parfois, les personnes interrogées ont aussi nommé le mur indirectement en parlant d'un changement du point d'attention et de la couleur (beige), entre autres. À Barcelone, les personnes qui ne connaissaient pas le lieu auparavant relèvent certains aspects du lieu tels que les « plafonds bas » du bureau ou le côté « ancien » (description du lieu) de manière récurrente dans leurs discours mais à aucun moment ils ne parlent du mur en terre et de ses particularités.

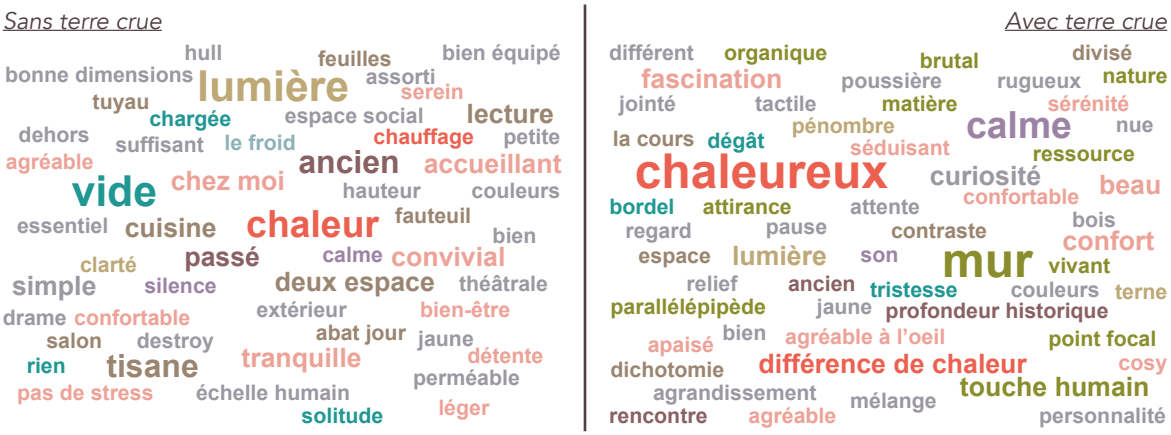


Figure 214 Retour des participants sur la question : « Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit après ce moment dans la salle » - Grenoble.

Figure 215 Retour des participants sur la question : « Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit après ce moment dans la salle » - Barcelone.

5.3.2.2.2 Le premier rapport à l'espace

À la question « *Quelle est la première chose que vous avez remarquée (qui vous a le plus attiré) quand vous êtes rentré.e dans la salle?* », la plupart des participants ayant réalisé l'expérience avec et sans terre sont directement attirés par le mur de terre lorsqu'ils sont revenus dans la pièce dans les deux cas d'étude, même une envie de s'approcher ou toucher le mur est exprimée[63]. Des retours tels que : « Évidemment j'ai regardé le mur (Id.26.2-Q2) » ou « Oups, ce mur est la première chose que j'ai vue. C'est tout blanc, laid et poussiéreux et ce mur est si beau, je l'adore (Id.6.2-Q2) »[64], sont récoltés. Le mur devient l'élément principal nommé par les participants alors que lorsque le mur n'était pas présent, les participants avaient tendance à nommer des objets, leur organisation, des éléments architecturaux du lieu, leur l'état, etc.[65]. À Barcelone, certains participants parlent plutôt du ressenti, en exprimant une sensation de froid[66] ou de vide (Id.5.1, Id.8.1, Id.15.1-Q2) mais également du manque de lumière [67]. Paradoxalement, pour d'autres participants l'espace est bien éclairé[68]. À Grenoble, l'autre fait souligné par les participants est l'amplification de la « division » entre l'espace cuisine et l'espace salon avec la présence du mur[69].

---

[63] « La première chose que j'ai faite c'est de m'approcher (Id.11.2-Q2) ».

[64] Autres retours en référence aux mur : « le nouvel enduit de notre local (Id.1.2-Q2) », « ce mur tellement cool de couleur beige (Id.2.2-Q2) » ou « Bon je vais te dire la vérité… j'étais attiré par le mur (Id.37.2-Q2) »

[65] Grenoble : « L'affiche au mur (Id.22.1-Q2) », « Les livres (Id.29.1-Q2) » ou « Les fenêtres, leur taille surtout (Id.28.1-Q1) ».

Barcelone : « Ce qui m'a le plus attiré, c'est le désordre des objets (Id.6.1-Q2) », « La première chose qui m'a attiré l'attention était la hauteur du plafond (Id.3.1-Q2) », « l'état des murs attire mon attention (Id.8.1-Q2) », « La première chose que j'ai remarquée était le contact avec l'extérieur (Id.13.1-Q2) » ou « La vue, l'ouverture sur l'espace naturel est ce qui m'attire le plus dans cette pièce (Id.6.1-Q2) ».

[66] « Froid, je ne me sens pas très à l'aise (Id.1.1-Q2) » ou « Froid, manque de chaleur, mais sans rapport avec la température (Id.9.1-Q2) ».

[67] « Qui n'a pas de lumière (Id.6.1-Q2) »

[68] « Espace illuminé (Id.5.1-Q2) » ou « Que tout soit si blanc, si clair. Il semble plus lumineux (Id.10.1-Q2) ».

[69] Par exemple : « il y a un contraste de cette chaleur qu'amène là ce mur et cette espèce de froideur qui est ici (Id.26.2-Q2). », « Je suis rentré par là et j'ai vu cet espace-là, j'ai trouvé marrant la coupure entre les deux espaces et immédiatement je vais là-bas (vers l'espace du mur) (Id.40.2-Q2) » ou « Il y a deux univers différents et ils sont coupés par… comment… il y a un mur virtuel qui est ici (Id.30.2-Q1) ».

À Barcelone, quelquefois les références au mur en terre crue n'étaient pas si directes[70], les participants ont fait plutôt référence aux ressentis dans la salle[71]. Ils ont également parlé d'une diminution de l'écho qui générait un sentiment plus confortable dans l'espace tel quel : « J'ai le sentiment, le sentiment que ... il n'y a pas autant d'écho, et donc l'espace m'agresse moins, je suis plus à l'aise dans l'espace (Id.4.2-Q2) ». De tous ceux qui ont réalisé l'expérience sans et avec la terre, un seul participant a considéré que sa perception a été presque la même[72].

Cette « attirance » vers le mur est moins tangible chez les participants qui n'avaient pas fait l'expérience auparavant. Par exemple, à Grenoble deux participants qui n'ont pas vu l'endroit sans le mur, et qui ne connaissaient rien de notre travail ou de nos professions, n'ont pas nommé le mur et à Barcelone non plus, à l'exception d'une personne qui avait vu la salle avant l'expérience ainsi que des vidéos du chantier (Id.19.2-Q2). La première chose qu'ont remarqué ces participants de Barcelone est le calme et la tranquillité de la pièce, mais aussi « Que c'était comme un endroit où personne n'était allé il y a longtemps (Id.21.2-Q2) ». À la différence du reste des participants, ils parlent d'odeur mais aussi pour annoncer un manque d'odeur[73]. Ces observations interrogent sur l'éventuelle importance du récit mais aussi des informations dont nous disposons lorsqu'un espace est appréhendé.

5.3.2.2.3 La description de l'ambiance générale

En ce qui concerne l'ambiance générale, *« Comment définiriez-vous l'ambiance générale / le ressenti de cette salle ? Décrivez les environnements / ambiances générales qui caractérisent cette salle ? Qu'est-ce qu'on ressent ? »*. Sans la présence de la terre crue, certains participants désigneront la pièce comme un lieu plutôt vide, pas assez habité[74]. Au-delà de ce sentiment de vide, les réponses sont globalement positives ou neutres. L'espace est souvent perçu comme un lieu tranquille et même avec un certain air familier[75]. Certains participants parlent aussi de la démarcation entre l'espace cuisine et l'espace salon qui naît principalement de l'union d'une pièce de vie et d'une cuisine (à l'origine séparées) dans les derniers travaux de rénovation[76]. À Barcelone, une partie des participants trouvent le lieu « froid », « inhospitalier », « chargé » ou « étouffant » avec la sensation

[70] Dans le cas de Barcelone, la présence de la terre crue était, d'une certaine manière, plus « discrète » qu'à Grenoble, l'enduit avait une tonalité blanc cassé qui pourra aussi être confondue en partie avec une « peinture ».

[71] « Beaucoup plus de chaleur que l'autre fois, plus de sensation de tranquillité ou de calme. (Id.9.2-Q2) »,

[72] « Il a davantage attiré mon attention, mais peut-être car c'est différent (Id.3.2-Q2) ».

[73] « Je n'ai remarqué aucune odeur ni rien (Id.17.2-Q2) ».

[74] « Ça fait assez vide, pas encore assez habité. (Id.22.1-Q3). », « Alors je trouve qu'elle n'est pas vide, alors elle est occupée (Id.33.1-Q3). », « Vide, elle n'est pas habitée. Tout est. Oui, bien rangé… Comme si c'était des films… (Id.35.1-Q3). » ou « Tu rentres et tu dis «ah, c'est chouette» puis après ça fait un peu vide en fait, il y a un côté pas habité, quoi (Id.38.1-Q3). ».

[75] En voici des exemples : « Moi je me suis senti bien, j'avais l'impression de rentrer chez quelqu'un, quoi. (Id.29.1-Q3) », « Bien, bien (Id.31.1-Q3) », « Ah, on est bien. Bien. Très bien même. Confortable (Id.34.1-Q3) » ou « Oui, là tranquille… assez neutre… (Id.36.1-Q3) ».

[76] Comme : « En fait je crois que ce qui m'a fait un peu bizarre c'est cette démarcation-là, entre les deux... Et avec ça... Et je ne suis pas trop allée là-bas... ça fait un peu scène ou vitrine, quoi... un truc où j'ose pas aller. J'y suis allée une fois mais... je ne sais pas... C'était comme si... c'était deux pièces différentes et que là c'était un peu organisé de manière artificielle alors qu'ici c'est plus une cuisine comme chez moi, quoi (Id.22.1-Q3). ».

qu'ils n'aimeraient pas passer beaucoup de temps dans cet endroit[77] (Figure 216). D'un autre côté les personnes qui connaissaient déjà le lieu ou même qui avaient travaillé ou qui travaillent dans ce bureau, ont une propension à juger un peu mieux le lieu. Possiblement par une certaine habitude instaurée[78], mais aussi par un mélange de sensations et de bons souvenirs[79]. D'autres participants ont une perception assez « neutre » du lieu, et le considère comme un lieu de travail quelconque (Id.5.1-Q3). Il a été aussi remarqué un côté ancien, un laisser-aller lié à la fois à l'endroit lui-même mais également au mobilier, aux équipements informatiques et à l'état d'entretien des murs et des sols (Id.6,9,11-Q3). Par exemple : « Je me sens comme arrêté dans le temps, tous les équipements sont des technologies très anciennes, j'ai été ici comme dans les années 90 (Id.13.1-Q3) ».

Figure 216 Synthèse des notions abordées par les participants de Barcelone sur la question : Comment définiriez-vous l'ambiance générale / le ressenti de cette salle ? Décrivez les environnements / ambiances générales qui caractérisent cette salle ? Qu'est-ce qu'on ressent ?

Avec la présence de la terre crue, à Grenoble un lieu avec une certaine « banalité » devient un lieu avec une histoire pleine de signification, « Je dirais qu'il y a une histoire. Une histoire… c'est un lien entre passé et présent. Oui, je crois qu'il y avait vraiment ça. Bon passé, histoire du lieu, histoire d'ici et maintenant ce qui se passe. Un lieu qui est imprégné de son histoire. Un lieu qui a sa propre histoire et qui est imprégné (Id.34.2-Q3). » ou « …j'ai eu l'impression de voir, de me recréer une autre histoire à partir de cette pièce (Id.29.2-Q3) ». Par ailleurs, la démarcation entre les deux espaces déjà signalée précédemment (sans la présence du mur en terre) semble prendre plus de force dans leurs descriptions et même au niveau du ressenti[80].

Par rapport à l'ambiance ressentie avec la terre crue, les participants des deux cas partagent le sentiment que la présence de la terre amène un côté plus agréable[81] la pièce, quelque chose de cosy[82].

---

[77] « Chargée. Ce n'est pas une ambiance agréable pour être détendu, pour passer beaucoup de temps, c'est une ambiance qui n'est pas agréable pour travailler longtemps, pour avoir une conversation longtemps (Id.6.1-Q3) », « Cela me rappelle un peu un hôpital, pas abandonné mais qu'il y a un certain laisser-aller. Je ne me sens pas à l'aise du tout, où je ne voudrais pas passer beaucoup de temps, ce n'est pas un endroit où je me reposerais, où me détendrais (Id.1.1-Q3) », ou « C'est super froid, un endroit où je ne voudrais pas passer du temps (Id.9.1-Q3) ».

[78] « Pour moi cette ambiance est normale. Pour moi c'est l'ambiance où je suis tous les jours, …c'est une ambiance normalisée (Id.18.2-Q3) » ou « Tranquillité. Toute ma vie, je suis ici (Id.2.1-Q3) ».

[79] « Et au niveau des sensations, je me sens chez moi parce que, bien sûr, je le connais déjà, j'ai passé de très bons moments ici (Id.4.1-Q3) ».

[80] « Je trouve que c'est très drôle parce que ça remarque encore plus les deux espaces (Id.26.2-Q3). », « Deux endroits je dirai, deux endroits différents… Ça faisait un peu froid et chaud comme ça, je ne sais pas si c'est le sol …le mur… comme s'il y avait deux endroits différents. (Id.41.2-Q3) » ou « Un mélange de froid et de chaleur... vraiment des sensations très différentes des parties de la salle (Id.43.2-Q3) ».

[81] « C'est beaucoup plus agréable, accueillant, plaisant... c'est comme si vous aviez versé un de ces liquides qui vous font vous sentir bien (Id.9.2-Q3) ».

[82] « Ça donne quelque chose de cosy dans cet espace (Id.43.2-Q10) ».

En outre, à plusieurs reprises, la pièce suscite un côté chaleureux[83], vivant[84], tranquille, accueillant, etc. Dans le cas de Barcelone, ces notions sont abordées seulement quand ils avaient vu la pièce sans l'enduit en terre (profil 3). À Grenoble la présence du mur a même donné l'impression à une des participantes d'être en dehors de la pièce : « Ça m'a fait une sensation comme si j'étais en extérieur alors que j'étais en intérieur (Id.29.2-Q3) ». Les participants se réfèrent davantage à leurs souvenirs et leurs vécus, mais aussi utilisent plus de métaphores pour décrire l'ambiance générale de la pièce avec la présence de la terre crue. Ils semblent avoir également un plus grand réveil du sens tactile[85]. Cependant à Barcelone, ils sont nombreux à signaler que même si le changement est positif et notable, tout dépend de l'endroit où ils regardent (partie enduite en terre ou non).

D'autre part, dans le cas de Barcelone, où la présence de la terre crue est en quelque sorte plus discrète, les participants qui n'avaient pas fait l'expérience sans terre n'abordent pas des notions telles que chaleureuse, agréable, etc. et la plupart des retours restent plus proches de celles obtenues sans la présence de la terre crue (Figure 217). La notion de « tranquillité » est également abordée par ces participants mais en même temps des notions moins « positives » sont aussi apparues comme : « Je dirais un peu rigide et lourd (Id.21.2-Q3) » ou « Très... jusqu'à un certain point comme improvisé... si vous voulez un adjectif déjà de l'espace... même froid pourrait le définir (Id.20.2-Q3) ».

Figure 217 Synthèse des notions abordées par les participants du profil 3 et 2 de Barcelone sur la question : Comment définiriez-vous l'ambiance générale / le ressenti de cette salle ? Décrivez les environnements / ambiances générales qui caractérisent cette salle ? Qu'est-ce qu'on ressent ?

Au niveau sonore, une certaine perméabilité aux sons extérieurs est soulignée dans les deux cas d'étude (Id.4,11,13-Q3) mais également un côté silencieux (mis en évidence à Barcelone) qui parfois peut générer un certain inconfort parce qu'un tout petit bruit sera entendu[86].

5.3.2.2.3.1 Le questionnement direct sur la terre crue

Afin d'approfondir un peu plus le rôle concret de la terre crue dans leur perception, la question suivante a été posée : « *Pensez-vous que la présence de la terre crue contribue à votre perception du lieu général (du point de vue de votre ressenti) ? Si oui, comment expliquez-vous cela ? Si non, pourquoi ?* ». Dans leur ensemble, les participants (surtout les participants du profil 3 et 5) pensent que la terre influence effectivement leur perception du lieu. Pour la plus grande partie des participants, c'est une évidence, il existe un changement sur l'ambiance ressentie dans la pièce. Un

[83] « Elle est plus chaleureuse (Id.38.2-Q3) » ou « Aujourd'hui, c'est une ambiance plus chaleureuse, un petit peu plus chaude. Tranquille (Id.1.2-Q3) ».

[84] « Plus vivante, plus intéressante (Id.35.2-Q3) », « C'est un endroit vivant, un endroit très vivant (Id.42.2-Q3) ».

[85] « Le lieu est un aimant des gens. Les gens viennent ici toucher le mur… (Id.2.2-Q3) ».

[86] « Je suis arrivé à un moment où tout était si calme que j'ai commencé à entendre le bruit d'une lampe et c'est comme un moustique qui bourdonne dans l'oreille (Id.3.1-Q3) ».

seul participant (profil 3) de Barcelone considère que le changement est mineur et c'est presque plus du fait d'être un élément neuf dans la pièce que pour la terre en elle-même.

De façon générale, les participants évoquent que la présence du mur apporte quelque chose de cosy[87], d'agréable[88] et une nouvelle fois et à plusieurs reprises un côté chaleureux a été remarqué dans les deux cas d'étude[89]. Parfois le côté chaleureux a été aussi mis en relation avec la couleur du mur et la matérialité À Grenoble, l'attirance du mur est encore une fois mise en relief mais aussi l'idée de point d'accroche qu'apporte sa présence même : « il (le mur) est comme un pilier fort dans la pièce »[90]. Cependant, pour certains, cette nouvelle présence les interpelle car ils n'auraient pas imaginé un tel mur dans cet endroit[91] quand d'autres participants trouvent qu'il a vraiment sa place [92]. Le mur de Grenoble est à son tour comparé à une œuvre d'art pour son intention, sa créativité mais aussi par son absence de rôle structurel car il est un habillage[93] .

La différence dans les techniques de construction utilisées dans chaque étude de cas semble entraîner des variations dans les explications des participants sur l'ambiance perçue et ses argumentations. À Grenoble, avec le mur en briques de terre, apparaissent deux notions spécifiques. La première notion concerne « **l'histoire** ». Le mur en terre amène plusieurs participants à se questionner, à se créer une nouvelle histoire ou en tout cas à compléter l'histoire existante en apportant une nouvelle originalité[94] mais aussi faire voyager leur histoire qui leur est propre (vécu et mémoire de famille)[95]. Cette histoire est parfois liée à l'aspect de « mur ancien » qui fait penser aux « architectures vernaculaires » ou bien les transporte dans « un jardin ou à la campagne »[96]. En tout cas, ils soulignent comment la présence de la terre crue semble capable de transformer

[87] « Ça donne quelque chose de cosy dans cet espace (Id.43.2-Q10) ».

[88] « Il y a un côté agréable de ce mur (Id.40.2-Q10) ».

[89] « Cet endroit-là est très chaleureux et on donne de la place à ce mur (Id.43.2-Q10) » ou « du coup c'est un petit coin, il est chouette, c'est chaleureux, c'est esthétique et chaleureux… (Id.38.2-Q10) ».

[90] « Ce mur-là, il n'y a pas des trucs devant et en rentrant on voit aussi ce mur à qui on a donné de la place, il n'y a pas de porte (Id.43.2-Q10) » ou « occupe dans le bon sens du terme l'espace, c'est comme un pilier un peu fort, pour asseoir le lieu (Id.41.2-Q10) ».

[91] « …ce n'est pas attendu ici déjà et même dans d'autres endroits…(Id.38.2-Q10) ».

[92] « Je pense que quand je suis rentré je dois l'avoir vu mais plus comme un mur étant là (Id.40.2-Q10) ».

[93] « …en tout cas pour moi c'est comme une œuvre d'art aussi là… Il n'est pas forcément nécessaire parce qu'on n'a pas les 4 murs…(Id.34.2-Q10) ».

[94] « Il y a une histoire à raconter dans ça et nous l'avions vraiment eu même si elle est récente je pense et comme si … voilà on sent qu'elle est une pièce qui est habitée par quelqu'un, qui a été aménagée, où il s'est passé un truc et du coup ça la rend un plus chaleureuse (Id.26.2-Q10) ».

[95] « Du coup j'ai une relation plus personnelle avec la terre car je travaille avec la terre mais aussi je suis iranienne et il y a des choses dans le village, les endroits je ne sais pas, pas très populaires comme ça… Moi j'adore personnellement du coup quand j'ai vu ça, ça m'a touché, j'ai tellement adoré être dans cet espace-là. (Id.37.2-Q10) » ou « J'ai l'habitude de voir dans la région où je suis né… dans le sud… on utilise la terre, plein de briques de terre. Les deux maisons de mes grands-parents sont en terre mais ils mettaient un enduit. Donc ça m'a paru normal (Id.42.2-Q10) ».

[96]« Et le fait que ça soit dans le quartier de l'Abbaye ça faisait un peu aussi un mur ancien (Id.29.2-Q10) », « est-ce que c'est une architecture vernaculaire …(Id.34.2-Q10) » ou son aspect de « vieux mur » crée à la fois une décontextualisation qui amène dans le cas concret de ce participant à la campagne : « Bon, il y a l'évidence de vieux mur alors que je sais que la paroi est nouvelle, mais il y a vraiment une impression de vieux mur, des murs de la campagne, d'un jardin... En vrai décalage mental du coup, on a plus l'impression d'être à la campagne, au bord de la rivière, avec un mur de jardin qu'un mur de ville. (Id.39.2-Q10) ».

un espace quelconque en un espace doté d'une histoire pleine de signification[97]. La deuxième évocation récurrente tourne autour de la notion « d'**humain** » car d'un côté il y a quelque chose de lisse, rigide, industriel, avec ce côté uniforme de la fabrication à la chaîne et des matériaux conventionnels et en fin de compte sans pratiquement aucun lien avec l'humain, et de l'autre côté il y a un mur vivant, organique, humain qui évoque la nature[98] (Id.41.2, Id.32.2, Id.37.2, Id.40.2-Q10).

> « Parce que… Naturellement nous… on est… nous vivons dans des maisons où on ne sent pas la connexion avec les matériaux, avec quoi elles sont faites mais pas naturel, c'est tout en fait. Qu'on le sache ou pas, ça sort bien ou pas, si on est à côté des choses qui sont plus proches de la nature. Et je ne sais pas pourquoi mais je trouve ça très naturel de se sentir bien dans un endroit où il y a des matériaux naturels, construits avec des matériaux naturels. Quand tu rentres entre les pierres, dans une grotte, entre les arbres, c'est la même sensation, un peu plus forte dans la nature mais dans les bâtiments je sens ça. Quand c'est blanc, quand c'est du carrelage, des trucs comme ça, je n'ai pas de sentiment. (Id.35.2-Q10) »

C'est aussi un mur avec une intentionnalité et avec un humain derrière, présent dans ses textures, les traces des doigts laissées au cours du chantier, etc. (Id.43.2, Id.33.2, Id.37.2). D'un autre côté, elle fait référence à « la rencontre, un savoir-faire de gens. » (Id.34.2-Q10).

> « Et oui… tu sens le mélange mais aussi la mise en œuvre… Cela fait partie justement de ce côté..., c'est comme s'il y avait un échantillon d'humanité avec plein de personnes différentes. (Id.23.2-Q10) »

Le mur est aussi porteur d'une certaine authenticité car « on a quelque chose qu'on ne voit pas partout. (Id.38.2-Q10) », qui apporte une « identité » (Id.29.2, Id.45.2).

Dans le cas de Barcelone, les participants relient l'influence de la terre sur leur perception plus à des aspects de **couleur**, plus douce et chaude, et des **aspects de surface** (texture) qui lui confèrent une singularité appréciable mais aussi un côté plus naturel[99]. Une des participantes a aussi souligné le **manque de monotonie** dans la finition en terre crue qui à son sens apporte une détente psychologique face à des finitions uniformes, soignées et avec des rythmes bien définis (Id.10.2-Q10)[100]. Cette particularité de « détente psychologique » trouvée dans les finitions en terre, a été également soulignée de façon similaire dans des études précédentes autour du bois (Li et al., 2021). Concrètement, l'étude relève que les espaces avec du bois créent plus facilement une

[97] « Pour moi le fait que ça soit là ça crée une histoire assez intéressante pour la pièce alors qu'avant elle me paraissait assez quelconque (Id.29.2-Q10) ».

[98] « Quand je regarde je vois un humain qui a construit…y a quelque chose de vivant (Id.37.2-Q10) » ou « il y a quelque chose de vivant, il y a quelque chose que les êtres humains ont fait avec une intention plutôt agréable pour l'espace (Id.43.2-Q10) ».

[99] Comme par exemple : « Au niveau visuel c'est beaucoup plus agréable, la couleur, le dessin qu'il fait quand il s'étale (Id.6.2-Q10) », « La texture plus naturelle donne aussi un effet un peu différent que si c'était une peinture en plastique de la même couleur (Id.11.2-Q10) », « L'aspect final - ce demi-tournesol que font les passages de la lisseuse, le fait de voir ou de ne pas voir les fibres - apporte je pense du caractère qui lui donne une singularité (Id.4.2-Q10) ».

[100] «Yo creo que a nivel como emocional cansa la monotonía. Visualmente en algunos espacios se vive… y por ejemplo la tierra es algo que lo relacionamos con la vida, con el planeta y entonces como que lo asimilamos con algo orgánico en cierta manera. A mí por lo menos me viene la imagen mental de algo que no tiene un ritmo tan definido y entonces como que siempre rompe con esa monotonía y … bueno para mi cabeza no resulta tan cansado estar como siempre viendo que todo es tan pulcro, tan igual, tan…(Id.10.2-Q10) ».

atténuation visuelle et facilitent la création d'espaces psychologiquement plus naturels, chaleureux, relaxants et une plus grande envie pour l'utilisation (Li et al., 2021). À la différence de Grenoble, le côté humain reste moins remarqué en utilisant le terme implicitement. Il est inclus dans les retours de façon plus globale, comme par exemple dans l'aspect de surface des passages de la lisseuse (note 99).

À Barcelone, les personnes qui n'avaient pas vu la salle sans l'enduit (profil 2) n'ont pas remarqué ni reconnu que la finition du mur était de la terre crue. Ils ont assimilé la finition du mur à de la peinture, une ancienne plaque de placo ou un panneau pressé (Id.21.2, 16.2, 20.2-Q10). Dans ce sens un participant annonce :

> « Si, il est très différent. Et si tu sais que c'est de la terre, peut-être tu as l'impression d'être plus à l'aise. Si tu ne sais pas, tu ne tiendras pas compte de ce mur parce qu'on sait qu'on pourrait peindre avec des milliers de couleurs différentes. Bon, ça attirerait l'attention parce que tu verrais quelque chose de bizarre et peut-être tu toucherais, mais tu ne sais pas que c'est de la terre. Si on ne te le dit pas que c'est de la terre, tu ne sais pas que c'est de la terre, la grande différence est celle-là. Si on te dit, tu vas travailler dans un endroit où les murs sont enduits de terre, peut-être tu les regardes de façon différente d'un endroit où les murs sont peints avec de la peinture marron, ça, c'est sûr, sans aucun doute (Id.2.2-Q11) »

Donc dans quelle mesure le récit et les informations connues auparavant peuvent influencer notre appréhension de l'espace ?

Enfin, dans les deux études de site, la présence de la terre crue a une tendance divisée perception générale de la pièce en deux zones : côté avec terre et côté sans terre. À la fois, sur l'aspect physique comme sur l'ambiance ressentie[101].

Dans les Figure 218 et Figure 219, le vocabulaire employé par les participants et l'ensemble de notions que nous venons d'exposer, pour expliquer en quoi la terre contribue à modifier leurs perceptions, sont synthétisés.

[101] «Un mélange de froid et de chaleur... vraiment des sensations très différentes des parties de la salle (Id.43.2-Q3) ».

Figure 218 Synthèse des notions abordées par les participants en réponse à : « Pensez-vous que la présence de la terre crue contribue à votre perception du lieu général (du point de vue de votre ressenti) ? Si oui, comment expliquez-vous cela ? Si non, pourquoi ? ». Grenoble.

Figure 219 Synthèse des notions abordées par les participants en réponse à : « Pensez-vous que la présence de la terre crue contribue à votre perception du lieu général (du point de vue de votre ressenti) ? Si oui, comment expliquez-vous cela ? Si non, pourquoi ? ». Barcelone.

5.3.2.2.4 Une division par les sens

Malgré le besoin de tout notre corps et donc de l'ensemble de notre sensorium pour appréhender un lieu, avec la question « *D'après vous, quels sont les sens les plus stimulés en étant dans la salle ?* », les retours montrent une prévalence du sens de la vue. Cependant, avec la présence de la terre crue, le sens tactile semble acquérir une place plus importante dans le ressenti des participants (toujours derrière le visuel) dans les deux cas d'étude (Figure 220 et Figure 221).

Figure 220 Retours de participants de Grenoble à la question : D'après vous, quels sont les sens les plus stimulés en étant dans la salle ? Note : première position seulement.

Figure 221 Retours de participants de Barcelone à la question : D'après vous, quels sont les sens les plus stimulés en étant dans la salle ?

Note : Les 4 nuages de mots correspondent à chaque fois à la position des sens qui sont nommés par les participants. Celui de gauche le plus stimulé et celui de droite le moins stimulé.

Les difficultés à isoler chaque sens lors de la perception d'un lieu et donc de répondre à cette question est aussi plus mise en évidence avec la présence de la terre crue. Certains participants ont même parlé de la synesthésie (Id.23-2-Q4), mis l'accent sur une expérience sensorielle du corps entier ou simplement confirmé l'importance de tous les sens : « Pour moi, l'ouïe, le tactile ou le visuel sont au même niveau (Id.6.2-Q.4) ».

La perception de l'ambiance est multi-sensorielle mais compte tenu de sa complexité, une séparation des différents sens est réalisée. De cette manière, nous cherchons à donner l'opportunité aux participants de s'exprimer plus concrètement sur **l'ambiance sonore**, un des axes centraux de cette thèse. Afin d'influencer au minimum leurs retours, la question sur le sens de l'ouïe est intercalée avec des questions sur les sens tactile, visuel et olfactif. D'autre part, la question sur le tactile donne aussi l'opportunité à Nuria Álvarez Coll d'approfondir un peu plus sur ce sens qui est partie centrale de sa thèse.

5.3.2.2.4.1 La vue

Concernant la question : « *Si vous vous concentrez sur le sens visuel, pouvez-vous décrire votre expérience dans la salle ?* », trois rapports principaux en référence au sens visuel sont mis en évidence dans les deux cas d'étude. D'un côté les références à la couleur[102]. Dans le cas de

[102] Comme : « C'est très clair, c'est presque tout la même teinte, tu vois avec un petit contraste de vert, du blanc pour… mais sinon c'est bien dans les teintes ici, là-bas… (Id.23.2-Q7) » ou « … et sur le reste c'est plutôt le jeu de couleurs car je trouve qui y a vraiment des couleurs qui ne vont pas ensemble (Id.26.2-Q7) ».

l'expérience sans terre crue de Barcelone, les participants parlent de la couleur « blanche » mais aussi d'une certaine « monotonie ». Ils sont plusieurs à associer cette couleur à quelque chose de « froid », « désagréable », « triste » et même « agressif ». Ces notions sont aussi parfois associées à la lumière ou à un mélange des deux concepts. Comme par exemple : « J'ai vu qu'il était tout très éclairé et tout très monochrome, très triste. Ça a l'air très industriel (Id.12.1-Q6) », « Autant de blanc… l'ambiance n'est pas chaleureuse (Id.1.1-Q7) » ou « La couleur, la lumière surtout le type de lumière. Très monotone, grise et monotone…. Tu cherches à ce que tes yeux voient autre chose que les blancs, les gris (Id.7.1-Q6) ». Ce besoin de fuir cette monotonie du blanc a été aussi mis en évidence par une autre participante qui signale : « Au début, c'était même agréable, mais après ça a commencé à me mettre un peu mal à l'aise (Id.11.1-Q6) ». Dans le cas de Grenoble, les références à la lumière sont en relation directe avec le mur en terre en parlant du jeu de lumière sur celui-ci, mais aussi selon leur placement dans la pièce[103]. Parfois, la lumière a été directement mise en relation avec la météo et son influence directe sur l'ambiance intérieure[104].

La troisième notion récurrente est l'utilisation de la description par les objets, les éléments ou les personnes qu'ils voient. À Grenoble, cette description pouvait concerner l'intérieur de la pièce[105] ainsi que des éléments de l'extérieur[106]. À Barcelone, certains participants ont également eu recours aux descriptions d'objets ou d'organisation de la salle - même si moins présents que les notions de lumière ou de couleur[107]. La description a été aussi utilisée pour décrire les textures du mur en terre de Grenoble[108].

Au-delà des éléments exposés juste avant, à Grenoble plusieurs participants signalent encore une fois le « contraste » des différents espaces de la pièce avec la présence du mur en terre crue : soit par un contraste entre les différents matériaux[109], soit par les caractéristiques chaque paroi comme par la couleur, le ressenti, etc.[110]. De la présence de l'enduit à Barcelone, ils sont également plusieurs participants à signaler la création des « deux atmosphères » dans la même pièce. D'un côté l'enduit apportant une chaleur, un côté plus agréable, pas agressif, accompagnant, vivant et

[103] Comme par exemple : « j'étais impressionnée par le mur et j'étais en train de regarder les différentes façons… de plus proche, de plus loin, avec de la lumière (Id.35.2-Q7) » ou « Je me suis déplacé dans la salle pour voir les impressions que j'avais en fonction des zones de vue qui changent un peu la lumière, j'ai testé la lumière là aussi (Id.38.2-Q7) ».

[104] « Ici ça donne une impression plus terne, je me souviens que le premier mot que j'avais cité la première fois c'était jaune car il y avait beaucoup de soleil et maintenant il fait un peu moche est ça influence sur l'intérieur… (Id.29.2-Q7) ».

[105] Comme : « Il y a plein de choses qui sont… qui… il y a plein d'imbriquement des choses qui ne sont pas, qui ne collent bien avec les autres, par exemple d'avoir deux radiateurs comme ça à côté, avoir des prises, des anciennes prises avec des nouvelles prises, d'avoir deux portes, avoir trois portes…(Id.42.2-Q7) ».

[106] « J'ai suivi avec les yeux quelqu'un qui faisait quelque chose dehors (Id.39.2-Q7) ».

[107] Comme : « Visuellement un peu débordé… Il y a tellement de choses à voir que tout attire ton attention (Id.9.1-Q7) » ou « Je vois la décadence, je la vois sur les murs, sur le sol, je vois que l'espace est rangé, il n'est pas ... avec un coup de peinture, avec un nouveau fluorescent où ils ne fonctionnent pas… pourrait... l'endroit pourrait ne pas être mal (Id.4.1-Q7) ».

[108] « … il y a des briques plus lisses que d'autres… (Id.26.2-Q7) ».

[109] « Froid avec le carrelage et chaud avec la terre (Id.41.2-Q7) ».

[110] « Visuellement, c'est comme si je regardais un mur comme ça vide et le cerveau comprend qu'il n'y pas grand-chose à trouver parce que c'est plat et blanc et sur ce côté-là c'est un peu infini de vraiment regarder, c'est un peu comme un tableau, un tableau artistique (Id.43.2-Q7) ».

de l'autre côté le reste qui continue d'être gênant et froid[111]. Parmi les participants de Barcelone une personne ayant son poste de travail dans cette pièce, estime que l'enduit en terre l'aidera dans sa productivité dans cet espace (Id.4.2-Q7).

Le visuel est aussi parfois associé à un jugement esthétique[112] dans les deux cas d'étude. Pour finir, la présence du mur en terre à Grenoble est comparée par certains participants à la vue d'une fenêtre en générant une sensation d'ouverture de l'espace : « …maintenant je suis attiré à la fois par ce mur que je peux regarder avec autant de plaisir que je regarde par la fenêtre … Donc ça a ouvert l'espace pour moi. (Id.34.2-Q7) » mais aussi associé à un sentiment de protection par une participante de Barcelone : « D'un point de vue visuel, j'ai l'impression que c'est un grand tableau de liège, alors on dirait qu'il a été enveloppé dans un papier bulle, et puis on dirait qu'il protège quelque chose, j'ai ce sentiment (Id.4.2-Q7) ». À Barcelone, les personnes qui n'avaient pas fait l'expérience auparavant n'ont fait aucune référence au mur. Ils ont également utilisé des notions sur la couleur, la lumière ou des descriptions pour exposer leur rapport visuel de l'espace. Pour plusieurs participants, c'est un lieu très illuminé avec de la monotonie dans les couleurs et même avec une certaine opacité (Id.20.2,21.1-Q7). Pour d'autres, le lieu est assez neutre sans rien qui attire leur attention (Id.16.2-Q7) et même avec un côté « vintage » et ancien comme : « un petit voyage dans le passé (Id.17.2-Q7) » de par son mobilier ou ses équipements électroniques.

5.3.2.2.4.2 Le tactile

Avec la question *« Si vous vous concentrez sur le sens tactile, pouvez-vous décrire votre expérience dans la salle ? »*, il faut comprendre le toucher comme un tout où le corps entier est inclus et pas uniquement l'acte de toucher quelque chose. Même si le toucher est le premier sens à se développer et le dernier à nous quitter (Brand, 2017), les retours des participants, dans les deux cas d'étude, ont mis en évidence une certaine difficulté à décrire l'expérience vécue sur l'angle du toucher.

À Grenoble, de façon générale et principalement sur les retours sans terre crue, il est observé un fort rapport à la température[113]. D'autre part, le tactile est relié aux déplacements dans l'espace mais aussi à des descriptions nettes de ce qu'ils touchent[114]. Dans le cas de Barcelone, sans la terre crue les participants, de façon générale, ne trouvent pas d'invitations à toucher[115]. En même temps,

---

[111] Ces deux atmosphères sont bien illustrées par le retour suivant : « Comme s'il y avait deux atmosphères. Ici je sens comme plus chaude (partie en terre) … L'autre (sans terre) est plus neutre, plus froide (Id.19.2-Q7) ».

[112] « Un côté naturel dans ce type de mur, on ne cherche pas la beauté à mon avis, je crois le plus important c'est le côté humain (Id.33.2-Q7) », « J'ai trouvé trop beau tout de suite quand j'ai ouvert, c'était la belle surprise. (Id.35.2-Q7) », « J'ai l'impression qu'il attire beaucoup mon attention et il est très beau (Id.4.2-Q7) » ou « Au niveau visuel, c'est beaucoup plus beau maintenant (Id.9.1-Q7) ».

[113] « C'est un peu une atmosphère tiède comme ça... (Id.22.1-Q6) », « Au niveau de mon corps j'ai plutôt senti la chaleur (Id.26.1-Q6) », « Il fait beau, il fait chaud (Id.31.1-Q6) » ou « Que tout, tout était froid au toucher (Id.30.1-Q6) ».

[114] Comme par exemple : « Euh... Tactile... Je retiens... bah, c'est là où je me suis surtout arrêté, donc la sensation déjà de ma tasse chaude, le moelleux du fauteuil, je les ai un peu tous testés (Id.29.1-Q6) », « Bon, après j'étais assise soit là soit là donc je ne sais pas trop... Plus compliqué pour moi là le tactile... Vu que je n'ai pas vraiment touché les choses (Id.26.1-Q6) » ou « Après je me suis fait une tisane donc... C'est le truc, tu vois... Je fais des tisanes presque que pour le toucher des fois, tu vois (Id.22.1-Q6) ».

[115] « Je n'ai pas envie de toucher les murs (Id.6.1-Q6) » ou « Par exemple, quand je vois ce genre de finitions sur le mur un peu rugueux, on va et on touche, on se sent curieux, mais je ne sens pas cette curiosité peut-être parce qu'elle est trop blanche… (Id.10.1-Q6) ».

plusieurs participants ressentent le lieu « froid », « pas accueillant » ou même ils ont une sensation « d'oppression »[116]. Même si moins nombreux, certains participants trouvent le lieu agréable surtout au niveau de la température[117]. Dans ces retours de Barcelone, nous observons une relation entre le tactile et le ressenti corporel (chaud, froid…) des participants. Également constaté à Grenoble, mais aussi une approche plus introspective sur un ressenti personnel ou interne. Il y a également une tendance à décrire des textures et des surfaces plutôt avec le sens de la vue comme par exemple : « Le tactile… je ne suis pas arrivé à toucher mais d'après ce que j'ai vu, tout est très lisse sauf les murs qui ont donc un peu de rugosité, … (Id.16.2-Q6) ».

Dans les deux cas d'étude, la présence de la terre a généré un plus grand désir de s'approcher et de toucher le mur, ce que la plupart des participants ont fait. Cette nouvelle matérialité invite les participants au toucher pour l'appréhender, la découvrir mais parfois aussi à la recherche de la confirmation de ce que les yeux voient. Leurs témoignages se concentrent sur la surface du mur avec des descriptions détaillées des textures ressenties par le toucher[118]. Les références à la température[119] et à la description du toucher d'objets sont moins nombreuses, en laissant place à plus de références au ressenti corporel de la nouvelle ambiance et au changement produit: « c'était le sentiment d'être à l'aise »[120], « plus accueillant»[121] ou « toucher les murs debout me détend » [122]. La présence de la terre crue a même « transporté » une participante au contact avec la nature [123] à Barcelone. À Grenoble certains participants associent aussi cette envie de toucher avec la « matière vivante»[124].

À Grenoble, la présence du mur en terre paraît pareillement créer une sorte de sentiment «

[116] « La sensation est un peu oppressante, c'est comme si j'étais dans un aquarium, je suis entouré de quelque chose de dense… (Id.7.1-Q6) ».

[117] Comme : « Les sensations sur la peau pour moi ont également été confortables. Tant au niveau de la température thermique et de l'humidité relative. Je qualifierais comme confortable (Id.14.1-Q6) ».

[118] « … Je suis attiré par la rugosité du mur (Id.30.2-Q6) », « après je suis passé contre le mur pour la granularité avec mes épaules, avec ma main (Id.29.2-Q6) », « Je me suis approché du mur… et je touchais, je touchais les différents types de briques avec les différentes textures, déjà j'ai aperçu ça visuellement et après au niveau tactile je suis allé plusieurs fois pour confirmer l'information qui passait par le visuel et après j'ai complété cette information par le tactile, plusieurs fois ça me surprenait et des fois ça venait confirmer quelque chose que j'avais déjà vu. (Id.32.2-Q6) », « J'ai touché le mur c'est sûr autant que je n'avais rien touché la première fois (Id.34.2-Q6) », « J'ai remarqué qu'il y a une brique avec des "fingerprints" qui était récente. Il n'y a pas mal d'appel pour le toucher, pour toucher ce mur (Id.33.2-Q6) » ou « J'ai vu qu'il y avait des doigts et du coup je fais comme la trace des doigts (Id.41.2-Q6) ».

[119] À titre d'exemple, à Grenoble uniquement deux personnes, qui n'avaient pas fait l'expérience sans le mur, vont évoquer la température. Des participants (profil 3) qui auparavant avaient évoqué la température, seulement un participant évoquera à nouveau la notion de température mais cette fois sur la température du mur concrètement : « J'ai touché, j'ai senti qu'il est froid le mur. (Id.35.2-Q6) ». À Barcelone, une seule personne qui avait déjà réalisé l'expérience continue à penser que le lieu est « froid » ou ne parlera pas d'un lieu plus chaleureux (Id.3.2.-Q6).

[120] « Je pense que ce que j'ai remarqué était très fort, c'était le sentiment d'être à l'aise (Id.37.2-Q6) ».

[121] « Il y a comme... Je ne sais pas comment le dire comme plus de douceur, tout comme plus accueillant, tu touches le mur et c'est un autre toucher, un toucher plus, pas aussi ... comme je dis toujours si hospitalier, c'est un toucher un peu plus… que tu touches et tu l'aimes (Id.1.2-Q6) » ou « L'ambiance a changé…je l'ai senti super accueillante aujourd'hui. Je flippe parce que la sensation thermique est très différente (Id.9.2-Q6) ».

[122] « Toucher des murs de terre me détend beaucoup (Id.4.2-Q6) ».

[123] « Pouvoir te lever et la caresser, je ne sais pas... Je trouve cela très agréable, comme si vous étiez en contact avec la nature. (Id.4.2-Q6) ».

[124] « Oui ça fait vraiment l'effet d'une matière vivante et c'est vrai qu'on a envie de caresser (Id.34.2-Q6) ».

d'ancrage » [125] ainsi qu'une plus grande envie de se placer à proximité de lui[126].

À Barcelone, les personnes qui ne connaissaient pas la pièce ne parlent de l'enduit à aucun moment et donc ni des interactions tactiles avec celui-ci. Ils décrivent souvent à partir du sens de la vue et pour une partie de ces participants l'ambiance est plutôt « confortable », « bien rangée » et même le plafond bas apporte un côté de « protection » mais pour d'autres le lieu est simplement « froid ».

5.3.2.2.4.3 L'odorat

Il a été décidé de ne pas demander directement pour le goût car même si l'ambiance est multi-sensorielle, dans la découverte d'un espace, le goût joue un rôle moins important. En revanche, avec la question, *« Si vous vous concentrez sur le sens odorat, pouvez-vous décrire votre expérience dans la salle ? »*, les participants ont été questionnés sur l'odorat. De façon générale les retours sur l'odorat sont assez neutres et parlent même d'une absence d'odeur. Il n'y a pas d'odeurs spécifiques identifiées sauf dans certains cas ponctuels où l'odeur du café ou du thé a été remarquée. À Barcelone, deux participants parlent d'une odeur de bois ancien (une fois sans terre et une autre fois avec de la terre).

Avec la présence de la terre crue, à Grenoble, seule une participante remarque une odeur particulière de « matière minérale » : « Ça sent très bon, ça sent la terre, la matière minérale et on sent plus quand on approche son visage, on sent sa fraîcheur ou sa chaleur… sa température. On sent que ce n'est pas… ça sent bon ! (Id.34.2-Q8) ». À Barcelone, un participant associe l'enduit avec une certaine odeur de fibre végétale : « Il y a comme la perception de quelque chose que j'aime. Cette odeur de fibre végétale qui donne une touche comme plus... Ce n'est pas comme être dans la campagne, mais si ça donne une touche plus casanière, j'aime qu'il y ait une odeur, pas que ce soit si inerte (Id.1.2-Q8) ». Cependant, le manque d'odeur de la terre (l'enduit) a été aussi très apprécié par une participante « J'ai bien aimé de la terre cette manque d'odeur. Je pense que c'est un point positif (Id.11.2-Q12) ».

5.3.2.2.4.4 L'ouïe

Par rapport au sens de l'ouïe et plus concrètement sur la question *« Si vous vous concentrez sur le sens de l'ouïe, pouvez-vous décrire votre expérience dans la salle ? »*, les participants des deux cas d'étude sont capables d'attribuer facilement des mots à l'ambiance générale de la pièce. Pour la décrire, ils parleront d'une ambiance « calme », « silencieuse », « apaisée » et « agréable »[127], mais avec une certaine perméabilité aux sons extérieurs[128]. À Grenoble, pour certains participants cette

---

[125] « …c'était vraiment de sentir… comme ça me pose, ça me pose les pieds sur terre après … mais il y a quand même une sensation de toucher ce mur-là mène plus vers le sol… (Id.43.2-Q6) ».

[126] « Je ne me suis pas assis cette fois-ci sur les chaises dures (de l'autre côté du mur), j'ai renoué avec le moelleux du fauteuil… (Id.29.2-Q6) ».

[127] Comme par exemple : « C'est un espace calme, silencieux qui peut même tomber dans le trop silencieux (Id.3.1-Q.5) » ou « C'est une ambiance calme (Id.11.2-Q.5) », « Extrêmement calme dans la pièce, c'est agréable (Id.31.1-Q5) », « Agréable, je te dis, apaisante. Oui, vraiment un truc de silence, confort, … C'était bien, quoi. Pas besoin d'une ambiance ou d'un truc… Le silence c'est bien. (Id.34.1-Q5) » ou « J'ai plus connecté le sens de l'ouïe avec une sensation de calme, physiquement. Ce n'était pas le calme qu'au niveau du son, c'était le calme connecté au niveau du corps (Id.43.2-Q5) ».

[128] « C'était comme être dans une boîte, mais écoutant autour de moi parfaitement (Id.9.1-Q.5) » ou « C'est comme rentrer dans une boîte silencieuse en elle-même mais qui est tellement perméable à tout ce qui se passe autour que c'est bourré de bruits (Id.23.1-Q5) ».

perméabilité devient assez « …intrusive… (Id.23.1-Q5) » mais dans d'autres cas, ces sons extérieurs peuvent également rappeler un air familier, de chez soi [129] et même apaisée d'une certaine manière[130]. Dans le cas de Barcelone, de manière générale, ces sons extérieurs peuvent être identifiés et ne sont pas continus même si fréquents. Pour certains participants ce flux assez constant de sons rend la concentration plus difficile (Id.11.1-Q5) mais d'autres personnes considèrent qu'ils ne sont pas gênants[131].

Pour certains participants de Barcelone, le fait que le lieu soit si « silencieux », d'une part apporte un certain confort (Id.14.1-Q5) mais pour certains, il peut aussi générer un certain inconfort car ils s'entendent trop eux- mêmes et ça devient trop « introspectif » (Id.4.1, 5.1-Q5). Certains participants relèvent le fait de même arriver à maitriser leurs mouvements afin de réduire les bruits qu'ils peuvent générer[132]. La relation au silence mise en évidence est parfois associée à un sentiment de solitude également[133].

Au-delà des descriptions plus générales sur l'ambiance sonore, les participants remarquent une résonance ou un écho dans la pièce[134]. Dans le cas de Barcelone, celui-ci vient renforcer un sentiment de « vide »[135] et à Grenoble plusieurs participants soulignent une résonance différente par rapport aux sols de la pièce (le lino de la partie cuisine et le parquet de la partie salon)[136].

Avec la présence de la terre crue, une réduction de la réverbération semble être identifiée par les participants dans les deux cas d'étude[137]. La diminution de la résonance est souvent mise en relation avec une sensation de moins « vide »[138], à Barcelone seulement une personne qui n'avait pas réalisé l'expérience auparavant en parle. Même si pour certains participants de Grenoble, l'absorption est moins prononcée avec la terre crue de ce qu'ils auraient pu espérer[139]. À Barcelone, plusieurs participants ont trouvé l'espace moins bruyant que la fois précédente, principalement par une réduction des sources des bruits extérieurs, donc pas spécialement lié à la présence de la terre[140].

[129] « Un peu de sons extérieurs mais quelque chose qui t'enveloppe qu'il te fait sentir chez toi. (Id.40.2-Q5) »

[130] « L'unique chose qui me calmait, c'était le bruit de l'extérieur (Id.25.1-Q5) ».

[131] « Il y a certains bruits qui viennent de l'extérieur, mais ils ne sont pas gênants parce qu'ils sont faibles et un peu aléatoires. Ils ne sont pas toujours là, sinon qu'ils viennent et vont (Id.10.1-Q.5) ».

[132] « N'importe quelle petite chose est entendue, donc tu t'assoies presqu'en faisant attention pour qu'on n'entende pas beaucoup (Id.20.2-Q.5) ».

[133] « Me donne le sentiment de solitude, de me sentir trop à moi-même (Id.5.1-Q5) ».

[134] Comme : « quand on parle à deux je trouve que cette pièce résonne énormément notamment quand elle est fermée (Id.26.1-Q5) », (Id.23-2, Id 26.2, Id 33.1 ou 34.2 – Q5).

[135] « Un peu de vide, de solitude... après j'étais seul. Il n'est pas très bruyant, il est silencieux, il n'y a pas d'écho bon en fait un peu oui, mais parce qu'il est très vide, il manque un peu de remplissage (Id.1.1-Q.5) » ou « … vide car en plus la voix quand tu parles résonne beaucoup (Id.8.1-Q.5) ».

[136] « La différence de sol, peut-être. Quand je marche c'est différent. Ça résonne différemment (Id. 32.1-Q5) », « … ça ne fait pas tout à fait le même bruit sur le lino que là-bas (Id.29-1 Q5) ».

[137] « On dirait qu'il y a un peu moins de réverbération (Id.6.2-Q5) » ou « Dans cette salle mais quand il était blanc je trouve que l'écho était plus fort ou le son. Je senti ça que l'écho … était plus fort voilà. (Id.33-2 Q5) »

[138] «…ça m'a paru moins résonner que la première fois. Ça me donne l'impression de moins vide (Id.29.2-Q5) »

[139] « Mais là vraiment quand on parle, je trouve que la pièce résonne encore un peu même si moins. Peut-être un peu… oui je pensais que le mur absorberait plus de son et que ça résonne encore fort, bizarrement… Ça m'étonne voilà. Ça résonne encore fort, c'est surprenant. (Id.39.2 – Q5) ».

[140] « J'ai eu l'impression que c'était moins bruyant (Id.4.2-Q5) », « Il n'y a pas tant de monde, je n'entends pas autant de choses que la dernière fois (Id.6.2-Q5) » ou « Je l'ai vu comme la dernière fois, c'est-à-dire moins bruyant, mais je ne pense pas que cela ait à voir avec le mur, mais avec le fait que personne ne parlait (Id.9.2-Q5)».

En résumé dans les deux cas d'étude, dans les retours sur le sens de l'ouïe, les participants sont capables d'attribuer facilement des mots à l'ambiance générale de la pièce (calme, silencieuse, etc.). Mais les définitions et le vocabulaire utilisés restent assez génériques, peu de nuances sont observées. Ils vont également identifier les sources des sons entendus (par exemple, la voix humaine, des sons extérieurs, le téléphone, etc.). En revanche, peu d'effets sonores sont identifiés au-delà de la résonance et de l'écho. Il est constaté un manque de vocabulaire concernant les effets sonores (Augoyard et Torgue, 1995). Finalement, les participants associent parfois l'ambiance sonore perçue à des sentiments plus personnels, notamment la solitude ou le fait de se sentir confortable.

5.3.2.2.5 Les modes d'action dans une même espace

Selon l'action réalisée dans un espace, le lieu n'est pas perçu de la même manière (voir la relation à l'usage de la partie 2.1). À ce propos les participants sont questionnés sur *« Votre temps d'isolement dans la salle a été divisé en deux : un premier temps plus de « découverte » et un deuxième temps où vous avez réalisé une action concrète. Avez-vous remarqué des différences significatives dans l'ambiance générale de la salle entre les deux temps ? »*.

Premièrement, certains des participants (à Grenoble) abordent la notion du temps passé dans sa totalité, du fait que plus longtemps nous restons dans un endroit, plus nous parvenons à une sorte d'accoutumance[141], à créer un sentiment d'être plus chez soi[142] et aussi la possibilité de faire plus attention aux petits détails[143].

D'autre part, il paraît y avoir une différence dans la manière de s'approprier l'espace pendant les deux premières minutes et pendant les 8 minutes restantes. Dans les deux premières minutes, les participants sont plus « actifs »[144], plus « observateurs »[145], plus à « 100% »[146]. À la fois, le fait de se sentir en « exploration » apporte aussi une plus grande liberté des mouvements et d'actions. Ces premières minutes donnaient aussi l'opportunité de connaître mieux la pièce pour, par la suite, par exemple, choisir où s'installer[147]. De façon générale, les participants sont plus attentifs et donc réceptifs. Cependant, à Barcelone (sans la terre crue) plusieurs participants ressentent une ambiance plus « froide » quand ils découvraient le lieu et une fois qu'ils se sont installés, leurs ressentis se sont améliorés et ils réussissent à se concentrer sans problème sur une tâche (Id.11.1, 14.1, 15.1-Q3).

---

[141] « Je dirais que la différence est une sorte d'accoutumance (Id.29.2-Q8) ».

[142] « Plus on a du temps plus on peut se sentir chez soi (Id.43.2-Q8) ».

[143] «… j'ai un petit peu approfondi, des détails, j'ai caressé les cailloux… aller plus loin que tout simplement voir comment je me sens. Je commençais à jouer avec l'espace… Donc plus tu restes de temps plus tu te dis « tiens ce petit détail » (Id.23.2-Q8) ».

[144] « …les deux premières j'étais vraiment dans l'exploration… ok je vais aller toucher, traverser, … en essayant d'aller d'un lieu à l'autre de l'espace pour essayer de ne pas être que là-bas. Très actif sur la première étape... (Id.40.2-Q9) ».

[145] « Quand j'étais en mode découvrir, c'est vrai que je regardais tous les détails, tous les défauts…(Id.11.2-Q9) ».

[146] « C'est plus que les deux premières minutes je suis vraiment attentive à la pièce où je suis, ce que ça me fait… je suis 100% tu vois (Id.26.2-Q9).

[147] « Le début, c'est... j'ai pris le temps de comprendre un peu la pièce et après je me suis senti à l'aise (Id.42.2-Q9) » ou «… j'ai beaucoup tourné pendant les deux premières minutes, je cherchais où est-ce que je me sentais le mieux, (Id.29.2-Q9) ».

En revanche pendant les 8 dernières minutes, les participants sont moins attentifs, moins actif, il y a une sorte de lâcher prise ou de détente[148]. C'est finalement une autre façon d'être dans l'espace : « c'est intéressant car dans la deuxième étape c'est une autre façon d'être dans le lieu, c'est … je ne sais pas si c'est moins actif, c'est moins … oui, on va être moins dans le faire, on va être juste plus contemplatif, plus essayer de dégager, de juste analyser, juste une façon d'être (Id.40.2-Q9) ». Le fait de se focaliser sur une tâche, comme par exemple lire, peut pour certains, les déconnecter d'une certaine manière de l'espace, ou plus concrètement des éventuels stimulus externes. Ils seront moins attentifs à leur sensorium en général. Certains participants faisant l'expérience pour la première fois (avec de la terre) trouvent le lieu plus calme et agréable (Id.16.2, 17.2, 20.2, 21.2-Q9).

Néanmoins pour une participante de Grenoble et un autre de Barcelone (les deux avaient fait l'expérience sans la terre crue), la présence du mur en terre et la curiosité qu'il générait font qu'ils n'arrivent pas à se concentrer sur la lecture (alors que sans le mur oui), car leur attention et leurs stimulus restaient toujours attentifs et attirés par le mur[149].

Finalement, à Barcelone, les participants qui faisaient l'expérience pour la deuxième fois ont eu une tendance importante à comparer avec l'expérience précédente, ce qu'ils ont fait ou le sentiment qu'ils ont eu[150].

5.3.2.3 Données sur l'interactions avec l'espace (carte des mouvements)

Les mouvements des participants dans les deux salles d'expérimentation (Grenoble et Barcelone) viennent confirmer « l'attirance » vers le mur en terre, déjà mise en évidence pendant l'analyse des entretiens (Figure 222 et Figure 223). La présence de la terre crue génère un plus grand désir de s'approcher et de toucher le mur. Ce fait est surtout évident avec les participants qui avaient fait l'expérience sans terre crue (profil 3 et 5) et qui systématiquement vont toucher le mur. La présence de la terre crue a également une influence sur les placements des participants dans la pièce pendant les 8 minutes, car ils ont tendance à se placer à proximité du mur ou par exemple à Barcelone, à orienter la chaise vers le mur quand ils sont placés plus loin (principalement les participants du profil 3 et 5). Donc, il semblerait que la présence de la terre peut influencer notre placement ou nos déplacements dans l'espace, au moins la première fois que nous découvrons le lieu.

Sans la terre crue, nous observons que par exemple dans le cas de Grenoble, les participants ont tendance à passer plus de temps vers les fenêtres et, à l'exception de trois participants, personne ne s'approche de la zone du mur, qui par la suite sera modifiée (Figure 222). À Barcelone, les

[148] « Je me suis carrément détendu à la fin, je n'ai pas vu le temps passer, juste posé là (Id.38.2-Q9) ».

[149] « Je trouve qu'il n'y a pas vraiment une différence parce que le mur m'intéresse toujours. Mais quand je fais la lecture, j'ai lu ce livre, je fais toujours attention ou mur là-bas. J'ai jeté un œil et dans la première expérience je n'ai pas eu quelque chose qui m'intéressait pour couper la lecture et faire une autre chose et cette fois les livres sont un peu passés… (Id.33.2-Q9) » ou « Cette fois, j'ai ouvert une page et mon attention s'est tournée vers l'environnement et ça a été différent (Id.10.2-Q9) ».

[150] Comme par exemple : « …mais cette fois, je me suis arrêté plus, je me suis concentré sur le fait de regarder. Comme si tes sens étaient plus actifs parce qu'il y a quelque chose de nouveau, il semble que tu dis ouh ! attention il y a quelque chose de nouveau (Id.1.2-Q9) » ou « C'est comme si l'autre jour je voyais tout depuis l'extérieur, comme si j'étais dans un lieu comme une invitée et aujourd'hui je me sens plus « campechana », plus à la maison. (Id.9.2-Q9) ».

déplacements sont similaires mais avec certains d'entre eux plus focalisés dans la partie centrale et moins sur les murs longitudinaux (avec la terre crue, parfois les participants touchent le mur en face en comparant avec le mur en terre) (Figure 223).

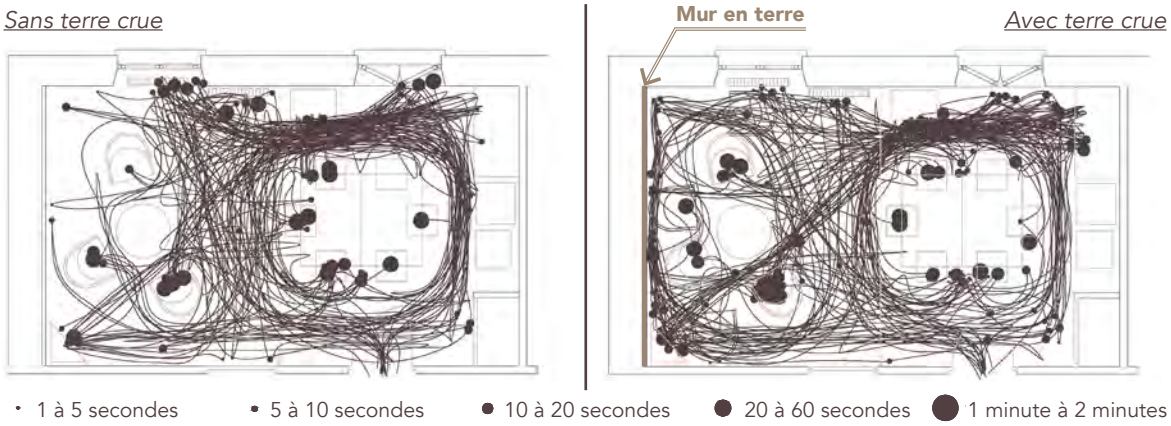


Figure 222 Traçage des mouvements des tous les participants de Grenoble.

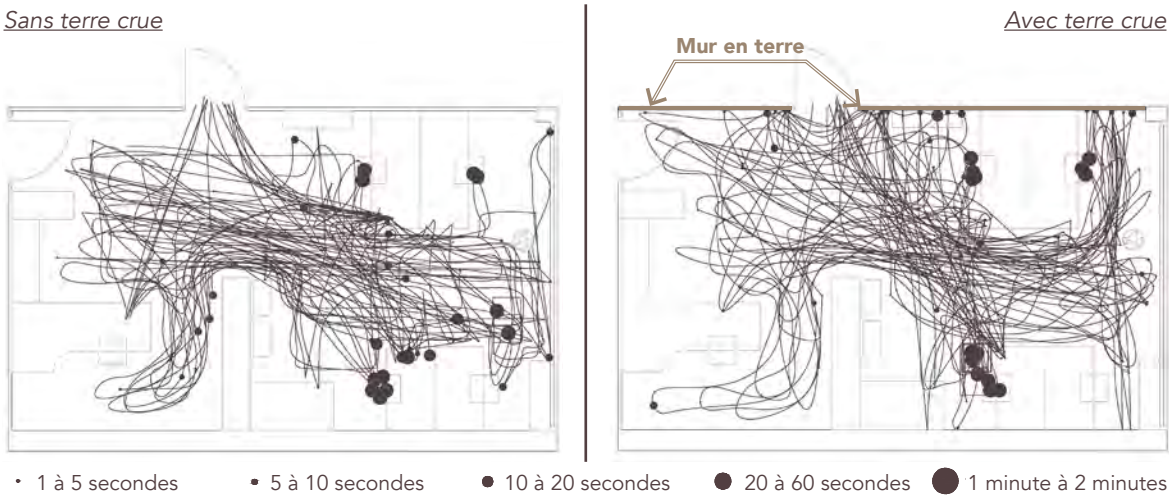


Figure 223 Traçage des mouvements des tous les participants de Barcelone.

Concernant les participants n'ayant pas fait l'expérience auparavant et qui ne connaissaient rien de notre travail (profil 2), il est observé qu'ils ne s'approchent pas nécessairement du mur[151] (Figure 224). La majorité des participants qui n'avaient pas d'informations préalables se sont installés plus loin du mur que ceux qui étaient conscients de la présence de la terre crue. Cette observation interroge sur l'éventuelle importance du récit mais aussi des informations dont nous disposons lorsqu'un espace est appréhendé.

[151] À l'exception d'une personne (À Barcelone) qui touche le mur pendant moins de 5 secondes, mais il l'assimile le mur à « une ancienne plaque de Placoplâtre (Id. 16.2).

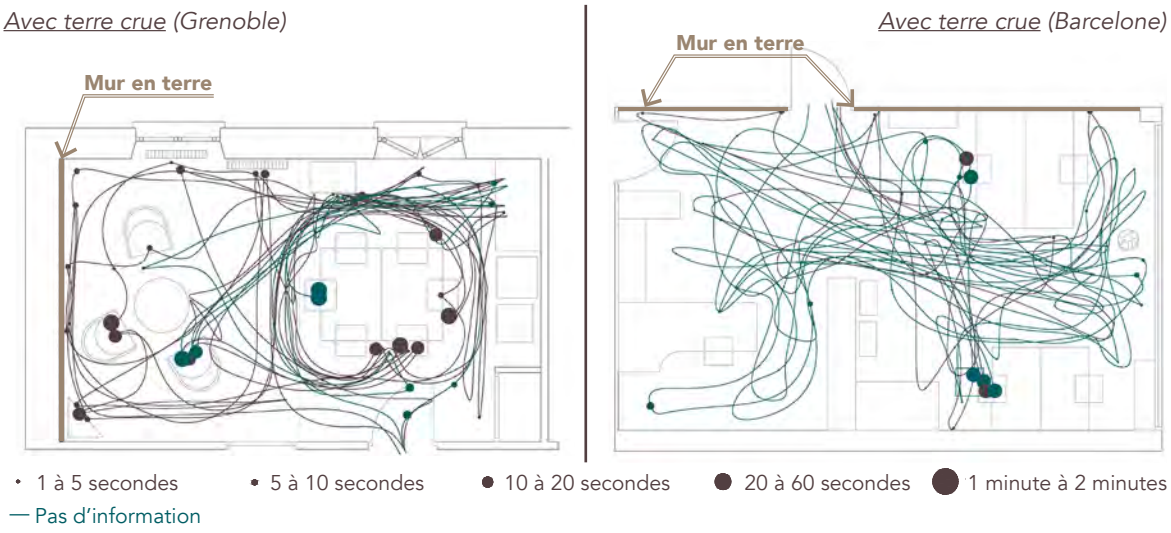


Figure 225 Traçage des mouvements des participants du profil 2.

5.3.2.4 La complémentarité et l'explication entre les données quantitatives et qualitatives

De manière individuelle, l'analyse des données obtenues par techniques quantitatives et qualitatives ont apporté de multiples informations. Cependant grâce à l'utilisation de ces deux types de techniques, certaines informations ont pu être complétées et/ou expliquées plus précisément.

Par exemple, à Barcelone, les questionnaires montrent une claire modification sur la perception de l'ambiance et surtout au niveau visuel (Figure 211). Les raisons peuvent être multiples mais dans l'analyse des entretiens nous retrouvons des références directes à l'enduit et au visuel telles que : « …il offre un visuel très aimable comme agréable (Id.10.2-Q13) » ou « Au niveau visuel il est beaucoup plus beau maintenant, il est beaucoup plus agréable. Il n'a pas la froideur du blanc... (Id.9.2-Q7) ». Ces retours nous permettent d'affirmer qu'effectivement la modification observée dans les jugements visuels des questionnaires est due principalement à la présence de la terre crue.

À Grenoble, la complémentarité utilisée entre le questionnaire et les entretiens a apporté d'autres explications sur les meilleurs jugements dans les questionnaires concernant la lumière naturelle dans la pièce sans terre crue. Dans l'analyse réalisée ces jugements sont associés aux conditions météorologiques (voir partie 5.3.2.1) mais une des participantes parle du côté foncé du mur en terre qui amène un besoin plus grand de lumière et par conséquent qui rend la pièce plus sombre à côté du mur blanc qui existait auparavant[152]. Donc ce retour peut également expliquer les retours collectés par les questionnaires sur la lumière naturelle dans les deux scenarios (sans et avec terre crue).

Les entretiens ont permis également d'avoir des explications plus complètes sur les conditions socio-culturelles et professionnelles des participants. Les questionnaires ont mis en relief l'absence de terre crue dans les ambiances quotidiennes d'habitation des participants (sauf pour deux), mais ils sont plusieurs participants à avoir une certaine familiarité avec le matériau terre crue. Celle-ci est mise en relief pendant les entretiens. Voici quelques exemples significatifs : « Ce n'est pas la première fois que je me confronte à des murs en terre donc ce n'est pas étonnant pour moi

[152] « Je trouve qu'il y a besoin d'un peu de lumière, plus qu'avant parce que c'est déjà foncé ce mur par rapport à un mur blanc. (Id.33.2-Q10) ».

(Id.32.2-Q3) », « Du coup j'ai une relation plus personnelle avec la terre car je travaille avec la terre mais aussi je suis iranienne et il y a des choses dans le village (Id.37.2-Q10) », « J'ai l'habitude de voir dans la région où je suis né… dans le sud… on utilise la terre, plein de briques de terre. Les deux maisons de mes grands-parents sont en terre mais ils mettaient un enduit. Donc ça m'a paru normal (Id.42.2-Q10)» ou « Bien sûr, j'aime beaucoup le matériau et en sachant ce que c'est et ses propriétés, je pense vraiment que la pièce gagne beaucoup (Id.4.2-Q10) ». Les relations avec la terre crue font principalement partie des vécus personnels en lien avec leurs origines mais aussi leurs professions. Plusieurs participants travaillent avec la terre crue soit au niveau architectural (la région de Grenoble et Lyon possède un important patrimoine en terre crue), artistique ou de recherche. Ces deux facteurs, leur origine mais également leur profession, peuvent générer une différenciation dans les retours. Par exemple, deux participants de Grenoble qui n'ont pas fait l'expérience sans terre crue et qui ne connaissaient pas notre travail, ne parleront pas du mur tout au long de l'entretien. Une première interprétation peut faire appel à l'importance du récit et des informations dont nous disposons lorsqu'un espace est appréhendé (mise en évidence également dans la partie 5.3.2.3 et 5.3.2.2.3.1). Mais ces deux personnes ont grandi autour des maisons en terre dans leur pays donc l'absence « d'intérêt » pour la terre peut aussi se trouver sur l'habitude et l'ordinaire pour eux. Donc cet exposé met en relief le besoin de tenir compte des situations socio-culturelles d'origine mais également professionnelles pour mieux comprendre leurs perceptions de l'espace car ces explications peuvent être multiples.

5.3.3 Corrélation entre l'approche physique et sensible

L'étude simultanée des données physiques et des données sensibles est au cœur des études des ambiances mais également de ce travail de thèse. Donc après l'analyse distinctive réalisée pour les données physiques et sensibles, dans cette partie nous proposons de corréler et de comparer ces deux types de données afin des trouver de possibles convergences et/ou contradictions.

5.3.3.1 La thermique et les données sensibles

Lorsque les données physiques sont corrélées aux données sensibles, les conclusions sont mitigées. Cependant il y a un fait partagé dans les deux cas d'étude. Avec la présence de la terre crue, les retours aux questionnaires des participants sur la température et l'humidité sont jugés plus agréables de façon distinctive à Barcelone et plutôt pour une absence de jugements moins agréables (« assez désagréable (2) » ou « un peu désagréable (3) ») à Grenoble (Figure 225). La meilleure sensation thermique, souvent reliée à l'ambiance perçue, est également mise en évidence pendant les entretiens.

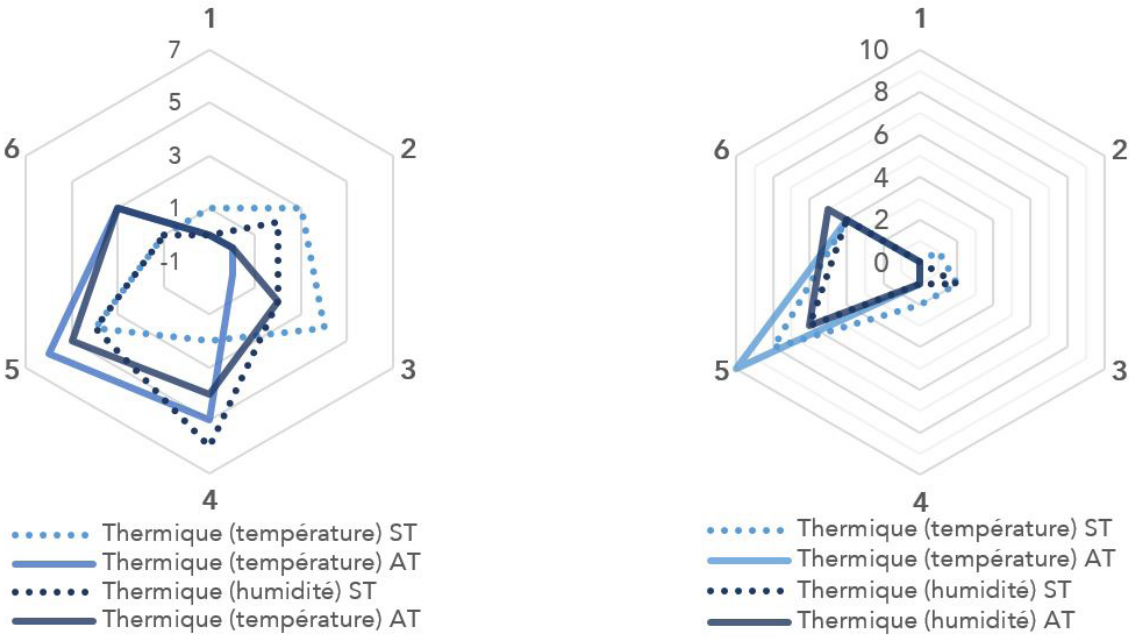


Figure 225 Question : Du point de vue de votre ressenti, l'ambiance de la salle vous paraît. Retours des participants sur l'ambiance thermique (température et humidité) – Barcelone (à gauche) et Grenoble (à droite). Note : ST : Sans terre crue ; AT : Avec terre crue.

À Barcelone, dans les entretiens sans la terre crue le mot « froid » est récurrent, à la fois en relation à la température mais également sur l'ordre du ressenti et l'ambiance perçue. Avec la présence de l'enduit en terre crue, cette notion de « froid » est beaucoup moins présente et surtout avec les participants qui avaient fait l'expérience avec et sans terre (profil 3 et 5) (Figure 226 et Figure 227). Quand les retours de Barcelone sont corrélés aux mesures physiques, nous retrouvons une certaine cohérence. Avec la présence de la terre crue les valeurs mesurées sont placées plus sur la zone centrale appelée zone de confort (Figure 228 et partie 5.3.1.2), principalement par la baisse de l'humidité relative et une petite augmentation de la température (Tableau 48). Connaisseurs de la capacité régulatrice de l'humidité de la terre (1.1.5), nous pourrions penser que cette baisse est due à sa présence, mais il faudrait plus d'études pour une telle affirmation même si cela reste une possibilité.

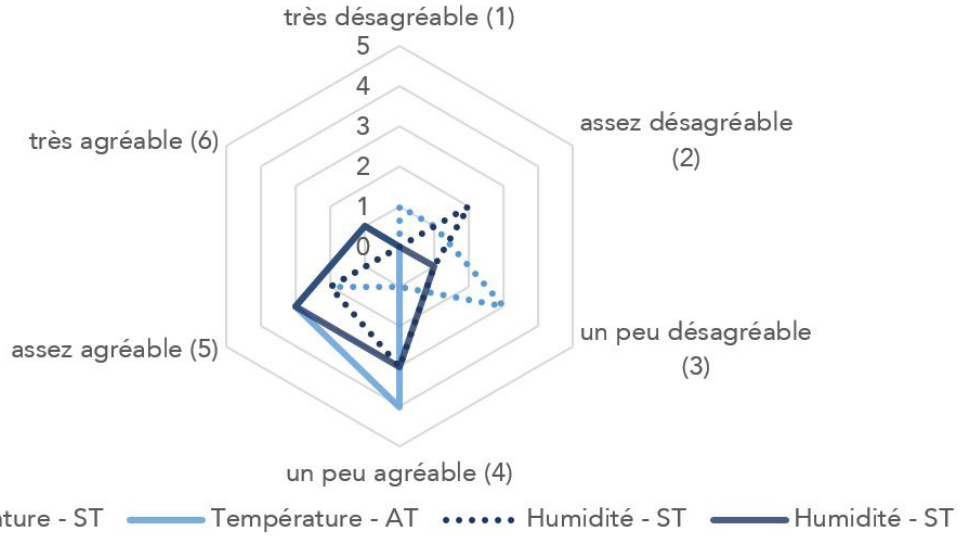


Figure 226 Question : Du point de vue de votre ressenti, l'ambiance de la salle vous paraît. Retours des participants sur l'ambiance thermique (température et humidité) – Profils 3 et 5 à Barcelone.

Retours salle sans terre crue	Retours salle avec terre crue
« J'ai la sensation d'un bureau froid et pas chaleu-reux (Id.1.1) ».	« Aujourd'hui, c'est une ambiance plus chaleureuse, un peu plus chaude (Id.1.1) ».
« C'est froid (Id.6.1) ».	« Un peu mieux, un peu plus chaud au niveau de la température (Id.6.2) ».
	« Qu'il ne fait pas froid (Id.4.2) ».
	« …je n'avais pas le froid de la dernière fois… Je flippe parce que la sensation thermique est très différente (Id.9.2) ».

Figure 227 Retours sur la température des participants des profils 3 et 5 à Barcelone.

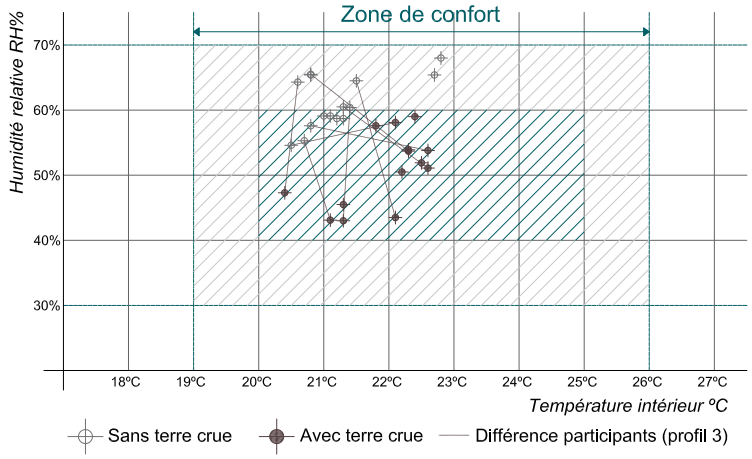


Figure 228 Température et humidité relatives mesurées à Barcelone (région hygrothermique - confort humain).

À Grenoble, la corrélation est moins évidente car même si une baisse de l'humidité relative est également observée avec la présence de la terre crue, l'ensemble des températures (sauf deux) sont en dehors de la zone de confort (inférieures à 19°C). Malgré les faibles températures, les jugements portés sur les conditions thermiques, dans les entretiens sans le mur en terre, ne sont pas très défavorables. Seul un participant en réfère au sens du toucher et dit : « Tout était froid au toucher. Euh... Les murs sont glacés, la table elle est glacée. Tout est très froid au toucher (Id 30.1Q-6) » mais il continue : « C'est vrai que là je suis bien, quoi. Je serais content de rester là toute la journée (Id 30.1-Q6) » donc il ne semble pas énormément dérangé par les basses températures. D'autres commentaires, de la pièce sans terre crue, sont plutôt positifs : « Il fait beau, il fait chaud (Id 31.1-Q6) » ou « Au niveau de mon corps j'ai plutôt senti la chaleur (Id 26.1-Q6) ». Dans les retours aux questionnaires un jugement plutôt « assez agréable (5) » est également mis en évidence (Figure 225). Avec la présence de la terre crue, dans les entretiens, les références à la température sont encore moins présentes. Seulement certains appels à la température du mur en terre comme : « J'ai touché, j'ai senti qu'il est froid le mur (Id.35.2-Q6) » mais pas à la température générale de la salle. Cependant, comme vu dans les questionnaires il y a une amélioration dans les jugements des participants. Donc, compte tenu de ces résultats, les participants semblent être plus tolérants aux basses températures que les standards de confort thermique établis par la norme ASHRAE 55 (Turner et al., 2010) (température confort entre 19°C et 26°C).

5.3.3.2 L'acoustique et les données sensibles

Dans les deux cas d'étude, les diminutions du temps de réverbération avec la présence de la terre crue ne sont pas très significatives (Figure 206). Par exemple, à Grenoble, les différences de TR plus importantes entre la salle sans terre et avec terre sont aux alentours de 0,10 secondes et à Barcelone de 0,05 secondes. Cependant, en analysant les retours des participants qui ont réalisé l'expérience avec et sans terre (profils 3 et 5), il y a une tendance générale, dans les deux cas d'étude, à remarquer une diminution de la résonance de la pièce. Comme par exemple : « …je trouve que le son est plus mat. J'ai l'impression qu'il résonne moins. Ça ne claque pas. (Id.38.2-Q5) », « Je pense que j'ai une meilleure expérience par rapport à la première fois, ça m'a paru moins résonner que la première fois (Id 29.2-Q5) », « J'ai la sensation … il n'y a pas autant d'écho, le lieu m'agresse moins…L'espace en étant le même la sonorité a changé (Id.4.2-Q2) » ou « Il se sent comme un peu moins de réverbération (Id.6.2-Q5) ».

D'autre part, à Grenoble, même si la résonance semble avoir diminué (un peu), plusieurs participants mettent également en évidence une résonance assez marquée dans la pièce, comme : « … tu as une fréquence de résonance qui est assez marquée. Je pense qu'il y a moins qu'avant. (Id.23.2-Q5). », « J'ai entendu dès qu'on tape quelque chose, il y a une résonance très forte dans cette pièce. (Id-26.2-Q5) » ou « Mais là vraiment quand on parle, je trouve que la pièce résonne encore un peu même si moins (Id.34.2-Q5) ». Ces remarques pourront être mises en relation avec les mesures obtenues où une bonne partie des valeurs sont au-dessus de 1 seconde donc pas conformes aux valeurs stipulées pour une salle de petites dimensions (62,5m^3) et utilisée comme salle de réunion.

À Barcelone, de façon générale avec la présence de la terre crue, les participants parlent moins qu'auparavant de la sensation de vide qu'ils avaient associée parfois à la réverbération de la salle (5.3.2.2.4.4).

L'amélioration sonore ressentie par les participants avec la présence de la terre crue (dans les deux cas d'étude) est également mise en avant dans les retours des questionnaires (Figure 229). À Barcelone, il y a plus de jugements avec une tendance plus importante vers un jugement « un peu agréable (4) » tandis qu'avant la tendance principale était « un peu désagréable (3) ». Les jugements très négatifs ont également diminué, personne n'a jugé l'ambiance comme « très désagréable (1) » avec la terre crue. À Grenoble, les retours montrent une tendance plus importante vers un jugement « assez agréable (5) » tandis qu'avant la tendance principale était « un peu agréable (4) ». Les jugements moins positifs ont également diminué, personne n'a jugé l'ambiance en dessous de « un peu désagréable (3) » avec le mur en terre crue. En revanche, les retours « très agréable (6) » ont diminué avec le mur en terre mais il a été remarqué que les participants ayant jugé très positivement l'ambiance sonore n'ont pas refait l'expérience à l'exception d'une personne.

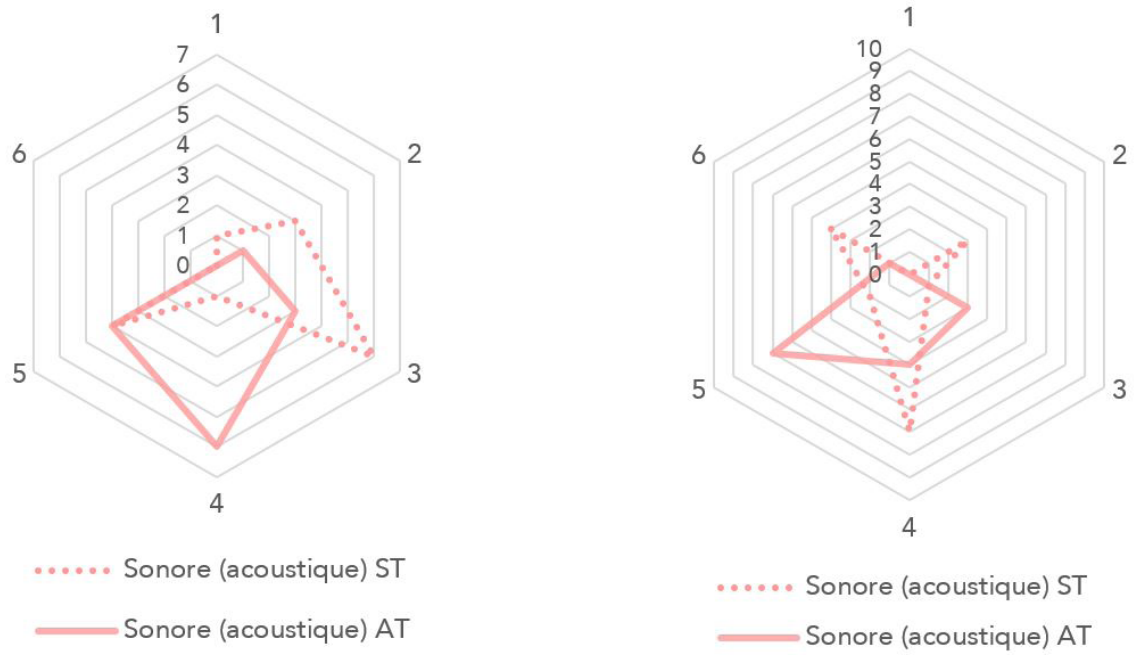


Figure 229 Question : Du point de vue de votre ressenti, l'ambiance de la salle vous paraît. Retours des participants sur l'ambiance sonore – Barcelone (à gauche) et Grenoble (à droite). Note : ST : Sans terre crue ; AT : Avec terre crue.

Par rapport aux personnes qui ont vu la pièce avec et sans le mur (Profil 3), les retours de Grenoble sont également plus positifs avec le mur en terre crue (Figure 230). Il n'y a pas de jugements « assez désagréable (2) » et plus de jugements « assez agréable (5) ». À Barcelone, sur les retours des participants du profil, nous retrouvons le même cas de figure qu'à Grenoble avec moins de jugements négatifs comme « assez désagréable (2) » et plus de jugements « un peu agréable (4) » et « assez agréable (5) ».

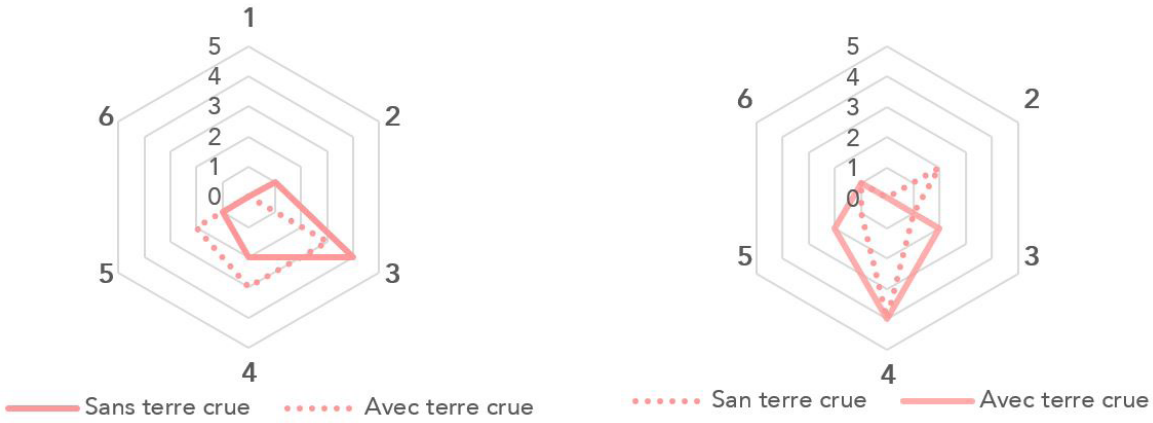


Figure 230 Question : Du point de vue de votre ressenti, l'ambiance de la salle vous paraît. Retours des participants du profil 3 sur l'ambiance sonore – Barcelone (à gauche) et Grenoble (à droite). Note : ST : Sans terre crue ; AT : Avec terre crue.

En résumé, on retrouve effectivement une corrélation entre la mesure et les retours plus subjectifs des questionnaires et entretiens. Néanmoins, la différence des ressentis des participants entre les salles avec et sans terre crue semble être plus importante que celle mesurée.

5.4 Synthèse du chapitre

Avant tout, nous devons préciser que dans aucun cas ce travail n'a pour but d'établir des généralités mais il cherche à expliquer les singularités retrouvées qui pourront devenir des pistes pour de futurs travaux autour des ambiances en terre crue.

5.4.1 Difficulté d'exprimer le ressenti

Tout d'abord, l'analyse des entretiens montre clairement différentes façons d'exprimer le rapport à l'espace et plus concrètement à l'ambiance. Dans les retours des entretiens, différentes notions sont souvent mélangées et parfois difficiles à catégoriser d'une manière définitive.

Plus concrètement, les participants ont utilisé plusieurs moyens d'expression pour partager leurs rapports à l'espace, comme par exemple le **jugement personnel** : « Je la trouve très agréable (Id. 26.2-Q3). », « Alors le jaune j'aime beaucoup (Id.33.1-Q3) » ou « Pour moi cette ambiance est normale…(Id.18.2-Q3) ». De façon récurrente les participants font aussi appel à leur ressenti corporel, avec des expressions comme par exemple « C'est accablant (Id.7.1-Q3). » et « De façon générale, il y avait quelque chose d'apaisant… (Id.40.2-Q3) ». À plusieurs reprises, ils ont également mis en évidence l'importance de **tout le corps** dans le ressenti et la difficulté de se focaliser sur un seul sens : « Je me sens très entière dans les sensations physiques. Ce n'est pas que le nez qui sent, ce n'est pas que le haut du corps, c'est vraiment tout le corps qui est présent à sentir ce qui se passe dans cette salle (Id.43.2-Q4) ». Il a été aussi remarqué une certaine difficulté à mettre des mots sur le rapport à l'espace et plus concrètement à l'ambiance d'un lieu. À ce propos et peut-être afin de mieux illustrer leurs perceptions, ils utilisent la **métaphore** ou s'appuient sur leurs propres **mémoires** et **vécus**. Par exemple : « Ça me rappelle un peu un hôpital, pas abandonné, mais un certain laisser-aller (Id 1.1-Q3) » ou « Quand tu rentres entre les pierres, dans une grotte, entre les arbres, c'est la même sensation, un peu plus forte dans la nature mais dans les bâtiments je sens ça (Id 35.2-Q10) ».

Donc notre première remarque fait référence à la difficulté des enquêtés d'aborder la notion d'ambiance et plus concrètement l'ambiance perçue dans un lieu. Cela amène déjà à un mélange de figures sémantiques.

5.4.2 La terre crue comme changement d'ambiance et renforcement d'une architecture multi sensorielle

En reprenant les questionnements initiaux :

Comment le changement de matérialité d'un lieu peut modifier la perception de celui-ci ? Et plus concrètement, comment la terre crue peut influencer l'ambiance perçue ?

Comment identifier et décrire les sentiments corporels ? Est-ce que la terre crue peut amener un plus grand éveil des sens ?

Avec l'analyse réalisée, nous avons pu observer tout d'abord qu'un « changement d'ambiance » semble en effet avoir lieu avec la terre crue. Les espaces étudiés sont décrits dans un premier temps comme un espace « vide » à Grenoble et « froid » à Barcelone et avec la terre crue, ils

deviennent des espaces chaleureux[153], cosy, accueillants, vivants et rassurants. En même temps, le vocabulaire utilisé par les participants avec la terre crue est évocateur d'une sorte de détente physique et psychologique. Le changement produit avec la présence de la terre vient également soutenir les études réalisées autour du bois et leur capacité pour relier les usagers à la nature et même descendre le niveau de stress et améliorer les sentiments (Kotradyova et al., 2019; Li et al., 2021).

Une même matière, une différente mise en œuvre

La différence de technique constructive dans les deux cas d'étude semble apporter des variations dans les descriptions des ambiances perçues par les participants (Figure 231). Le mur en briques à Grenoble transforme un espace quelconque en une pièce avec une **histoire** qui nous rapproche à une idée d'ancrage dans le temps et dans un lieu. D'un autre côté, la notion d'**humain** apparaît clairement dans ce cas d'étude, en faisant référence au «fait à la main», à l'humain artisan, aux traces de doigts sur la surface des briques mais aussi en faisant référence au vivant. L'authenticité apportée par cette matérialité humaine et évocatrice de la nature a été à la fois confrontée à la « perfection » des constructions actuelles et les matériaux fabriqués par des machines, qui conduit à une déconnexion de l'usager avec la sensibilité matérielle de l'architecture. Cependant, le côté humain sera moins remarqué pour l'enduit en terre à Barcelone, et plus «sous-entendu» dans des aspects de surface (texture) et de couleur qui lui confèrent une singularité mais aussi un côté plus naturel.

Figure 231 Mise en œuvre Grenoble (briques) et Barcelone (enduit)

L'attirance du mur

Il y a eu une attirance générale envers le mur qui s'est manifestée, d'un côté, par les déplacements des enquêtés pour regarder et toucher le mur mais aussi par le choix de s'installer souvent proche du mur en terre ou de le regarder. D'un autre côté, « l'attirance » est mise en évidence par les descriptions de leur premier regard vers le mur, l'envie d'aller le toucher ou de s'asseoir à proximité de celui-ci. Cependant, cette certitude a été seulement mise en évidence avec les participants qui avaient fait l'expérience sans terre crue ou qui avaient certaines informations sur notre travail et notre profession.

[153] L'utilisation du mot « chaleureux » exprime ici une sensation corporelle qui n'est pas forcément liée à la température de la salle.

La terre, moteur d'éveil des sens

Nous avons pu vérifier, en effet, que la vue joue un rôle prédominant dans la perception de l'ambiance et est décrite par les participants comme le sens le plus stimulé en étant dans la salle. Quand la salle était dans son état initial, dans les deux cas d'étude, aucun enquêté ne parle par exemple du toucher comme un des sens plus impliqués. Avec le changement de matérialité, le sens tactile prend une place plus importante lors des témoignages des participants ainsi que l'apparition des commentaires qui font référence au mélange des sens (synesthésie), la kinesthésie ou tout simplement à l'importance de tout notre corps ou l'emploi des différents sens pour appréhender le lieu.

Donc, effectivement, l'utilisation des matériaux naturels comme la terre crue pourrait éventuellement nous aider dans le renforcement d'une architecture multi-sensorielle et enrichir l'expérience sensible dans un espace.

5.4.3 La place du faire et l'importance du récit

Cette implication pourrait-elle laisser des traces sous la forme d'une mémoire corporelle ou d'un vécu et modifier la perception d'un espace ?

L'échantillon réduit d'enquêtés ne nous permet pas une généralisation sur le fait que la participation puisse avoir une influence, en tout cas plus que d'autres facteurs, sur la perception du changement d'ambiance. Certains participants ont même différencié clairement leurs expériences sur le chantier et dans la salle. Une participante signale par exemple que : « Je pense que ce que je ressens maintenant (en étant dans la salle finie) est uniquement à partir de ce que j'observe à présent. Quand nous avons réalisé le chantier c'était quelque chose de différent. Pour moi, ce sont des expériences différentes car par exemple l'aspect actuel est très différent de celui qu'il y avait quand nous venions de faire l'enduit. J'étais même surprise quand j'ai vu la salle maintenant. Donc je pense que je ne mélange pas les expériences ». Il faut signaler que la terre crue a un changement de couleur important entre le moment de sa mise en œuvre et une fois qu'elle est sèche mais aussi dans les odeurs. Pendant le chantier (avec la matière mouillée) des odeurs de terre mouillée, humus ou fibre végétale (entre autres) peuvent être assez prenants, une fois le mur sec ceux-ci peuvent même disparaître complétement.

Nous constatons néanmoins que certains participants qui ne nous connaissaient pas, ainsi que notre travail avec la terre, ne parlent pas du mur et ne s'en approchent pas pour le toucher. Cela questionne la place du récit dans la perception des ambiances et donc la connaissance de notre travail de recherche, la connaissance de l'histoire de la construction, en plus de la participation physique aux chantiers. Dans ce sens un participant annonce :

> « (...) si tu sais que c'est de la terre peut-être que tu as l'impression d'être plus à l'aise. Si tu ne le sais pas, tu ne tiendras pas compte de ce mur (...). Bon, ça attirerait l'attention parce que tu verrais quelque chose de bizarre et peut-être tu toucherais, mais tu ne sais pas que c'est de la terre. Si on ne te le dit pas que c'est de la terre, tu ne sais pas que c'est de la terre, la grande différence est celle-là. Si on te le dit, tu vas travailler dans un endroit où les murs sont enduits de terre, peut-être tu les regardes de façon différente par rapport à un endroit où les murs sont

peints avec de la peinture marron, ça, c'est sûr, sans aucun doute (Id.2.2-Q11) »

Cela ajoute donc un nouveau questionnement à approfondir : dans quelle mesure **le récit** et les informations connues auparavant peuvent influencer notre appréhension de l'espace ?

5.4.4 L'ambiance sonore et l'influence d'autres sens

Les textures, les appareillages et en résumé les mises en œuvre de la terre peuvent changer les performances acoustiques d'un lieu et par conséquent le rendre plus agréable à vivre ?

En ce qui concerne l'ambiance sonore en particulier, de nombreux participants parlent d'une réduction de la résonance dans la salle avec la présence des murs en terre dans les deux cas d'études. En effet, les mesures physiques témoignent d'une certaine diminution vers les hautes fréquences avec la terre crue, surtout dans le cas d'étude de Grenoble. Cependant, la différence des ressentis des participants semble être plus importante que celle mesurée. Ces retours font envisager une possible limitation de la mesure en comparaison des subtilités que l'ouïe humaine est capable d'apprécier mais aussi une possible influence d'autres sens sur le ressenti sonore d'un espace.

Chapitre 6. Conclusions

Dans cette thèse, nous avons étudié un champ encore peu exploré des ambiances dans les constructions en terre crue et plus particulièrement celui des ambiances sonores. Nous avons cherché à faire dialoguer les paramètres purement physiques ou environnementaux avec les expériences sensibles des usagers, avec comme objectif final *de qualifier et quantifier les ambiances sonores dans des constructions utilisant de la terre crue et d'en évaluer les effets sur la qualité de vie des usagers.*

Ce travail nous a permis également de répondre aux questions sous-jacentes sur le rôle de la terre crue dans la création des ambiances. Explorer comment une ambiance peut être modifiée en présence de terre crue afin de déterminer si elle peut encourager une architecture multi sensorielle et un plus grand éveil des sens et si elle permet de proposer des solutions constructives acoustiquement performantes.

Pour répondre à nos questionnements, nous avons travaillé simultanément avec des données physiques, principalement des données acoustiques, et des données sensibles, et ce dans deux contextes. Un premier contexte d'étude est basé sur l'étude d'établissements scolaires où la gestion de la qualité acoustique est essentielle pour permettre la transmission des connaissances (Russo et Ruggiero, 2019) (3.1.1 et Chapitre 4). Ce contexte nous a permis d'enquêter sur un échantillon large et varié de personnes et d'étudier différentes mises en œuvre en terre crue. Le second contexte concerne la comparaison d'un même environnement avec et sans terre crue (3.1.2.1 et Chapitre 5). Dans deux pièces construites avec des matériaux conventionnels, un mur de chaque pièce a été modifié par un mur d'adobe à Grenoble et par enduit en terre crue à Barcelone. Les constructions ont été réalisées avec la collaboration de bénévoles et sur plusieurs ateliers de mise en œuvre (Vidéo du pied de page «19»). Certains des participants au chantier ont également participé à l'enquête de l'expérience de comparaison mise en place pour l'étude des ambiances et ce afin de vérifier l'effet de leur implication sur la modification de la perception de l'espace.

6.1 Discussion des résultats

6.1.1 Approche physique - phénomènes acoustique et terre crue

Dans les établissements scolaires, une campagne de mesures acoustiques in situ a été réalisée dans cinq établissements scolaires, permettant ainsi d'avoir une base d'étude quantitative sur les caractéristiques sonores des espaces étudiés (partie 4.2.1). Ces mesures se sont basées principalement sur des critères réglementaires en mesurant le niveau de bruit de fond, l'isolation aux bruits aériens entre pièces ou le temps de réverbération (Légifrance, 2003). L'analyse des

résultats met en évidence la bonne gestion de la réverbération des classes mais un excès de niveau de bruit de fond dans la majorité des classes et une mauvaise gestion de l'isolement dans les cas d'utilisation des techniques de remplissage terre et structure bois. Les causes identifiées de la mauvaise isolation sont directement liées à la mauvaise gestion de l'étanchéité des jonctions entre la terre et le bois ou d'autres éléments, comme par exemple, les tuyaux de ventilation qui traversent les murs en terre crue. En revanche, les techniques de mise en œuvre monolithiques, sans jonctions entre la terre avec d'autres matériaux, comme par exemple la bauge, ne montrent pas de contraintes particulières et les niveaux d'isolation mesurés sont conformes aux réglementations (4.2.1.2).

Les mesures réglementaires ont été complétées par d'autres facteurs objectifs comme le « Speech Transmission Index (STI) » basé sur l'évaluation de l'intelligibilité si importante dans les établissements scolaires (Sala et Rantala, 2016) (3.1.1). Les résultats obtenus montrent des intelligibilités « bonnes » et même « excellentes » pour l'ensemble des salles de classes sauf pour deux d'entre elles, où les valeurs sont inférieures au seuil de 0,62 établis par la norme NF EN 60268-16 (AFNOR, 2015).

La prise en compte des valeurs globales s'avère une méthode pertinente pour évaluer les qualités acoustiques des salles d'une manière générale, mais il est difficile d'établir l'influence réelle de la terre sur les qualités acoustiques des pièces à partir de ces valeurs car d'autres paramètres tels que la géométrie, le volume et l'ensemble des matériaux ont aussi de l'influence. Pour surmonter cette difficulté, trois stratégies ont été adoptées dans l'investigation des paramètres de l'acoustique interne.

Nous avons approfondi les possibles apports de la terre crue en termes d'absorption acoustique avec la mesures des coefficients d'absorption in situ et dans le tube de Kundt (4.2.1.5 et 4.2.1.6). Dans les deux cas, les valeurs d'absorption obtenues dépendent de la technique de mise en œuvre, de la nature et du pourcentage de fibres et de l'état de surface plus ou moins homogène de la paroi. Les mesures réalisées mettent également en évidence le peu de variation de l'absorption acoustique des murs des écoles et des éprouvettes étudiées en fonction de la fréquence. Ceci permet d'envisager une correction acoustique homogène dans l'ensemble du spectre étudié entre 315Hz-4000Hz pour les mesures in situ et de 400Hz-3150Hz pour les mesures de laboratoire. Ce comportement peut être assimilé aux performances d'absorption mesurés pour des mélanges au-delà de 500kg/m^3 terre-chanvre dans des études précédentes (Figure 9) (Degrave-Lemeurs et al., 2018). Parfois des mélanges plus légers, aux alentours de 436kg/m^3, ont également des comportements semblables à ceux obtenus dans nos mesures d'absorption (Figure 7) (M. Lemeurs et al., 2016). Toutefois, les mêmes sources bibliographiques pour des mélanges plus légers de terre-chanvre et même dans les études avec des essais sur d'autres fibres, tels que le colza ou le tournesol (Brouard, 2018), montrent des pics d'absorption arrivant à des valeurs même supérieures à 0,90 que nous ne retrouvons dans aucun cas avec nos éprouvettes plus légères de 361±19Kg/m^3.

Nous avons réalisé des simulations numériques de deux des salles de classe étudiées afin de relier les mesures in situ aux coefficients d'absorption. Nous constatons qu'il existe effectivement une influence importante de la mise en œuvre de la terre sur les qualités acoustiques des salles. Selon sa mise en œuvre la terre peut favoriser l'absorption, la réflexion ou la diffusion (4.2.1.7).

Finalement, nous avons établi une comparaison d'un même espace avec et sans terre crue (Chapitre 5). Cette comparaison met en évidence une diminution de 3% à 14% du temps de réverbération (*Tr*) selon la fréquence et la mise en œuvre employée. La baisse du temps de réverbération est mesurée au-delà de la fréquence de 630Hz pour la pièce avec l'incorporation d'un mur en brique d'adobe et de la bande 1250Hz dans la pièce avec un enduit en terre crue La descente du temps de réverbération plus importante constatée vers les hautes fréquences semble en contradiction, en partie, avec nos mesures au tube de Kundt et nos coefficients d'absorption in situ. Ces mesures montrent des comportements plutôt linéaires et même des diminutions faibles du coefficient d'absorption vers les hautes fréquences, donc en toute logique une diminution plus constante aurait dû être mesurée pour l'ensemble des bandes de tiers du *Tr* à Grenoble et Barcelone. Ces observations nous amènent à nous questionner sur d'autres phénomènes influents sur le temps de réverbération des salles comme la dispersion. La possible absorption ou la dispersion de la terre crue ont également été mises en avant dans la comparaison de l'intelligibilité même si les différences mesurées restent très faibles. Dans les deux salles d'expérimentation étudiées, une légère amélioration de l'intelligibilité a été mesurée dans les emplacements plus proches des surfaces en terre crue.

6.1.2 Approche sensible – appréhendée la terre crue

Les investigations purement acoustiques ont été complétées, dans les deux contextes (établissements scolaires et salles d'expérimentation), par des enquêtes sous forme de questionnaires, d'entretiens et d'autres méthodes adaptées à chaque cas d'étude et type d'usager (3.3.2). Le but de ces enquêtes est de comprendre, d'une part, comment les perceptions des usagers dans des espaces avec de la terre crue sont constitués et selon quels facteurs, et d'autre part, identifier les traits caractéristiques des ambiances sonores perçues et l'éventuelle implication de la terre crue.

La révision bibliographique sur la notion d'ambiance a permis d'entrevoir la complexité de son exposé et de son argumentaire, ainsi qu'une rencontre des éléments objectivables et mesurables - comme les phénomènes physiques – avec une multitude de facteurs d'ordre subjectif (2.1). Parmi les facteurs subjectifs, nous avons pu identifier des paramètres tels que le temps (Tixier, 2007; Bille et al., 2015), l'usage (Duarte et al., 2008; Bille et al., 2015) ou de nombreux facteurs liés à l'expérience humaine comme la perception sensible, le vécu affectif, culturel et subconscient appartenant à chaque individu (Hégron et Torgue, 2010; Dubois, 2012; Pallasmaa, 2017; Flécheux, 2019). La multitude et la diversité des paramètres associés s'avèrent une évidence. Selon ce postulat, nous avons porté un questionnement précis sur le rôle de la terre crue afin d'identifier parmi tous les facteurs possibles, les plus déterminants sur les ambiances perçues et vécues en terre crue.

Dans les recueils sur les perceptions, nous constatons que la présence de la terre peut avoir un effet amplificateur positif sur les ambiances perçues, mais avec des degrés différents selon les vécus individuels et collectifs de chaque type d'usager. L'analyse des enquêtes menées dans les deux contextes nous laisse entrevoir également quatre facteurs qui semblent influencer les rapports sensibles à la terre crue : l'habitude, le récit, la participation dans les phases chantier et l'aspect visuel des murs (Figure 232).

Pour les travailleurs des écoles, la terre fait partie de leur quotidien, ils construisent leur perception

sur une base plutôt « fonctionnelle » (structuration et aménagement des espaces) ou sur des appréciations basées sur des sensations générales comme « agréable » ou « apaisante » et pas sur des facteurs liés à la terre crue, du moins pas dans leur première confrontation avec l'espace intérieur de l'école. Celui entraîne une sorte d'indifférence envers le matériau, du moins dans leurs premières confrontations. Chez les enfants un phénomène similaire d'indifférence est aussi observé. Il peut s'agir également d'une habitude passée liée à des souvenirs ou des mémoires de famille dans des villages ou des maisons en terre crue créant, pour certains, une attache plus forte au matériau mais pour d'autres une indifférence. L'**habitude** du matériau terre crue parait atténuer, dans une certaine mesure, l'influence de la terre dans la construction des perceptions.

Le **récit** des bâtiments en terre crue peut être soutenu par les valeurs environnementales de la terre et la réutilisation du déchet que sont les terres d'excavations. Par ailleurs, la connaissance des particularités du matériau terre en terme, par exemple, de régulation hygrothermique ou autres ont pu, dans certains cas, guider vers une certaine prédisposition positive dans les rapports sensibles. Ce phénomène est observé typiquement chez certains participants des expériences menées à Grenoble et Barcelone. Donc, les valeurs environnementales et la sensibilisation au matériau terre crue laissent imaginer une aptitude plus positive envers la présence de la terre crue dans un environnement.

Contrairement aux chantiers de construction conventionnels qui utilisent des matériaux issus de l'industrie, les chantiers de construction en terre peuvent permettent aux futurs utilisateurs, aux non-professionnels et au grand public de **participer aux chantiers** de construction. L'ensemble des établissements scolaires étudiés ont favorisé la participation des non-professionnels par des chantiers d'insertion ou de formation. Dans le cas de Grenoble et Barcelone, la fabrication et la mise en œuvre ont été également soutenues par des non-professionnels. Une partie des chantiers des écoles en terre crue étudiés ont également favorisés la participation des futurs usagers du projet. Par exemple, à Bouvron les futurs usagers ont eu l'occasion de participer, même modestement, à la construction du bâtiment en moulant des briques de terre ou en participant à de petits ateliers de découverte sur la terre crue. Cette originalité dans l'organisation des chantiers est intégrée dans le récit raconté par les parents, les équipes enseignantes et surtout le directeur de l'établissement (Miranda Santos et al., 2021). En outre, le récit partagé peut être associé à une valeur patrimoniale locale où s'inspirer de dispositifs déjà présents sur la commune. Ceci vient soutenir une sorte d'ancrage territorial et la continuité d'une identité architecturale locale. Finalement, les expériences de Grenoble et Barcelone ont également souligné l'influence du niveau des connaissances du lieu d'expérimentation avant d'y pénétrer. Typiquement, les rapports à la terre crue et les perceptions récoltés ont montré une différence claire selon que les participants avaient déjà vu le lieu sans terre ou qu'ils disposaient des informations concernant l'expérimentation en cours. Donc, la présence d'un **récit** semble venir compléter et/ou renforcer le ressenti des usagers par rapport à la terre crue.

La nature des chantiers en terre permet une plus facile participation des personnes non-professionnelles, y compris les futurs usagers. Cette implication est décrite en tant qu'effet « IKEA » (Norton et al. , 2012; Duarte et Bru, 2021); Il s'agit du fait d'avoir consacré du temps et de l'énergie pour la transformation d'un lieu peut lui accorder une plus grande valeur et en conscience favoriser une meilleure perception. Donc, la participation dans les constructions en terre crue peut modifier

l'appréhension des espaces.

La mise en œuvre de la terre crue offre des textures et des couleurs différentes, apportant une **valeur esthétique** qui peut déterminer, en partie, les rapports sensibles des espaces. Les jugements esthétiques peuvent également se baser sur des a priori socio-culturels négatifs ou positifs sur les constructions en terre crue.

Dans les établissements scolaires, les ressentis des parents d'élèves sont influencés par l'aspect fini des murs et par le récit transmis sur le projet et les valeurs environnementales associées aux bâtiments. Ces valeurs sont souvent associées aux matériaux naturels comme la terre crue. Les modes peu conventionnels des chantiers en terre crue sont également transmis par le récit. Par ailleurs, les travailleurs construisent leurs représentations des perceptions principalement sur une base fonctionnelle et organisationnelle de l'espace et sont plus influencés par la notion d'habitude et l'aspect fini des murs. Les enfants de l'école de Bouvron ne semblent pas être spécialement interpellés par la présence de la terre crue ou pas d'une manière consciente. Comme pour les travailleurs, la terre crue fait partie de leur quotidien. Par ailleurs, le rapport à la terre crue des élèves de Baulon est légèrement différent de celui des enfants de Bouvron. Plusieurs élèves établissent des relations entre la terre crue et leurs perceptions, soit par une association esthétique, soit par la mise en valeur du côté écologique de la terre crue acquise par le récit. Dans les expériences de Grenoble et Barcelone, nous retrouvons l'ensemble des facteurs, même si l'aspect fini des murs en relation à la mise en œuvre employée a créé des rapports sensibles bien distants entre les participants des deux expériences et mis en relief l'importance des connaissances ou des informations dont nous disposons avant d'appréhender un lieu. Nous ne notons effectivement pas les mêmes facteurs d'influence selon le profil d'usager (Figure 232), et selon ces facteurs plusieurs rapports sensibles à la terre crue sont également identifiés (Figure 233).

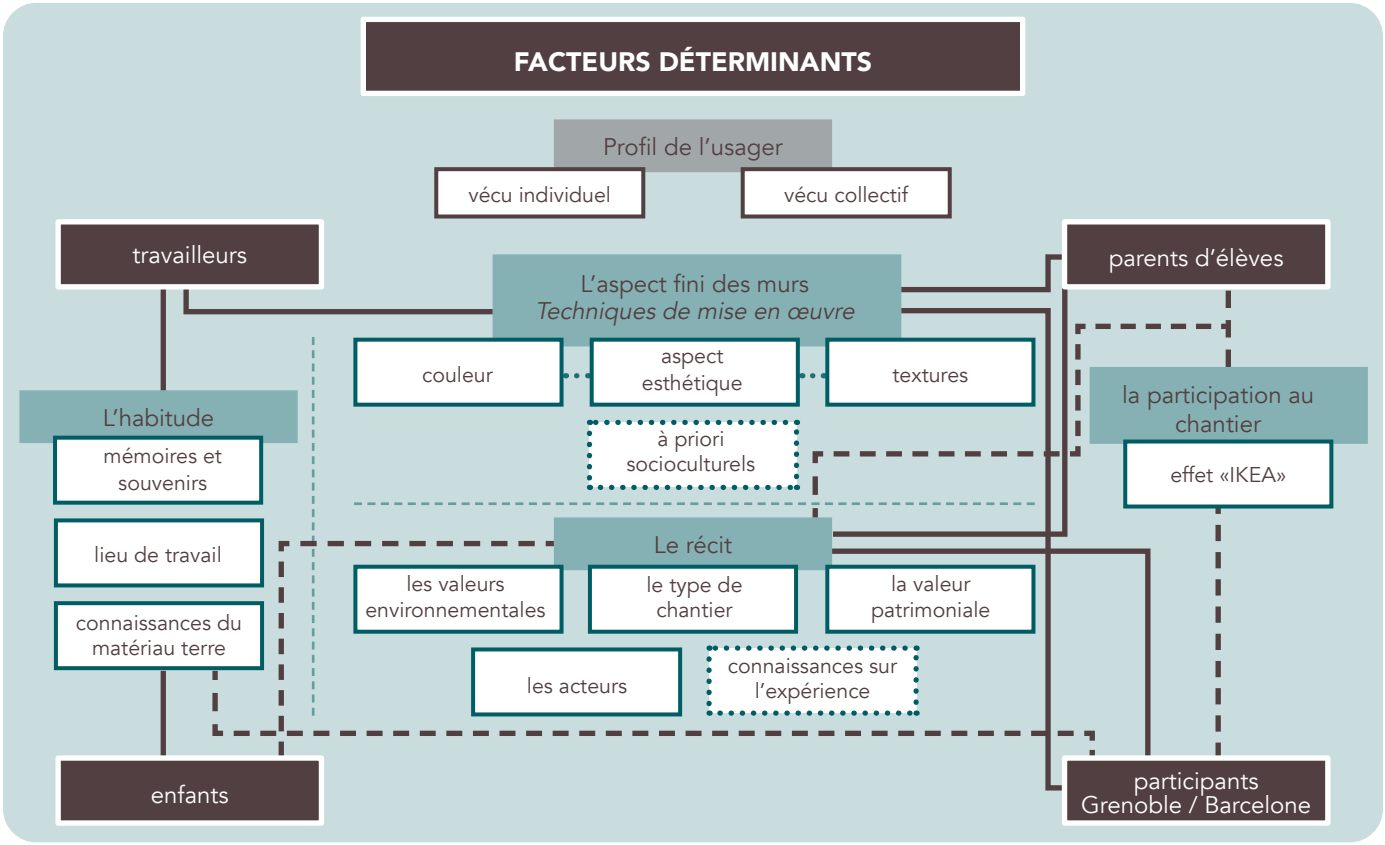


Figure 232 Facteurs déterminants par rapport à la terre crue.

Carrés marrons = type d'usagers. Carrés verts = les 4 facteurs principaux qui semblent influencer les rapports sensibles de la terre crue avec ses sous-catégories (carrés blancs).

Les traits pleins = vers les facteurs principaux qui construisent les rapports à la terre crue.

Les traits pointillés = vers les facteurs secondaires ou avec une influence moins nette dans la construction des rapports à la terre crue.

Depuis notre enfance, les représentations individuelles et collectives des matériaux de construction ont des valeurs socialement construites (Villain, 2020), soit dans les contes d'enfance comme le conte des « Trois petits cochons », dans la nomenclature des périodes historiques « âges de pierres, de bronze, etc. » ou même dans des expressions langagières telles que : « dur comme fer » ou un « colosse aux pieds d'argile » (Villain, 2020). Ces facteurs ont été également renforcés par une hégémonie et l'ampleur du monde industrialisé déléguant les constructions traditionnelles comme la terre crue à des constructions « alternatives » dans le meilleur des cas ou « primitives » (Rael, 2008). Même si un changement de tendance se dessine sur ces dernières années pour les constructions en terre crue grâce principalement à ses atouts environnementaux, il ne faut pas négliger, encore aujourd'hui, le fort lien au « milieu rural », au « passé » et à l'association au « matériau du pauvre » dans l'imaginaire collectif des sociétés (Leylavergne, 2012; Villain, 2020). Malgré tous ces a priori les résultats obtenus dans cette investigation ne montrent pas forcément des représentations négatives envers la terre crue mais plutôt une indifférence dans le pire des cas.

Au-delà de l'indifférence, les représentations des constructions en terre sont de façon récurrente associées à un côté « naturel ». L'association au naturel s'explique par plusieurs facteurs. D'abord par l'émergence du récit écologiste, surtout depuis les années 2000, dans l'architecture (Mosconi,

2018). Ensuite, les textures et couleurs des matériaux naturels comme la terre crue peuvent être également évocateurs de la nature (Pélissier, 2020). Dans les expériences de Grenoble et Barcelone, l'évocation à la nature est aussi soutenue par l'authenticité apportée par l'humain, en faisant référence au «fait à la main», à l'humain artisan, aux traces de doigts sur la surface des briques, aux aspects de surfaces, aux traces des outils ou à des références au vivant. L'authenticité apportée par cette matérialité humaine est confrontée à la fois à la « perfection » des constructions actuelles et les matériaux fabriqués par des machines, qui conduit à une déconnexion de l'usager avec la sensibilité matérielle de l'architecture. Ce sentiment de nature par la présence de matériaux naturels a été également soutenu dans des recherches autour du bois (Jafarian et al., 2018; Kotradyova et al., 2019; Lipovac et Burnard, 2021).

Toutefois, en approfondissant les explications, les travailleurs considèrent que le côté « chaleureux », la « couleur apaisante » ou « l'effet cocooning » que produisent la présence de la terre crue se jouent dans leurs ressentis généraux de l'espace, et la terre crue favorise la création d'ambiances plus agréables et apaisantes. Ce fait est également soutenu lors des expériences de comparaison entre les salles étudiées à Grenoble et à Barcelone.

Dans le cas d'étude de Grenoble, le changement de matérialité par la mise en œuvre d'un mur en terre amène plusieurs participants à se questionner, à se créer une nouvelle histoire ou en tout cas à compléter l'histoire existante en apportant une nouvelle originalité mais aussi en faisant voyager leur histoire qui leur est propre (vécu et mémoire de famille). Cette histoire est parfois liée à l'aspect de « mur ancien » qui fait penser aux « architectures vernaculaires » ou bien les transporte dans « un jardin ou à la campagne ». En tout cas, ils soulignent comment la présence de la terre crue semble capable de transformer un espace quelconque en un espace doté d'une histoire pleine de signification.

Le manque de monotonie dans les surfaces en terre crue face aux finitions uniformes, soignées et avec des rythmes bien définis des matériaux issus des processus industriels semble créer une sorte de détente physique et psychologique sur certains participants de Grenoble et Barcelone. La création des textures uniques et des motifs qui ne se répètent jamais exactement des matériaux naturels a déjà été signalée dans la bibliographie (Pallasmaa, 2012). En même temps, ces associations avec un sentiment de détentes ne sont pas anodines car elles viennent soutenir les résultats obtenus sur l'influence des matériaux naturels dans la qualité des ambiances intérieures qui avaient déjà été mises en avant avec le bois qui montrent que la présence du bois peut renforcer le lien avec la nature et par conséquent réduire le niveau de stress (Jafarian et al., 2018; Kotradyova et al., 2019; Lipovac et Burnard, 2021). Les espaces avec du bois ont la capacité de créer plus facilement une atténuation visuelle et de faciliter la création d'espaces psychologiquement plus naturels, chaleureux, relaxants et une plus grande envie pour l'utilisation (Li et al., 2021).

Le directeur de l'école de Bouvron souligne que lors de la première visite de l'école avec les parents des nouveaux élèves, ceux-ci touchaient systématiquement les murs en terre. Cela est également mis en relief dans les expériences de Barcelone et Grenoble où les participants ayant fait l'expérience sans terre ou ayant certaines informations sur l'expérience, quand ils rentrent à nouveau dans les salles vont, après une première observation, toucher le mur en terre crue.

Même parfois, la notion tactile peut être traduit par le choix de s'installer plus proche du mur, c'est comme si le mur créait une sorte « d'attirance ». Les participants des expériences qui n'avaient pas d'informations sur l'état antérieur des salles ni sur notre travail ne touchaient pas les murs en terre. Tant pour les parents que pour les participants aux expériences, le facteur du « récit » semble être un facteur primordial pour encourager le toucher.

Les élèves de maternelle ont une prédisposition à toucher davantage les murs mais dans ce cas, ils ne sont pas connaisseurs du récit particulier du bâtiment. Le toucher est encouragé selon les enseignants par la texture particulière des murs qui génère une sorte de curiosité chez les élèves mais aussi comme moyen de repérage dans l'espace. Ces constats tendent à souligner un rapport plus tactile dans les espaces avec de la terre crue.

Il a été constaté que les enfants et les parents d'élève de l'école de Bouvron baissait la voix dans le couloir de l'école, qui est le lieu de l'école où la terre crue est la plus visible. Chez les élèves ce phénomène se produit en particulier au fond du couloir, un endroit entouré de terre crue, et il s'accompagne d'un ralentissement de leurs mouvements. Le phénomène chez les parents est observé dès qu'ils franchissent la porte d'entrée et qu'ils se retrouvent dans l'espace de circulation. Ces observations et les commentaires, par exemple des enfants, décrivant le lieu comme « calme », voire « zen », laisse imaginer une implication non négligeable de l'atmosphère dégagée par la matérialité de la terre crue.

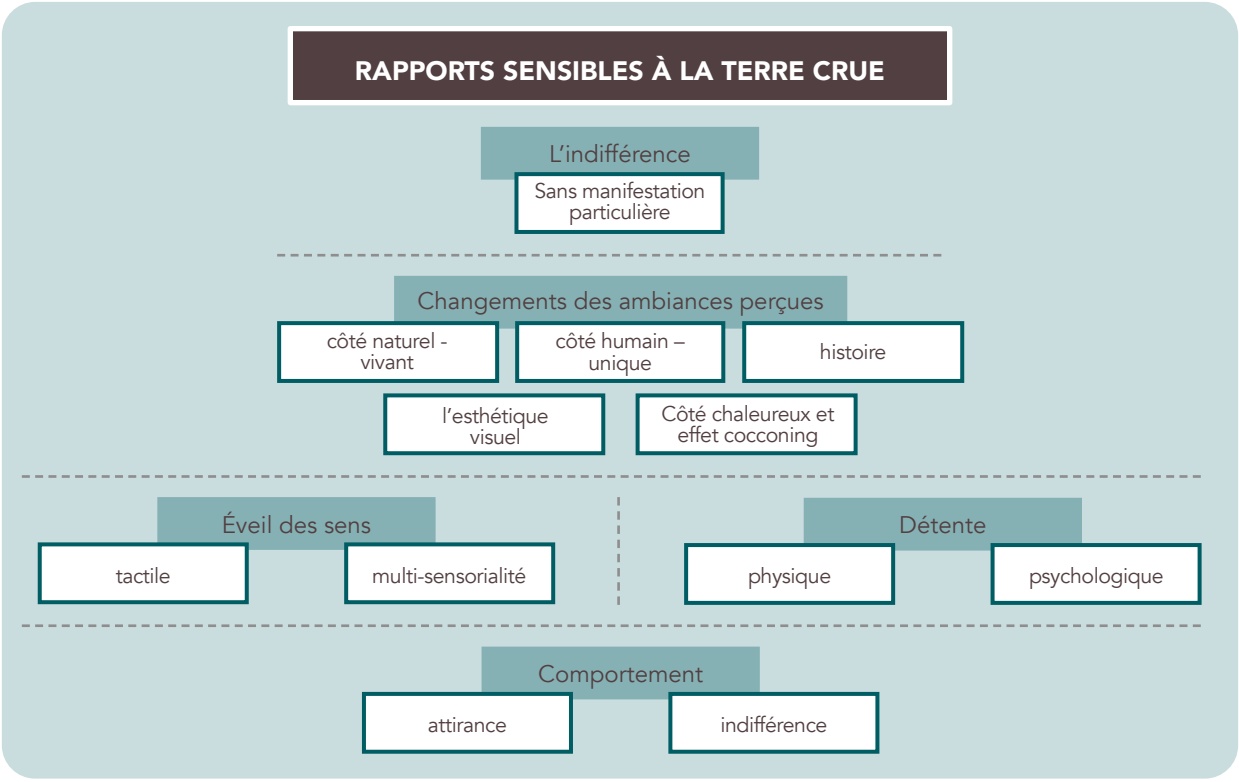


Figure 233 Rapports sensibles à la terre crue.

La perception sonore est dépendante de multiples facteurs tant d'ordre physique comme l'intensité sonore, le spectre du bruit ou sa durée, que d'ordre subjectif tels que l'état de santé ou l'acceptation face aux bruits et la provenance de ces bruits (Duhamel, 2013). Avec une sollicitation permanente

de l'audition, surtout en milieux urbains, nous avons appris à ne pas écouter avec attention. Comme le déclare Murraf Schaffer : « Les bruits sont les sons que nous avons appris à ignorer » (Murray Schafer, 2013). Habitués aux bruits qui nous enveloppent nous nous concentrons d'avantage sur l'inhabituel ou les éléments sonores méritant un intérêt (Roland, 2019). Donc comme pour les paysages sonores, une façon d'analyser l'ambiance sonore des écoles est de découvrir d'emblée ses traits significatifs, ces sons qui sont importants soit par leur singularité, par leur quantité ou leur prédominance (Murray Schafer, 2013).

L'analyse des témoignages des usagers des écoles montrent que ceux-ci (i) définissent principalement les ambiances sonores à partir des sources sonores, surtout celles provenant des usagers qui se dessinent comme les éléments saillants. Ce sont donc celles qui semblent avoir une plus grande répercussion dans la construction de la perception sonore. Ces éléments sont communs aux travailleurs et aux élèves, mais l'enquête menée auprès des travailleurs nous laisse entrevoir d'autres traits caractéristiques tels que : (ii) la dépendance à l'activité développée, qui viendra soutenir les théories autour de l'importance de l'usage et les caractéristiques changeantes des ambiances (Tixier, 2007; Bille et al., 2015), et comme définit par (Lavandier et Raimbault, 2011) (iii) la prise en compte de la dimension sonore par des connaissances en acoustique physique. Les travailleurs ont décrit les ambiances sonores de l'école en s'accordant sur des phénomènes physiques comme la résonance, l'absorption ou les niveaux de bruit. C'est seulement sur ce dernier facteur que la terre a le pouvoir d'agir (Figure 234).

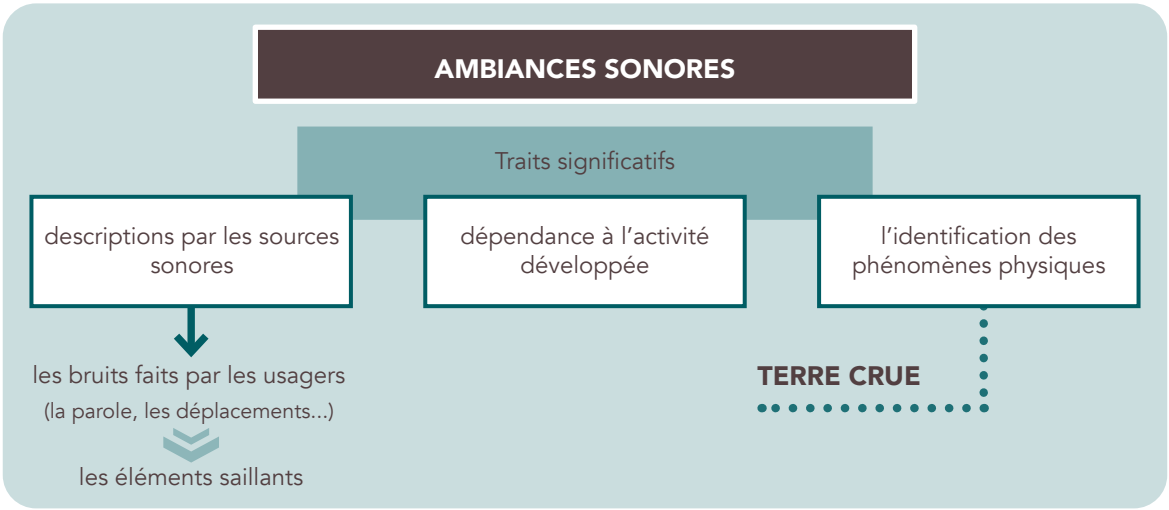


Figure 234 Traits significatifs identifiés dans la construction des ambiances sonores perçues et vécus par les usagers.

Trois phénomènes semblent donc se dessiner comme des traits significatifs des ambiances sonores dans les écoles avec de la terre: d'abord, que ce soit pour les adultes ou pour les enfants, les descriptions par les sources et l'attention particulière donnée aux sources des usagers, ensuite l'importance de l'usage et enfin pour les adultes l'identification des phénomènes physiques. Les expériences de Grenoble et Barcelone ont confirmé le premier et le dernier trait comme des parties structurantes des perceptions sonores. Cependant au vu de la nature de l'expérience « l'importance de l'usage » a été moins soulignée.

6.1.3 La mise en dialogue de la physique et du sensible

Dans les écoles (Chapitre 4) et les salles d'expérimentation (Chapitre 5), les performances acoustiques mesurées ont été mises en relation avec les résultats de l'enquête sensible afin d'étudier si effectivement il existait ou pas une dépendance entre les deux.

Dans les établissements scolaires, les retours concernant une ambiance sonore favorable et propice à la mission d'enseignement correspondaient également aux établissements où la mesure physique montrait des valeurs plus en accord avec la réglementation comme dans l'école de Bouvron. Dans ces cas-là, les usagers (principalement les travailleurs) établissaient une relation entre la présence de la terre crue et la bonne performance acoustique ressentie car, selon leurs retours, la terre crue « absorbe les sons » ou crée des « ambiances plus feutrées ». Ces perceptions sur les caractéristiques sonores des pièces pourraient s'expliquer par un possible amortissement produit par l'absorption en hautes fréquences que génère une acoustique plus « mate ». Le phénomène de son mat a été directement souligné dans les travaux comparatifs menés à Grenoble et Barcelone avec la présence du mur en terre crue (5.3.3.2). Ce phénomène pourrait effectivement être associé à la baisse du temps de réverbération vers les hautes fréquences mesurées (Figure 206). Les participants ayant expérimenté les pièces avec et sans terre, ont pour la plupart remarqué une baisse du temps de réverbération et même trouvé une sonorité moins agressive et une moindre sensation de vide. La subtilité de l'oreille humaine a même capté « une résonnance assez marquée » dans la pièce de Grenoble qui pourrait être physiquement associée au haut niveau du temps de réverbération, au-dessus de 1 seconde, pour les petites dimensions du lieu.

Dans le cas où les valeurs d'isolation entre classes n'étaient pas conformes à la réglementation, comme dans l'école de Baulon, les retours des usagers n'étaient pas très favorables et ils montraient une plus grande dispersion dans leurs réponses. En outre, la présence de la terre était même vue, en partie, comme la cause de la mauvaise isolation, donc pour les usagers il devenait compliqué d'établir une relation positive entre la présence de la terre crue et l'ambiance sonore ressentie. Les jugements des usagers sur l'ambiance sonore ont été également influencés par le niveau de bruit de fond, par exemple à Mouais le haut niveau de la ventilation influençait négativement la perception dans les salles de classe. Dans ce cas la relation n'était pas établie avec la présence ou non de la terre crue.

En ce qui concerne la réverbération des salles de classe, la majorité des valeurs obtenues par la mesure in situ étaient conformes à la réglementation, et, seulement dans certains cas, les valeurs moyennes de Tr étaient plus basses que celles établies par l'arrêté du 25 avril 2003 (Légifrance, 2003). Ces résultats sont en concordance avec les retours des usagers car ils n'ont pas souligné une réverbération excessive, et même au contraire ils partagent l'absence de résonance dans les classes et le sentiment que les murs en terre crue atténuent les bruits qui en même temps sont perçus comme « plus mats ».

D'après les faits que nous venons d'exposer, nous constatons que les perceptions des usagers vont de pair avec le respect des exigences réglementaires. En même temps, dans le cas où les valeurs réglementaires sont respectées, les usagers arrivent à attribuer à la terre crue des atouts à l'origine de la bonne gestion acoustique. Si les exigences réglementaires ne sont pas respectées,

les usagers arrivent à placer la terre à la source du problème, même si la cause première de la mauvaise performance acoustique est dans une gestion incorrecte de la mise en œuvre et pas dans le matériau en soi. Cette attribution de la cause du problème sur la matière a déjà été observée dans des situations de catastrophes naturelles comme les tremblements de terre où si une maison en terre tombe c'est la faute du matériau mais si la maison est en béton, c'est l'exécutant qui n'a pas bien fait (Réseau Ecobatir, Groupe Terre, 2004).

Cependant, compte tenu de la catégorisation parfois dans les retours des usagers et les faibles différences enregistrées entre certaines valeurs mesurées, comme par exemple la différence du temps de réverbération dans la pièce de Barcelone (avec et sans enduit), nous nous questionnons sur la possible influence d'autres facteurs physiques non mesurés ou subjectifs sur les ressentis sonores des espaces en terre crue. En termes physiques, les réglementions sont principalement basées sur les valeurs d'isolation (aérienne ou solidienne), les niveaux de bruit ou le temps de réverbération. Cependant l'étude d'autres facteurs tels que le facteur de perte interne ou une analyse plus poussée sur le comportement du son dans une pièce avec de la terre crue peut peut-être participer à une meilleure compression physique de l'apport de la terre crue. Les réponses peuvent aussi se trouver dans des paramètres d'ordre subjectif. Il ne faut pas négliger qu'au cours de cette thèse les usagers des établissements et les participants aux expériences ont signalé de nombreux autres critères non sonores associés à la présence de la terre crue. La création d'ambiances chaleureuses, accueillantes ou apaisantes décrites dans les environnements en terre crue semblent se baser sur une conception plutôt multi sensorielle qu'exclusivement sonore, visuelle ou tactile. Nous pouvons donc faire l'hypothèse que la perception sonore est influencée par d'autres paramètres sensoriels que l'ouïe.

Dans l'analyse de l'influence de la terre crue dans les effets sonores des salles, les retours des usagers se basent souvent sur une sorte de comparaison des espaces vécus préalablement. Dans les cas des enseignants, ils étaient plusieurs à comparer l'école avant les nouvelles constructions ou par rapport à des écoles où ils avaient travaillé auparavant. À Grenoble et Barcelone, la comparaison était basée sur les pièces sans terre crue. C'est dans le cas où cette comparaison était possible qu'ils arrivaient à établir une certaine amélioration dans l'ambiance sonore en relation à la terre crue. Sans point de comparaison, l'attribution d'une amélioration de l'acoustique par la présence de la terre reste compliquée. Dans ces cas, les descriptions des ambiances sonores étaient plus focalisées sur des sources sonores, des perceptions générales de l'ambiance sonore et dans une moindre mesure sur les qualités acoustiques des salles, mais pas spécialement en relation avec la terre crue. Or, quand les personnes avaient participé à la fabrication des briques de Grenoble, ils réalisaient un rapprochement entre le sonore et la terre crue plus nette, comme par exemple : « Après je me suis posé la question : est-ce que la paroi en brique change l'acoustique. La salle ne résonne pas ou peu, alors qu'il y a pas beaucoup de meubles ou peu (Id.39.2-Q5) » mais voyaient aussi une connexion plus grande entre le sens de de l'ouïe et une sensation de calme physique[154]. Selon la participante ce phénomène était plus prononcé à proximité du mur.

Au vu des résultats, le développement d'une approche basée sur l'union de la mesure physique et les retours des usagers semble être assez pertinente car l'un peut compléter l'autre. Ainsi, le recueil des perceptions peut être un complément intéressant pour mieux comprendre les qualités et les comportements acoustiques des salles.

6.2 Conclusions générales

Depuis le début de cette thèse nous avons cherché à démontrer la pertinence et l'application d'une méthodologie basée sur la mise en dialogue du monde physique avec le monde sensible. Pour cela les champs d'études des ambiances se sont dessinés comme une approche scientifique pertinente pour mieux comprendre aussi bien les données objectives que subjectives.

La méthodologie développée a été basée dans un premier temps sur deux approches bien distinctes que sont l'approche physique et l'approche sensible. Cette division s'est présentée d'une manière assez naturelle par la spécificité de technique d'évaluation des deux disciplines. Tandis que l'étude des performances acoustiques repose sur une importante instrumentalisation des mesures physiques, les investigations sur les paramètres plus subjectifs de l'ambiance sont basées sur différents procédés d'enquête avec la personne au centre de la démarche.

Par ailleurs, nous cherchons à apporter des pistes d'études pour les constructions en terre crue depuis l'approche des ambiances et dans aucun cas à établir à tout prix des données statistiquement significatives ou des généralisations. Notre protocole méthodologique a la particularité d'être basé sur une étude plutôt exploratoire en particulier pour l'approche sensible.

Dans cette exploration méthodologique des paramètres sensibles, le travail dans les établissements scolaires nous a permis de mettre en place et de tester une diversité de techniques d'enquête adaptées à chaque profil d'usager, pas toujours avec résultats satisfaisants ou exploitables mais nourrissants une réflexion autour des manières de mettre en œuvre la terre crue pour des recherches futures. Le travail de comparaison dans les salles d'expérimentation de Grenoble et Barcelone nous a permis de tester un autre format d'enquête ciblé également sur l'éveil physiologique et cognitif. Ce mode de procédé peut s'assimiler aussi à la recherche-création[155].

Dans l'évaluation des effets de la terre crue sur l'ambiance sonore perçue et vécue dans nos deux contextes d'étude (établissements scolaires et salles d'expérimentation), nous avons opté pour l'omission dans un premier temps de la terre crue et l'intégration du sonore avec d'autres facteurs caractéristiques des ambiances comme la thermique ou la lumière dans les enquêtes menées. Ce procédé nous a permis d'établir si effectivement la terre était un élément constitutif de la construction des perceptions, ou si, au contraire, elle passait inaperçue. Le choix de mixer les retours du sonore avec d'autres paramètres s'est avéré un procédé pertinent pour récolter une vision d'ensemble sur les ressentis et avoir un point de comparaison de la perception sonore avec d'autres phénomènes physiques des ambiances.

Au vu des résultats obtenus (6.1.3), la mise en dialogue des données obtenues par la méthodologie développée semble effective. Elle a permis de dégager une meilleure compréhension des ambiances sonores des constructions utilisant de la terre par la confrontation des informations obtenues. Par exemple, pour les cas étudiés dans cette thèse, nous constatons une concordance entre la présence de la terre crue, la performance acoustique réglementaire et les retours des

[155] « La définition minimale que l'on peut donner à la recherche-création est qu'il s'agit d'un travail artistique qui n'a pas une simple finalité esthétique, visant à procurer ce qu'Emmanuel Kant appelle une « satisfaction désintéressée »[1]. Elle y adjoint au contraire plusieurs formes d'« intéressement », selon la notion proposée par Isabelle Stengers pour définir l'activité des scientifiques[2] » (Pluta et Losco-Lena, 2015).

usagers. L'amélioration du ressenti des participants semble toutefois être plus marquée que celle physiquement mesurée. Ainsi, le recueil des perceptions peut être un complément intéressant pour mieux comprendre les qualités et les comportements acoustiques des salles.

Toutefois, la méthodologie développée comporte des limites. Elles sont principalement liées à la multiplicité des paramètres dépendants des vécus et perçus individuels et collectifs et leur difficulté d'expression. Nous avons établi 4 facteurs déterminants dans l'appréhension des espaces avec de la terre crue, mais rien n'empêche de retrouver de nouveaux facteurs dans des recherches futures qui pourront venir compléter les nôtres. Il ne faut pas négliger non plus la variabilité de la terre crue autant en termes de mise en œuvre que sur sa nature propre. Ses couleurs, ses granulométries et les textures qui sous-tendent sont nombreuses et peuvent influencer à la fois les caractéristiques acoustiques et la valeur esthétique des perceptions, mais aussi offrir un large panel à explorer et étudier dans la suite de ce travail.

Malgré ces limites, nous estimons que l'étude complémentaire de ces deux mondes est une approche prometteuse pour approfondir les représentations des constructions en terre crue et se diriger vers une appréhension des espaces plus complète et en accord avec la réalité habitée.

6.3 Perspectives de l'étude

6.3.1 Perspectives de l'étude sur l'acoustique architecturale

Les résultats obtenus des données acoustiques offrent plusieurs ouvertures et perspectives de recherche dans l'acoustique architecturale.

Du point de vue de l'isolation acoustique aux bruits aériens, des campagnes de mesures dans différentes typologies de bâtiment et sur différentes mises en œuvre en terre crue seraient souhaitables. A la date d'aujourd'hui, il y a peu de données disponibles sur des campagnes des mesures in situ (Butko et al., 2014; Daza et al., 2016). Ces données peuvent être des aides intéressantes pour les dimensionnements à réaliser par les professionnels comme les bureaux d'études acoustiques. Ces mesures pourraient également aider à établir des corrélations entre les performances évaluées en laboratoire et la réalité des bâtiments. En ce qui concerne les mises en œuvre des techniques en terre crue, les collectes de mesures peuvent devenir des contributions intéressantes pour identifier les points de vigilance mais également définir des modes constructifs acoustiquement plus avantageux.

Par rapport à l'acoustique interne, les travaux réalisés ont mis en relief la forte dépendance de la mise en œuvre qui offre un large panel de possibilités pour améliorer les performances acoustiques, au moins entre les fréquences de 350Hz et 3000-4000Hz. Les perspectives de recherches sont à la fois vastes et encourageantes car avec une bonne maitrise des mélanges et des mises en œuvre, la terre semble pouvoir absorber le son, le réfléchir mais également le diffuser. La recherche menée sur l'absorption a révélé une forte incidence de l'état de surface sur l'absorption donc, au-delà de la densité, la nature de la fibre et de la terre, nous considérons que la prise en compte de la porosité dans de futures recherches s'avère un facteur fondamental pour mieux comprendre l'absorption des mélanges terre–fibre. Ce fait vient rejoindre les conclusions établies par des études précédentes

où l'influence de la porosité inter-particulaire avait été soulignée (Glé et al., 2012). D'autres sujets mériteraient d'être également explorés, au-delà de la modulation de l'état de surface, comme de possibles effets diaphragmes des enduits sur des supports poreux comme la terre allégée ou l'incorporation des résonateurs qui pourraient agir sur des fréquences ciblées et sur les bandes des basses fréquences non explorées dans cette thèse[156].

Les travaux de simulations peuvent être explorés davantage et intégrer l'étude d'autres facteurs tels que : les variations des niveaux sonores (SPL) ou la force sonore (G)[157]. Ces deux facteurs pourraient montrer comment des matériaux plus absorbants permettent d'obtenir des environnements dans lesquels les niveaux sonores sont mieux contrôlés. Divers critères liés à l'intelligibilité de la parole comme : Speech transmission Index (STI), la clarté (C50[158]) ou la définition (D50[159]) peuvent également être explorés.

6.3.2 Perspectives de l'étude sensible

L'utilisation des questionnaires s'est avérée être une méthode adaptée au recueil des informations surtout pour les parents. Cependant, certaines parties du questionnaire comme les informations sur les enfants (questionnaire des parents d'élèves – Section 2) ou celles plus focalisées sur la situation des logements mériteraient d'être révisées car elles n'ont finalement pas apporté d'informations si déterminantes. Par ailleurs, les questions ouvertes se sont dessinées comme une source de recueil d'informations très riche et qui a permis de mieux comprendre comment les usagers appréhendent l'espace de l'école mais également de récolter des références sur la terre crue.

Concernant les travailleurs de l'école, comme les parents, les questionnaires ont permis de récolter un plus grand nombre de retours avec les mêmes bémols que ceux signalés pour les parents. Cependant, dans des écoles de village, et avec peu d'effectif parfois, il aurait pu être intéressant de prévoir des séances avec les enseignants où, de façon individuelle, ils remplissent les questionnaires, et ce travail est suivi de courts entretiens en groupe ou individuels, où les informations peuvent être complétées et enrichies. Pour de futures recherches il peut être intéressant d'envisager ce format qui s'est mis en place, en partie, dans les salles d'expérimentation (Chapitre 5). Par rapport au questionnaire plus focalisé sur l'ambiance sonore (3.3.2.1.1.2 et annexe 6.3), nous considérons que la question 7.3 mériterait d'être repensée car le fait de laisser ouvert le choix de l'activité a complexifié l'analyse et la corrélation entre les différentes réponses. Cependant, les questions ouvertes ont été encore une fois riches en réponses et très nourrissantes. Le fait de questionner dans la dernière partie directement sur la place de la terre crue a permis de mieux comprendre les rapports des travailleurs avec ce matériau, moins mis en avant dans les premiers rapports que les parents d'élèves. Comme pour les questionnaires généraux, des séances collectives auraient

[156] Les résultats d'une première expérience réalisée dans un habitat groupé de Bouvron sont en train d'être analysés pour les intégrer dans une publication scientifique, coréalisée avec Bruno Suner.

[157] Niveau auquel nous percevons le son.

[158] La **Clarté** désigne les propriétés acoustiques d'une salle où les détails de l'image sonore sont aisément perceptibles. On l'obtient par le calcul du rapport exprimé en décibels entre une impulsion sonore perçue à la position d'écoute pendant les 50 ou 80 premières milli-secondes divisée par l'énergie perçue après les 50 ou 80ms. Source : http://www.lafontaudio.com/etudes/06_Intelligibilite.htm.

[159] La **Définition** exprime le degré de séparation acoustique d'un son par rapport à un autre. Le module inclut le calcul du rapport d'énergie entre le champ direct et le champ global ainsi que la cartographie D50.

pu être plus adaptées et plus riches, et nourrir une analyse plus approfondie des discours et du langage employé dans la représentation des perceptions.

En ce qui concerne l'ambiance sonore, l'utilisation de la rédaction, par exemple pour décrire « une journée sonore à l'école » ou l'utilisation du dessin, en s'inspirant des cartes mentales (3.3.1.3.3) - peuvent être des outils très intéressants à explorer et à développer avec les travailleurs et les élèves (Annexe 10.1). L'utilisation du dessin ou de la représentation graphique ouvrent d'autres pistes et moyens d'analyse autres que le langage. D'autant plus que l'application de ces outils a déjà démontré ses bons résultats dans des recherches précédentes comme par exemple sur les paysages sonores (Marry, 2011) ou dans des collèges avec des jeunes (Lavandier et Raimbault, 2011). Dans le cas précis de cette thèse, la fatigue accumulée par les enseignants, lors de crise sanitaire, a rendu impossible, entre autres facteurs, l'application de ces outils. Cependant, un essai de bande dessinée « d'une journée sonore » a été possible avec les derniers niveaux d'élémentaires d'une classe de Baulon (4.2.2.1.3.3.4 et annexe 8.2). L'analyse de la bande dessinée réalisée par toute la classe a permis de corroborer l'importance sonore accordée aux usagers par les enfants mais également de signaler deux modes des représentation des évènements sonores par des sources « objets » ou par des « situations » sonores (Raimbault et Lavandier, 2006).

Par rapport à l'enquête menée avec les enfants, nous tenons à remarquer l'intérêt du « parcours commenté » comme technique de recueil des informations avec les enfants. D'un côté il permet de récolter un discours plus spontané mais en même temps de compléter les manques possibles de langage des enfants par le gestuel. Cependant, des parcours individuels dans des futures recherches pourront également être intéressantes à réaliser pour donner plus de place aux enfants plus timides ou réservés.

L'autre technique qui s'est avérée intéressante est l'utilisation de l'interface utilisateur tangible. Au-delà de la nature de la source, il offre la possibilité d'interaction avec d'autres facteurs physiques de l'ambiance sonore comme le volume sonore, la fréquence de la source (répétition), la prise en compte du contexte ou la situation de la source dans l'espace. Les manipulations finales se sont avérées assez convaincantes, donc il serait intéressant de continuer à explorer d'autres compositions pour continuer à identifier les éléments saillants de l'ambiance sonore en fonction de l'activité en classe mais aussi de la sensibilité sonore de chaque élève. À ce propos des séances individuelles ou en plus petits groupes peuvent être des lignes d'approfondissements à explorer dans de futures recherches. L'application développée peut devenir un outil de dialogue interactif sur l'ambiance sonore assez dynamique pour les enfants mais aussi à tester avec les adultes. En même temps, les moments d'interaction avec la maquette et la composition des ambiances sonores à partir d'une somme de sources peuvent devenir des moments d'échanges (entretiens informels) pour approfondir les relations entre l'espace et le sonore, mais également les comportements face au sonore ou la matérialité (selon où les usagers seront placés dans la maquette). Toutefois, le travail préalable, comme la fabrication de la maquette ou l'identification et enregistrements des sources, s'est avéré un long processus avec une importante sollicitation des enseignants et des élèves. Ceci n'est pas à négliger dans de futurs projets et des formes des condensation et d'optimisation des étapes sont à repenser. Au niveau de l'interface, un travail sur les identifications des cibles méritera d'être réalisé afin de rendre l'interface plus autonome et intuitive.

6.3.3 Les perspectives du dialogue entre les mesures physiques et les expériences sensibles

Les résultats obtenus, même si larges, sont encourageants car ouvrent un large champs d'investigation dans les recherches scientifiques de la terre crue. Dans cette thèse nous avons fait l'expérience avec l'ambiance sonore mais dans des environnements précis, que sont les établissements scolaires. Cependant, l'ouverture à d'autres terrains d'étude peut venir compléter nos résultats obtenus. Par exemple il peut être intéressant d'étudier des établissements publics dans des milieux urbains où les nuisances sonores sont plus conséquentes. L'étude d'autres natures de bâtiments comme l'habitat collectif et individuel peut faire ressortir de nouveaux facteurs dans l'appréhension de l'espace.

L'ouverture de la méthodologie développée peut également se déployer sur d'autres champs d'étude des ambiances, comme peuvent être la thermique où le recueil des perceptions, peut venir compléter les connaissances sur les atouts hygrothermiques de la terre crue et pas toujours mesurés. Les rapports tactiles manifestés mériteront également de continuer à être étudiés. À ce propos, dans la thèse en cours de Nuria Alvarez Coll les résultats du Chapitre 5 seront analysés plus en détail sous cet angle.

Les études autour des enduits en terre crue ont commencé à souligner des atouts sur la possible élimination passive de l'ozone dans les bâtiments (Darling et Corsi, 2016). Une meilleure perception de la qualité de l'air (Darling et al., 2012) ou, récemment, les possibilités de tamponner le CO^2 dans l'air intérieur grâce à la présence de la terre crue commencent également à être étudiées (Roucan et al., 2022). Toutes ces études peuvent également être complétées par la mise en place d'une enquête sensible sur les odeurs.

Compte tenu de l'importance accordée au sens de la vue (2.1), l'approfondissement sur la place du visuel dans l'appréhension des espaces en terre et même les corréler avec des études lumineuses peut devenir un champ de recherche également intéressant.

Finalement, nous pensons que le développement des expériences comparatives comme celles menées à Grenoble et Barcelone peuvent être de bons moyens de dialogue entre les mesures physiques et les expériences sensibles. En outre, ces expériences étant sur un temps plus court elles permettent une moindre sollicitation des participants. Les expériences peuvent aussi s'étendre à d'autres domaines comme la thermique ou la lumière.

Références bibliographiques

Abram, D. (1996) Comment la terre s'est tue. Pour une écologie des sens. Ed. La découve.

ACOPLAN (2015) « Acoustique Notice », pp. 57–61.

ADEME, I CARE & CONSULT, ÉNERGIES DEMAIN, DOUILLET Maia, SIPOS Gala, DELUGIN Léna, BULLIOT Benoît, REMONTET Lucas, BIDAULT Elsa. 2 (2021). « Le coût social du bruit en France. Estimation du coût social du bruit en France et analyse de mesures d'évitement simultané du bruit et de la pollution de l'air». Rapport final.

AENOR (2019) UNE EN ISO 17892-4: 2019. Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de laboratorio de suelos. Parte 4: Determinación de la distribución granulométrica.

AFNOR (2003) NF EN ISO 10534-2. Acoustique - Détermination du facteur d'absorption acoustique et de l'impédance des tubes d'impédance - Partie 2 : méthode de la fonction de transfert.

AFNOR (2013) NF EN ISO 717-1 Mai 2013 ; Acoustique - Évaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction - Partie 1 : isolement aux bruits aériens.

AFNOR (2014) NF EN ISO 16283-1 Mai 2014 - Acoustique - Mesurage in situ de l'isolation acoustique des bâtiments et des éléments de construction - Partie 1 : isolation des bruits aériens.

AFNOR (2015) NF EN 60268-16. Équipements pour systèmes électroacoustiques - Partie 16 : évaluation objective de l'intelligibilité de la parole au moyen de l'indice de transmission de la parole.

AFNOR (2018) NF EN ISO 17892-12 Reconnaissance et essais géotechniques - Essais de laboratoire sur les sols - Partie 12 : détermination des limites de liquidité et de plasticité.

Ajayi, S. O. et Oyedele, L. O. (2017) « Policy imperatives for diverting construction waste from landfill: Experts recommendations for UK policy expansion », Journal of Cleaner Production. Elsevier Ltd, 147, pp. 57–65. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.01.075.

Aldebert, B. et Rouzies, A. (2010) « L'utilisation des méthodes mixtes dans la recherche française en stratégie : constats et pistes d'amélioration », in Acte de conférence AIMS, pp. 1–26. Available at: http://www.strategie-aims.com/events/conferences/4-xxeme-conference-de-l-aims/communications/1336.

Al horr, Y. et al. (2016) « Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature », International Journal of Sustainable Built Environment. The Gulf Organisation for Research and Development, 5(1), pp. 1–11. doi: 10.1016/j.ijsbe.2016.03.006.

Allard, J.F. et Atalla, N. (2009) « Propagation of Sound in Porous Media : Modelling Sound Absorbing Materials ». John Wiley & Sons, Ltd.

Allinson, D. and Hall, M. (2010) « Hygrothermal analysis of a stabilised rammed earth test building in the UK », Energy and Buildings. Elsevier B.V., 42(6), pp. 845–852. doi: 10.1016/j.enbuild.2009.12.005.

Amphoux, P. et al. (1998) « La notion d'ambiance : une mutation de la pensée urbaine et de la pratique architecturale ». Available at: http://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-01882553/document.

Amphoux, P. (2003) « L'Identite sonore urbaine », in G. Moser & K. Weiss (ed.). Espaces de vie : aspects de la relation homme- environnement, Armand Colin. Available at: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01561759.

Anger, R. (2011) Approche granulaire et colloïdale du matériau terre pour la construction. Thèse doctorale. INSA de Lyon. Available at: https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00735722.

Antoniadou, P. et Papadopoulos, A. M. (2017) « Occupants' thermal comfort: State of the art and the prospects of personalized assessment in office buildings », Energy and Buildings. Elsevier B.V., 153, pp. 136–149. doi: 10.1016/j.enbuild.2017.08.001.

ARAGAU, C. (2018) « Le périurbain : un concept à l'épreuve des pratiques », Géoconfluences, 18, pp. 1–7. Available at: http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-regionaux/france-espaces-ruraux-periurbains/articles-scientifiques/periurbain-concept-pratiques.

ARCHICONSULT, G. (2013) « La terre crue en architecture ».

Arrigoni, A. et al. (2017) « Reduction of rammed earth's hygroscopic performance under stabilisation: an experimental investigation », Building and Environment, 115, pp. 358–367. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.01.034.

Audas, N. (2008) « Le rôle de l'affect dans l'ambiance ressentie », in 1st International Congress on Ambiances. Grenoble, pp. 213–219.

Audas, N. et al. (2020) « Ambient Outlines of Children's Urban Experience. A Look Back at an Interpretative Methodology », in Proceedings of the 4th International Congress on Ambiances, Alloaesthesia: Senses, Inventions, Worlds, Réseau International Ambiances. e-conference, France, pp. 126–131. Available at: hal-03220383 .

AUDIO-NTi (2019) « Durée de réverbération ». Available at: https://www.nti-audio.com/fr/applications/acoustique-des-salles-et-des-batiments/mesure-du-temps-de-reverberation.

Augarde, C. E. et al. (2016) « Challenges in treating earthen construction materials as unsaturated soils », E3S Web of Conferences, 9. doi: 10.1051/e3sconf/20160903002.

Augoyard, J.F. et Torgue, H. (1995) « À l'écoute de l'environnement : Répertoire des effets sonores ». Editions Parenthèse.

Augoyard, J.F. (1998) « Elements pour une theorie des ambiances architecturales et urbaines ». Available at: http://doc.cresson.grenoble.archi.fr/doc_num.php?explnum_id=57.

Augoyard, J.F. (2004) « Vers une esthétique des ambiances », Ambiances en débats, A la Croisée, pp. 17–30. Available at: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02104065.

Augoyard, J.F. (2008) « Conférence inaugurale : Faire une ambiance ? », 1st International Congress on Ambiances, Grenoble 2008, pp. 17–35.

Aumond, P. et Lavandier, C. (2019) « Projet de Recherche CENSE - Enquête auprès des Lorientais sur leur environnement sonore ». doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Australia, S. (1979) AS 1276—1979. Methods for determination of sound transmission class and noise isolation class of building partitions.

Ávila, F et al. (2021) « Characterization of the mechanical and physical properties of unstabilized rammed earth: A review », Construction and Building Materials, 270. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121435.

Avilés López, R. et Perera Martín, R. (2017) « Manual de acústica ambiental y arquitectónica ». Ed. Paraninfo.

Baptiste, M. (2011) « Une interface tangible pour le spatialisateur de l'IRCAM ». Ecole Nationale Supérieure Louis Lumière. Available at: http://www.gnom.org/assets/fichiers/docs/Mémo Tangible !! Baptsite Marie.pdf.

Bardel, P. et Maillard, J.L. (2002) « Architecture de terre en Ille-et-Vilaine ». Ed. Apogée. Rennes.

Barlet, A. et al. (2011) « Perceptions et représentations des habitants d'un quartier en réhabilitation : le quartier MALAKOFF à Nantes », Les Cahiers Nantais, IGARUN, 2, pp. 43–53. Available at: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01536143.

Beckett, C. T. S. et al. (2017) « Measured and simulated thermal behaviour in rammed earth houses in a hot-arid climate. Part B: Comfort », Journal of Building Engineering. Ed. Elsevier Ltd, 13(July), pp. 146–158. doi: 10.1016/j.jobe.2017.07.013.

Beckett, C. T. S. et al. (2020) « Weathering the storm: A framework to assess the resistance of earthen structures to water damage », Construction and Building Materials. Ed. Elsevier Ltd, 242, p. 118098. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118098.

Bégout, B. (2020) « Le concept d'ambiance ». Seuil. Paris.

Benoit, G. (2013) Caractérisation des propriétés acoustiques de revêtements poreux par mesures in situ - Application au colmatage des chaussées. Thèse doctorale. Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat. Available at: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00954944.

Berge, B. (2009) « The ecology of building materials » , 2nd edition. Ed. Elsevier.

Berglund, B. et al. (1999) « Guideline for community noise WHO ».

Bernay-Angeletti, C. (2016) Stratégie de perception active pour l'interprétation de scènes. Thèse doctorale. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II. Available at: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01420115.

Bernier, C. (1993). Compte rendu de [Martin Jay. Downcast Eyes. « The Denigration of Vision in Twentieth-Century French Thought ». Berkeley, University of California Press, 1993, 632 p.] Surfaces, 3. https://doi.org/10.7202/1065114ar.

Bestraten S. et al. (2011) « Construcción con tierra en el siglo XXI », Informes de la Construccion, 63(523), pp. 5–20. doi: 10.3989/ic.10.046.

Bille, M. (2018) « Review: Gernot Böhme, 2017, The Aesthetics of Atmospheres ». Edited by Jean-Paul Thibaud. London, Routledge", Ambiances, (February 2018), pp. 0–3. doi: 10.4000/ambiances.1065.

Bille, M. et al. (2015) « Staging atmospheres: Materiality, culture, and the texture of the in-between », Emotion, Space and Society. Elsevier Ltd, 15, pp. 31–38. doi: 10.1016/j.emospa.2014.11.002.

Binici, H. et al. (2009) « Sound insulation of fibre reinforced mud brick walls », Construction and Building Materials. Elsevier Ltd, 23(2), pp. 1035–1041. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.05.008.

Birznieks, L. (2013) « Designing and building with compressed earth ». Faculty of Architecture, Delft University of Technology.

Bloomer, K.C et Moore, C. W. (1977) « Body, Memory and Architecture ». Yale Unive.

Bluyssen, P. M. (2019) « The need for understanding the indoor environmental factors and its effects on occupants through an integrated analysis », IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 609(2), pp. 1–7. doi: 10.1088/1757-899X/609/2/022001.

Böhme, G. (1993) « Atmosphere as the fundamental concept of a new aesthetics », Thesis Eleven, 36(1), pp. 113–126. doi: 10.1177/072551369303600107.

Bonnevie, M. (2017) « Terra nostra, prototype d'habitat : un projet pédagogique innovant ». CRATerre. Available at: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01843223.

Boucher, C. (2012) L'Observatoire CAUE - École maternelle de la Madeleine. Available at: https://www.caue-observatoire.fr/ouvrage/ecole-maternelle-de-la-madeleine/.

Bradley, J. S. et Sato, H. (2008) « The intelligibility of speech in elementary school classrooms », The Journal of the Acoustical Society of America, 123(4), pp. 2078–2086. doi: 10.1121/1.2839285.

Brand, A. R. (2017) « Touching Architecture : a felt-phenomenology of affective atmospheres & embodied encounters ». University of Auckland.

British Standard (1999) British Standard 8233, Sound insulation and noise reduction for buildings. Code of

practise.

Brouard, Y. (2018) Caractérisation et optimisation d'un composite biosourcé pour l'habitat. Thèse doctorale. École doctorale université de Tours. Available at: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01835828/document.

BRUDED (2019) « 22 retours d'expériences pour des bâtiments publics durables et sains ».

Bruno, A. W. et al. (2019) Hygro-mechanical characterisation of hypercompacted earth for building construction. Thèse doctorale. Université de Pau et des Pays de l'Adour - Laboratoire SIAME. Available at: https://hal-univ-pau.archives-ouvertes.fr/tel-02366888.

Bryman, A. (2006) «Integrating quantitative and qualitative research: How is it done? », Qualitative Research, 6(1), pp. 97–113. doi: 10.1177/1468794106058877.

Bryman, A. (2012) « Social Research Methods ». 4th Edition. Oxford University Press.

Bui, Q. B. et al. (2009) « Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering », Building and Environment. Elsevier Ltd, 44(5), pp. 912–919. doi: 10.1016/j.buildenv.2008.07.001.

Butko, D. et al. (2014) « Comparing the acoustical nature of a Compressed Earth Block (CEB) residence to a traditional wood-framed residence », Proceedings of Meetings on Acoustics, Vol. 22 015002 (2015). doi: 10.1121/2.0000083.

Buzo, A. (2014) « Bâtir en terre en Estrémadure. Actions et recherches pour la création d'une activité professionnelle ». Diplôme de Spécialisation et d'Approfondissement – Architecture de Terre. École Nationale Superieure d'Architecture de Grenoble.

Cabello Eras, J. J. et al. (2013) « Improving the environmental performance of an earthwork project using cleaner production strategies », Journal of Cleaner Production. Ed. Elsevier Ltd, 47, pp. 368–376. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.11.026.

Cabeza, L. F. et al. (2013) « Low carbon and low embodied energy materials in buildings: A review », Renewable and Sustainable Energy Reviews, 23, pp. 536–542. doi: 10.1016/j.rser.2013.03.017.

Cabrera Ortiz, J. G. (2010) « Acústica y fundamentos del sonido ». Bogota.

Calkins, M. (2009) « Materials for Sustainable Sites. A Complete Guide to the Evaluation, Selection, and Use of Sustainable Construction Materials ». Ed. John Wiley & Sons.

Campos, C. R. (2022) « MODUL 3 L'entrevista com a tècnica nuclear de l'observació participant ». UOC Universitat Oberta de Catalunya.

Carrascal, T. et Romero Fernández, A. (2005) « Caracterización acústica de elementos constructivos habituales en la edificación residencial española, mediante ensayos en obra y en laboratorio », in 1as Jornadas de investigación en construcción, pp. 1093–1103. Available at: https://www.researchgate.net/publication/39392416.

Carrobé, A. et al. (2021) « Thermal monitoring and simulation of earthen buildings. A review », Energies, 14(8). doi: 10.3390/en14082080.

Cerema (2020) Rapport. « Espace public : méthodes pour observer et écouter les usagers ». Available at: https://www.cerema.fr/fr/actualites/observer-ecouter-usagers-rapport-Cerema.

Cérézo, V. (2005) Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales : approche expérimentale et modélisation théorique, Thèse doctorale. L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Available at: http://theses.insa-lyon.fr/publication/2005isal0037/these.pdf.

Chabriac, P.A. (2014) Mesure du comportement hygrothermique du pisé. Thèse doctorale. MEGA (Mécanique, Energétique, Génie Civil, Acoustique) Spécialité : Génie Civil. ENTPE; CNRS - LTDS (UMR 5513). Available at: https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01413611.

Champiré, F. (2017) Étude expérimentale du comportement hydro-mécanique de la terre crue compactée

pour la construction. Thèse doctorale. Université de Lyon - ENTPE. Available at: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01698988.

Champiré, F. et al. (2016) « Impact of relative humidity on the mechanical behavior of compacted earth as a building material », Construction and Building Materials, 110, pp. 70–78. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.01.027.

Chavez-Montero, A. (2017) « Capitulo 8. La utilizacion de una metodologia mixta en investigacion social », in Rompiendo barreras en la investigación. Ediciones, pp. 164–184. Available at: Google Académico.

Chelkoff, G. (2008) « L'ambiance de tous les sens », in 1st International Congress on Ambiances. Grenoble, pp. 133–134.

Chelkoff, G. (2012) « L'Ambiance sensible à l'architecture : paradoxes et empathies contemporaines », Ambiances in action / Ambiances en acte(s) - International Congress on Ambiances, Montreal, pp. 27–32. Available at: https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00745872/document.

Chesneau, A. (2014) « L'Architecture de terre en Midi-Pyrénées, pistes pour sa revalorisation ». Diplôme de Spécialisation et d'Approfondissement – Architecture de Terre. École Nationale Superieure d'Architecture de Grenoble.

Chevrier, L. (2015) « Vivre une école en terre : entre ambiance rêvée et réalité construite ». École Nationale Superieure d'Architecture de Nantes. Mémoire de master.

Cid, J. et al. (2011) « Las normativas de construcción con tierra en el mundo », Informes de la Construcción, 63(523), pp. 159–169. doi: 10.3989/ic.10.011.

CidB (2017) « Bruit et santé ». Available at: http://www.bruit.fr/images/stories/pdf/guide-bruit-sante-cidb-2017.pdf.

Cigola, M. (2016) « Distinguished Figures in Descriptive Geometry and Its Applications for Mechanism Science », History of Mechanism and Machine Science. Volume 30. Springer. Available at: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-20197-9.

Clotuche, G. (2014) « Vade-Mecum du bruit dans les écoles. Combattre le bruit dans les écoles, pourquoi et comment ? » Available at: http://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/GIDS_230114_VadeBruitEcolFR.pdf.

CNB (2017) « Guide du CNB Réglementations acoustiques des bâtiments ». Available at: http://normativa.infocentre.es/sites/normativa.infocentre.es/files/noticies/IEE_2016.pdf.

CNB (2018) Rapport d'activité 2018.

Cole, R. J. et Kernan, P. C. (1996) « Life-Cycle Energy Use in Office Buildings », Building and Environment, 31(4), pp. 307–317.

Collet, F. et al. (2006) « Study of thermal behaviour of clay wall facing south », Building and Environment, 41(3), pp. 307–315. doi: 10.1016/j.buildenv.2005.01.024.

Colot, F. et al. (2015) « L'environnement sonore a l'ecole- agis-sons! Dossier pédagogique ». Available at: http://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/BE_DP_bruit_FR.pdf.

Commission des Communautés Européennes (2009) « Les effets du changement climatique sur la santé humaine, animale et végétale », Comission des communautés européennes, pp. 1–22. Available at: http://ec.europa.eu/health/archive/ph_threats/climate/docs/com_2009-147_fr.pdf.

Commission européenne (no date) « Les causes du changement climatique ». Available at: https://ec.europa.eu/clima/change/causes_fr.

Commission mondiale sur l'environnement et le développement (1987) Rapport Brundtland - Avant-propos. Available at: https://www.diplomatie.gouv.fr/sites/odyssee-developpement-durable/files/5/rapport_brundtland.pdf.

Conseil National du Bruit (2015) « Qualité acoustique des établissements d'accueil d'enfants de moins de 6 ans. Crèches, haltes-garderies, jardins d'enfants ».

Correia, M. et al. (2014) « Versus. Lessons from vernacular heritage to sustainable architecture ». CRAterre-, Vernacular Heritage and Earthen Architecture. CRAterre - Available at: hal-01159770.

Cosco, N. G., Moore, R. C. and Islam, M. Z. (2010) « Behavior mapping: A method for linking preschool physical activity and outdoor design », Medicine and Science in Sports and Exercise, 42(3), pp. 513–519. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181cea27a.

Cosnier, J. (2015) « Psychologie des emotions et des sentiments ». Available at: http://icar.univ-lyon2.fr/membres/jcosnier/.

Cotten, J.P. (2000) « L'expérience » de la chair chez le dernier Merleau-Ponty », Philosophique, (3), pp. 19–35. doi: 10.4000/philosophique.225.

Creswell, J. W. et Plano Clark, V. L. (2011) « Designing and conducting mixed methods research ». SAGE Publi, Third edition. doi: 10.1177/1937586719832223.

Creswell, W. J. et Creswell, J. D. (2018) « Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches », Journal of Chemical Information and Modeling. Edited by SAGE Publications Ltd. Available at: https://lccn.loc.gov/2017044644.

Crete, E. et al. (2022) « Acoustical Properties of Earthen Walls: Transmission Loss Measures and Numerical Modelisation », SSRN Electronic Journal. doi: 10.2139/ssrn.4128577.

Crump, D. (2011) « Climate change – health impacts due to changes in the indoor environment ; Research needs », (February).

CTB (2010) « 2. THERMIQUE La terre crue améliore le confort hygrothermique », Les cahiers techniques du bâtiment. Available at: https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/article/2-thermique-la-terre-crue-ameliore-le-confort-hygrothermique.27319.

Cycle Terre (2021) « Guide de conception et de construction ».

Dahlbo, H. et al. (2015) « Construction and demolition waste management - A holistic evaluation of environmental performance », Journal of Cleaner Production, 107, pp. 333–341. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.02.073.

Dahmen, A. J. (2015) « Who's afraid of raw earth? Experimental wall in New England and the environmental cost of stabilization », Rammed Earth Construction - Proceedings of the 1st International Conference on Rammed Earth Construction, ICREC 2015, pp. 85–88. doi: 10.1201/b18046-17.

Van Damme, H. et Houben, H. (2017) « Earth concrete. Stabilization revisited », Cement and Concrete Research. Elsevier Ltd, 114(May 2017), pp. 90–102. doi: 10.1016/j.cemconres.2017.02.035.

Darling, E. et Corsi, R. L. (2016) « Field-to-laboratory analysis of clay wall coatings as passive removal materials for ozone in buildings », Indoor Air, 27(3), pp. 658–669. doi: 10.1111/ina.12345.

Darling, E. K. et al. (2012) « Impacts of a clay plaster on indoor air quality assessed using chemical and sensory measurements », Building and Environment. Elsevier Ltd, 57, pp. 370–376. doi: 10.1016/j.buildenv.2012.06.004.

Daza, A. N et al. (2016) « Acoustic performance in raw earth construction techniques used in Colombia », EuroRegio2016, European Association of Acoustics, pp. 1–10.

Degrave-Lemeurs, M. et al. (2018) « Acoustical properties of hemp concretes for buildings thermal insulation: Application to clay and lime binders », Construction and Building Materials. Elsevier Ltd, 160, pp. 462–474. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.064.

Delebecque, R. et Romagnoli, J. (1975) Isolation acoustique. Delagrave.

Déoux, S. (2010) « Bâtir pour la santé des enfants ». Medieco Ed. Andorra.

DE SA, C. and Horsin Molinaro, H. (2017) « Conception acoustique d'une salle – Intérêt du prototypage et principe de conception de maquette », pp. 1–17.

DIN (Deutsches Institut für Normung) (2016) DIN 4109-1. Protection acoustique dans le bâtiment - Partie 1: Exigences minimales. Available at: https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/din-41091/protection-acoustique-dans-le-batiment-partie-1-exigences-minimales/eu141267/175224.

DIN 4109-1 (2018) DIN 4109-1 Protection acoustique dans le bâtiment - Partie 1: Exigences minimales.

Ding, G. K. C. (2004) « The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities », Thèse doctorale. University of Technology, Sydney. p. 404. doi: 10.1016/S1380-7323(02)80009-7.

Ding, G. K. C. (2007) «Life cycle energy assessment of Australian secondary schools », Building Research and Information, 35(5), pp. 487–500. doi: 10.1080/09613210601116408.

Dipotet Mollinedo, L. G. (2010) « Gestión Energética en obras de Movimiento de tierra ». Available at: https://docplayer.es/8415613-Titulo-del-trabajo-gestion-energetica-en-obras-de-movimiento-de-tierra.html.

Dixit, M. K. et al. (2010) « Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review », Energy and Buildings, 42(8), pp. 1238–1247. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.02.016.

Dixit, M. K. et al. (2012) « Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper », Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier Ltd, 16(6), pp. 3730–3743. doi: 10.1016/j.rser.2012.03.021.

Dixit, M. K. et al. (2016) « Reducing carbon footprint of facilities using a facility management approach », Facilities, 34(3–4), pp. 247–259. doi: 10.1108/F-11-2014-0091.

Dixit, M. K. (2019) « Life cycle recurrent embodied energy calculation of buildings: A review », Journal of Cleaner Production. Elsevier Ltd, 209, pp. 731–754. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.230.

Dixit, M. K. et Singh, S. (2018) « Embodied energy analysis of higher education buildings using an input-output-based hybrid method », Energy and Buildings. Elsevier B.V., 161, pp. 41–54. doi: 10.1016/j.enbuild.2017.12.022.

Downton, P. (2010) « Your Home Technical Manual: Rammed Earth (Pise) », pp. 154–156. Available at: http://www.yourhome.gov.au/technical/pubs/fs57.pdf.

Drass des Pays de la Loire (2007) « Santé Environnement. Bâtiments accueillant des enfants. Guide à l'usage des responsables d'établissements ».

Drozd, C. (2011) Représentations langagières et iconographiques des ambiances architecturales : de l'intention d'ambiance à la perception sensible des usagers. Thèse doctorale. École Centrale de Nantes. Available at: https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/686046/filename/DROZd_these_2011_tomes1_2.pdf.

Duarte A. et Bru S. (2021) « Outil 34. L'effet Ikea, Dans la boîte à outils de la gamification », pp. 104–105. Available at: https://cairn-rdl.proxy.collecto.ca/feuilleter.php?ID_ARTICLE=DUNOD_DUART_2021_01_0140.

Duarte, C. R. et al. (2008) « Exploiter les ambiances : dimensions et possibilités méthodologiques pour la recherche en architecture », 1st International Congress on Ambiances, Grenoble 2008, pp. 415–422.

Dubois, D. (2012) « Dénommer, définir, identifier, décrire une ambiance - A semantic analysis of the word "soundscape" », Ambiances in action / Ambiances en acte(s) - International Congress on Ambiances, Montreal, pp. 683–688.

Duhamel, D. (2013) «Acoustique », in. doi: 10.1051/lhb/2010051.

Eapbx, G. (2002) « La qualité sonore des espaces recevant les tout-petits : " Comment ça sonne ici ?"»

Écopôle ; CCAglomération (no date) « La terre crue - C4 ».

Energy Information Administration (2005) « Annual Energy Review, Energy ». Available at: http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/.

Erica, A. et al. (2008) « Terra Literature Review: An Overview of Earthen Architecture Conservation ». Available at: https://www.filepicker.io/api/file/c8QIcAjRSuOvqHzchZUv.

Erwine, B. (2016) « Creating Sensory Spaces. The Architecture of the Invisible ». Ed. Routledge .

European Commission (2011) « Roadmap to a Resource Efficient Europe ». Available at: http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/pdf/com2011_571_de.pdf.

Express, G. P. (2021) « Cycle Terre : prolonger la vie des déblais ». Available at: https://www.societedugrandparis.fr/gpe/actualite/cycle-terre-valorisation-deblais.

Fabbri, A. et Morel, J.C. (2016) « Earthen materials and constructions. Nonconventional and Vernacular Construction Materials ». Elsevier. Edited by kent A. ; Harries and B. Sharma. Available at: https://b-ok.cc/s/Nonconventional and Vernacular Construction Materials.

Fabbri, A. et al. (2022) « Hygrothermal and Acoustic Assessment of Earthen Materials », in Testing and Characterisation of Earth-based Building Materials and Elements - State-of-the-Art Report of the RILEM TC 274-TCE. doi: 10.1007/978-3-030-83297-1.

Fan, M. et al. (2016) « Design rationale: Opportunities and recommendations for tangible reading systems for children », Proceedings of IDC 2016 - The 15th International Conference on Interaction Design and Children, (January 2018), pp. 101–112. doi: 10.1145/2930674.2930690.

fcppf (Fédération des centres pluralistes de planning familial ASBL) (2019) « Le langage des émotins ». Available at: http://www.fcppf.be/portfolio/items/le-langage-des-emotions/.

Fernandes, J. et al. (2019) « Passive strategies used in Southern Portugal vernacular rammed earth buildings and their influence in thermal performance », Renewable Energy, 142, pp. 345–363. doi: 10.1016/j.renene.2019.04.098.

Fix, S. et Richman, R. (2009) « Viability of Rammed Earth Building Construction in Cold Climates ». Available at: https://chaenlnk.files.wordpress.com/2012/09/rammedearthforacoldclimate-stufix.pdf.

Flécheux, C. (2019) « Atmosphères : de la sensation à la production », Les Cahiers philosophiques de Strasbourg, (46), pp. 63–83. doi: 10.4000/cps.3215.

Floissac, L. et al. (2009) « How to assess the sustainability of building construction processes », Fifth Urban Research Symposium, (December 2013), pp. 1–17.

Florin, A. (2010) « Le développement du lexique et l'aide aux apprentissages », Enfances et Psy, 47(2), pp. 30–41. doi: 10.3917/ep.047.0030.

Fontaine L. et Anger R. (2009) «Bâtir en terre. Du grain de sable à l'architecture», in Belin, C. des sciences et de l'industrie (ed.).

Foruzanmehr, A. et Vellinga, M. (2011) « Vernacular architecture: Questions of comfort and practicability », Building Research and Information, 39(3), pp. 274–285. doi: 10.1080/09613218.2011.562368.

François, J. (2006) « Habiter la terre », Ethnologies, 28(1), p. 119. doi: 10.7202/014151ar.

Frontczak, M. et Wargocki, P. (2011) « Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments », Building and Environment. Ed. Elsevier Ltd, 46(4), pp. 922–937. doi: 10.1016/j.buildenv.2010.10.021.

Gallipoli, D. et al. (2017) « A geotechnical perspective of raw earth building », Acta Geotechnica, 12(3), pp. 463–478. doi: 10.1007/s11440-016-0521-1.

García-Gaines, R. A. et Frankenstein, S. (2015) « USCS and the USDA Soil Classification System, Development

of a Mapping Scheme », UPRM and ERDC Educational and Research Internship Program, (March), p. 37.

García-Soriano, L. et al. (2016) « La arquitectura de tierra en la infancia para la sensibilización al desarrollo sostenible », JIDA'16. IV Jornadas de Innovación Docente en Arquitectura, pp. 20–21. doi: 10.5821/jida.2016.5104.

García Sánchez, J. F. (2011) « El paisaje delineado de Dimitris Pikionis, el arquitecto silencioso », P+C: proyecto y ciudad: revista de temas de arquitectura, 2. Available at: https://repositorio.upct.es/handle/10317/2117.

Gaudet, C. (2020) « Caractérisation acoustique des bétons terre-chanvre à l'échelle du bâtiment », Rapport de stage. Faculté des Sciences & Techniques. Le mans Université. Cerema.

Gehl, J. et Svarre, B. (2013) « How to study the public life ». Island Pre, How to Study Public Life. Island Pre. Available at: https://tudelft.on.worldcat.org/oclc/865475474.

Gelard, D. (2005) « Identification et caractérisation de la cohésion interne du matériau terre dans ses conditions naturelles de conservation ». Available at: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00008287.

Giada, G. et al. (2019) « Hygrothermal properties of raw earth materials: A literature review », Sustainability (Switzerland), 11(19). doi: 10.3390/su11195342.

GIEC (2014) CHANGEMENTS CLIMATIQUES 2014 Rapport de synthèse.

Glé, P. (2014) Acoustique des Matériaux du Bâtiment à base de Fibres et Particules Végétales - Outils de Caractérisation, Modélisation et Optimisation, Thèse doctorale, ENTPE Lyon. Available at: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00923665.

Glé, P. et al. (2021) « Characterization and modelling of the sound reduction of hemp-clay walls in buildings », Journal of Building Engineering, 40(October 2020). doi: 10.1016/j.jobe.2021.102315.

Glé, P. et al. (2011) « Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity », Applied Acoustics, 72(5), pp. 249–259. doi: 10.1016/j.apacoust.2010.11.003.

Glé, P. et al. (2012) « Modelling of the acoustical properties of hemp particles », Construction and Building Materials, 37, pp. 801–811. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.06.008.

Gómez Escobar, V. et Barrigón Morillas, J.M. (2015) « Analysis of intelligibility and reverberation time recommendations in educational rooms », Applied Acoustics, 96, pp. 1–10. doi: 10.1016/j.apacoust.2015.03.001.

González Sánchez, B. et al. (2017) « The influence of ambient conditions into rammed earth compressive strength », Vernacular and Earthen Architecture: Conservation and Sustainability - Proceedings of SOStierra2017 2017, pp. 751–754. doi: 10.1201/9781315267739-131.

Greene, J. C. (2007) « Mixed methods in social inquiry ». Edited by Jossey-Bass. San Francisco.

Grosjean, M. et Thibaud. J.P. (2001) « L'espace urbain en méthodes ». Éditions P. Marseille.

Grossein, O. (2009) « Modélisation et simulation numérique des transferts d'eau, de chaleur et de solutés dans le patrimoine architectural en terre, en relation avec sa dégradation ». Université Joseph-Fourier - Grenoble I. Available at: https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00373288.

Guillaud, H. (1998) « Tradition et modernité des cultures constructives de l'architecture de terre : panorama mondial et enjeux actuels sur la recherche, la formation, la documentation et la normalisation », p. 23. Available at: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01806210.

HabiTerre&Bois (no date) « Construire en terre crue en milieu urbain ». Available at: https://www.caissedesdepots.fr/sites/default/files/medias/lab_cdc/htb_0_guide_methodo_moa.pdf.

Hall, M. et Allinson, D. (2009) « Assessing the effects of soil grading on the moisture content-dependent thermal conductivity of stabilised rammed earth materials », Applied Thermal Engineering. Elsevier Ltd, 29(4), pp. 740–747. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2008.03.051.

Hall M. et Djerbib Y. (2004) « Rammed earth sample production: context, recommendations and consistency », Construction and Building Materials, 18(4), pp. 281–286. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061803001375?via%3Dihub.

Hall, M. R. et al. (2012) « Modern earth buildings ». doi: 10.1533/9780857096166.

Hall, M. et Swaney, B. (2005) « Stabilised rammed earth (SRE) wall construction - Now available in the UK », Building Engineer, 80(9), pp. 12–15.

Hamard, E. (2017) Rediscovering of vernacular adaptative construction strategies for sustainable modern building : application to cob and rammed earth. Thèse doctorale. Université de Lyon. Available at: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01715849/document.

Hamard, E. et al. (2018) « A new methodology to identify and quantify material resource at a large scale for earth construction – Application to cob in Brittany », Construction and Building Materials, 170(May), pp. 485–497. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.097.

Hamayon, L. (2014) « Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments ». Ed. Le Moniteu.

Harasim, T. (2016) « La evolución histórica del Ocularcentrismo en la arquitectura », Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Arquitectura Departamento de Ideación Gráfica Arquitectónica.

Heathcote, K. (2011) « The thermal performance of earth buildings », Informes de la Construccion, 63(523), pp. 117–126. doi: 10.3989/ic.10.024.

Hegediš, I. et al. (2017) « Energy Sustainability of Rammed Earth Buildings », Archives for Technical Sciences, 1(17), pp. 39–48. doi: 10.7251/afts.2017.0917.039h.

Hégron, G. et Torgue, H. (2010) « Ambiances architecturales et urbaines. De l'environnement urbain à la ville sensible », pp. 1–11.

Heitz, P. et al. (2015) « L'isolation du pisé : pertinence et principes », LGCB-ENTPE - TransLettre. Available at: http://terre-crue-rhone-alpes.org/site/wp-content/uploads/2015/09/Pise_hygrothermique_.pdf.

Hélière, C. (2021) « Percevoir la terre crue ». ENSA Nantes.

Hendriks, C.F. et Pietersen, H. S. (2000) « Sustainable Raw Materials: Construction and Demolition Waste ». Cachan Cedex, France: RILEM Publication.

Hernández Sampieri R. et al. (2014) « La metodología de la investigación », 6a edición. Ed. Mc Graw Hill Education.

Herrmann, L. (2018) « Le lotissement en France : histoire réglementaire de la construction d'un outil de production de la ville », Géoconfluences, p. 1. Available at: http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-regionaux/france-espaces-ruraux-periurbains/articles-scientifiques/histoire-reglementaire-du-lotissement.

Hidayetoglu, M. L. et al. (2012) « The effects of color and light on indoor wayfinding and the evaluation of the perceived environment », Journal of Environmental Psychology, 32(1), pp. 50–58. doi: 10.1016/j.jenvp.2011.09.001.

Houben H. et Guillaud H. (2006) « Traité de construction en terre », CRAterre. Ed. Parenthèse. Marseille.

Hubert, F. (2008) Modelisation des diffractogrammes de mineraux argileux en assemblages complexes dans deux sols de climat tempere. Implications mineralogique et pedologique. Thèse doctorale. Sciences de la Terre. Université de Poitiers.

Hygge, S. (2003) « Noise exposure and cognitive performance – Children and the elderly as possible risk groups », WHO, Brussel, 1(April), pp. 1–19.

I.B.G.E. and Laboratoire de Recherche en Environnement (1999) « L'exposition des écoliers au bruit ». Available

at: http://document.leefmilieu.brussels/opac_css/elecfile/bruit_expositionecoliers_1999.PDF.

IFOP (2014) « Les Français et les nuisances sonores ». Ifop pour Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie'.

Imbert, G. (2010) « L'entretien semi-directif: a la frontière de la santé publique et de l'anthropologie », Recherche en soins infirmiers (102), pp. 23–34. doi: 10.3917/rsi.102.0023.

Iordache, V. et Catalina, T. (2012) « Acoustic approach for building air permeability estimation », Building and Environment. Elsevier Ltd, 57, pp. 18–27. doi: 10.1016/j.buildenv.2012.04.008.

IPCC (2018) « Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty ». Available at: https://www.ipcc.ch/.

Jácome González, L. S. (2017) Estudio de la calidad de la acústica de espacios educativos. Propuestas de mejora. Thèse doctorale. Universidad de Extremadura.

Jafarian, H. et al. (2016) « Impact of Indoor Use of Wood on the Quality of Interior Ambiances under Overcast and Clear Skies: Case Study of the Eugene H. Kruger Building, Québec City », BioResources, 11(1), pp. 1647–1663. doi: 10.15376/BIORES.11.1.1647-1663.

Jafarian, H. et al. (2018) « Effects of interior wood finishes on the lighting ambiance and materiality of architectural spaces », Indoor and Built Environment, 27(6), pp. 786–804. doi: 10.1177/1420326X17690911.

Jaquin, P. A. et al. (2009) « The strength of unstabilised rammed earth materials », Geotechnique, 59(5), pp. 487–490. doi: 10.1680/geot.2007.00129.

de Jarcy, X. et Remy, V. (2010) « Comment la France est devenue moche », Télérama. Available at: https://www.telerama.fr/monde/comment-la-france-est-devenue-moche,52457.php.

Jerome, P. et Al-Aidaroos, M. Y. (2016) « Terra Lyon 2016 XII world Congress on Earthen Architecture », in Earthen construction technologies in southwestern Saudi Arabia, p. 204. Available at: https://terra2016.sciencesconf.org/conference/terra2016/2016_07_01_pre_actes_terra2016.pdf.

Joanne, P. et al. (2012) « L'initiation à la recherche par la thématique des ambiances », Les Cahiers de la recherche architecturale et urbaine, (26/27), pp. 24–30. doi: 10.4000/crau.529.

Jolly, J. et al. (2016) « Objective and subjective evaluation of acoustic comfort in classrooms: A comparative investigation of vernacular and modern school classroom in Kerala », Applied Acoustics. Elsevier Ltd, 104, pp. 33–41. doi: 10.1016/j.apacoust.2015.09.017.

Keefe, L. (2012) « Earth Building, Methods and materials, repair and conservation ». Taylor & Francis Group. doi: 10.4324/9780203342336.

Khalili N. et al. (2014) « Unsaturated Soils: Research & Applications ». Volume 2. Taylor & Francis Group.

Kishikawa, H. et al. (2006) « The development of Weinstein's noise sensitivity scale », Noise and Health, 8(33), pp. 154–160. doi: 10.4103/1463-1741.34703.

Kolski, C. (2015) « Tables interactives et interfaces tangibles pour l'apprentissage humain : éléments de conception et d'évaluation », pp. 1–9.

Kotradyova, V. et al. (2019) « Wood and its impact on humans and environment quality in health care facilities », International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(18). doi: 10.3390/ijerph16183496.

L'Autrement-Dit (2018) « La roue des émotions ». Available at: https://lautrementdit.net/.

Labat, M. et al. (2016) « From the experimental characterization of the hygrothermal properties of straw-clay mixtures to the numerical assessment of their buffering potential », Building and Environment. Elsevier Ltd, 97,

pp. 69–81. doi: 10.1016/j.buildenv.2015.12.004.

Lacasta, A. et al. (2021) « Medium density materials based on clay and by-products of corn and sunflower stalks. Thermal and acoustic aspects », in ICBBM 2021 4th International Conference on Bio-Based Building Materials. Barcelona, p. 2021.

Lanoye, R. et al. (2004) « A practical device to determine the reflection coefficient of acoustic materials in-situ based on a Microflown and microphone sensor », Proceedings of the 2004 International Conference on Noise and Vibration Engineering, ISMA, (January), pp. 2665–2675.

Lanoye, R. et al. (2006) « Measuring the free field acoustic impedance and absorption coefficient of sound absorbing materials with a combined particle velocity-pressure sensor », The Journal of the Acoustical Society of America, 119(5), pp. 2826–2831. doi: 10.1121/1.2188821.

Larousse (2022) Dictionnaire Larousse. Available at: https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/décrire/22459.

Lavandier, C. et al. (2003) « Qualité des ambiances sonores liées aux usages des établissements d'enseignement », pp. 1–27. Available at: http://www.urbanisme-puca.gouv.fr/IMG/pdf/Qualite_des_ambiances_sonores_2-article.pdf.

Lavandier, C. et Raimbault, M. (2011) «Représentations des ambiances sonores de trois collèges du Val d'Oise : Analyse des cartes mentales sonores réalisées par les élèves », Carnets de Géographes, 3(1), pp. 1–25. Available at: http://www.carnetsdegeographes.org/PDF/Rech_03_04_Lavandier_Raimbault.pdf.

Lavarde, P. et al. (2019) « L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur. Bilan et prespectives », Rapport CGEDD n° 012430-01, IGAS n° 2018-085 et IGA n° 18073 R. doi: 10.4000/books.irdeditions.5316.

Le Guern, A.L. et Themines, J.F. (2011) « Des enfants iconographes de l'espace public urbain : la méthode du parcours iconographique », Carnets de géographes, (3). doi: 10.4000/cdg.2355.

Lefrançois, C. (2019) « Confort thermique des murs en pisé, bauge, ou à colombages et remplissage en torchis ou pierre », Build Green. Available at: https://www.build-green.fr/confort-thermique-des-murs-en-pise-bauge-ou-a-colombages-et-remplissage-en-torchis-ou-pierre/.

Legendre, A. et Depeau, S. (2003) « La cartographie comportementale: une approche spatiale du comportement », Espaces de vie: aspects de la relation homme-environnement, (January 2003), pp. 267–299.

Legifrance (2003) « Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement », (123), pp. 1–9.

Légifrance (1999) « Arrêté du 30 juin 1990 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation », pp. 6–8.

Légifrance (2003) « Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement».

Lemeurs M. et al. (2016) « Caractérisation acoustique de bétons terre - chanvre ».

Lenci S. et al. (2012) « Experimental determination of the fracture properties of unfired dry earth », Engineering Fracture Mechanics. Elsevier Ltd, 87, pp. 62–72. doi: 10.1016/j.engfracmech.2012.03.005.

Lescop, L. (1999) La représentation des ambiances architecturales et urbaines : Introduction à une pédagogie des ambiances. Thèse doctorale. Ambiances Architecturales et Urbaines, Université de Nantes. Available at: https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01499343/document.

Levain, J. P. et al. (2015) « Exposition au bruit et performance scolaire des élèves de CE2 », Psychologie Francaise. Societe francaise de psychologie, 60(1), pp. 35–49. doi: 10.1016/j.psfr.2014.07.001.

Levin, D. M. (1993) « Modernity and the Hegemony of Vision, Heidegger Circle Proceedings ». doi: 10.5840/heideggercircle1991255.

Leylavergne, E. (2012) « La filière terre crue en France. Enjeux, freins et perpectives ». Diplôme de Spécialisation

et d'Approfondissement – Architecture.

Li, J. et al. (2021) « Effect of the degree of wood use on the visual psychological response of wooden indoor spaces », Wood Science and Technology. Springer Berlin Heidelberg, 55(5), pp. 1485–1508. doi: 10.1007/s00226-021-01320-7.

Lipovac, D. et Burnard, M. D. (2021) « Effects of visual exposure to wood on human affective states, physiological arousal and cognitive performance: A systematic review of randomized trials », Indoor and Built Environment, 30(8), pp. 1021–1041. doi: 10.1177/1420326X20927437.

Llatas, C. (2011) « A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list », Waste Management. Elsevier Ltd, 31(6), pp. 1261–1276. doi: 10.1016/j.wasman.2011.01.023.

Llenas, A. (2014) La couleur des émotions. Quatre Fleuves Eds.

López-Noguero, F. (2002) « El Análisis de contenido como método de investigación, XXI ». Revista de educación, 4(4), pp. 167–180.

López-Roldán, P. et Fachelli, S. (2015) « Metodología de la investigación social cuantitativa », Universitat Autònoma de Barcelona. Available at: https://ddd.uab.cat/record/118082.

López Barrio I. et al. (2000) «El estudio de los aspectos perceptivos en la acústica ambiental », Revista de Acústica 31 (3-4): 34-38 (2000), XXXI(April 2015), pp. 1–5. doi: 0210-3680.

La main à la pâte (2012) « L'ouïe et le son en PS-MS », n°209.

Mandley S. et al. (2015) «Identifying the potential for resource and embodied energy savings within the UK building sector », Energy and Buildings. Elsevier B.V., 86(2015), pp. 841–851. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.10.044.

Manola, T. (2022) « Une invitation à (re)penser les enjeux écologiques », Diversité, Réseau Canopé, 2020, L'école écologique, pp. 121–126. Available at: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03258533v2.

Marry, S. (2011) « Des cartes mentales aux cartes mentales sonores: vers une cartographie sensible de l'environnement sonore urbain », in 25th International Cartographic Conference,.

Marry, S. (2011) L'espace public sonore ordinaire : les paramètres de la perception sonore dans les espaces publics : contribution à une connaissance de l'ambiance sonore. Thèse doctorale. Architecture, aménagement de l'espace. Université de Grenoble. Available at: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00651472/document.

Marsh, A. T. M. et Kulshreshtha, Y. (2021) «The state of earthen housing worldwide: how development affects attitudes and adoption », Building Research and Information. Taylor & Francis, 0(0), pp. 1–17. doi: 10.1080/09613218.2021.1953369.

Martinez, L. (2011) « La percepción del confort. Análisis de los parámetros de diseño y ambientales mediante Ingeniería Kansei: Aplicación a la biblioteca de Ingeniería del Diseño (UPV) », Mémoire fin d'étude. Universitat Politècnica de Valencia.

Marušić, B. G. (2011) « Analysis of patterns of spatial occupancy in urban open space using behaviour maps and GIS », Urban Design International, 16(1), pp. 36–50. doi: 10.1057/udi.2010.20.

Mateljan, I. (2019) « ARTA. Program for Impulse Response Measurement and Real Time Analysis of Spectrum and Frequency Response - Manual », pp. 535–546.

Matsui, T. et al. (2004) « Children's cognition and aircraft noise exposure at home - The West London schools study », Noise and Health, 7(25), pp. 49–58.

McGregor, F. et al. (2016) « A review on the buffering capacity of earth building materials », Proceedings of Institution of Civil Engineers: Construction Materials, 169(5), pp. 241–251. doi: 10.1680/jcoma.15.00035.

Mealings, K. T. et al. (2015) « Investigating the acoustics of a sample of open plan and enclosed Kindergarten classrooms in Australia », Applied Acoustics. Elsevier Ltd, 100, pp. 95–105. doi: 10.1016/j.apacoust.2015.07.009.

Medvey, B. et Dobszay, G. (2020) « Durability of Stabilized Earthen Constructions: A Review », Geotechnical and Geological Engineering, 6. doi: 10.1007/s10706-020-01208-6.

Melià, P. et al. (2014) « Environmental impacts of natural and conventional building materials: A case study on earth plasters », Journal of Cleaner Production, 80, pp. 179–186. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.05.073.

Menard, C. et al. (2008) « Baromètre santé environnement 2007 ». Saint-Denis : Institut national de prévention et d'éducation pour la santé. Éditions inpes.

Merleau-Ponty, M. (1945) « Phénoménologie de la perception ». Éd. Gallimard. doi: 10.1007/978-1-4020-5431-0_2.

Merleau-Ponty, M. (1964) « Le Visible et l'Invisible, suivi de Notes de travail ». Éditions Gallimard. Available at: https://books.google.com/books?id=L1KoAgAAQBAJ&pgis=1.

Ministère de l'Éducation National (2015) « Programme d'enseignement de l'école maternelle », Bulletin Officiel du 26 mars 2015, 2, p. 22.

Ministère de l'Éducation Nationale (2015) « Programmes pour les cycles ».

Minke, G. (2005) « Manual Construccion En Tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual », p. 222. Available at: www.entrelibros.com.

Minke, G. (2006) « Building with earth – Design and technology of a sustainable architecture ». Available at: http://www.rivendellvillage.org/Building_With_Earth.pdf.

Miranda Santos, M. (2013) « Consecuencias socio-económicas del desplazamiento de la arquitectura tradicional (tierra vs hormigón). Caso práctico: Tabo, India ». Universidad del Pais Vasco.

Miranda Santos, M. et al. (2021) « On the influence of narrative in the perception of raw earth construction», in EAEA15 – Envisioning Architectural Narratives - 15th Biennial International Conference of the European Architectural Envisioning Association, pp. 368–376.

Mœvus-dorvaux, M. (2014) « Béton d'Argile Environnemental ».

Moevus M. et al. (2012) « Hgro-thermo-mechanical properties of earthen materials for construction : a literature review ». Available at: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01005948.

Moevus, M. et al. (2012) « Livrable 1 Caractéristiques mécaniques, thermiques et hygrométriques du matériau terre crue : bilan de la littérature ».

Monteiro, H. et al. (2016) « Comparative life-cycle energy analysis of a new and an existing house: The significance of occupant's habits, building systems and embodied energy », Sustainable Cities and Society. Elsevier B.V., 26, pp. 507–518. doi: 10.1016/j.scs.2016.06.002.

Morel, J. C. et al. (2001) « Building houses with local materials: Means to drastically reduce the environmental impact of construction », Building and Environment, 36(10), pp. 1119–1126. doi: 10.1016/S0360-1323(00)00054-8.

Morel, J. C. et Charef, R. (2019) « What are the barriers affecting the use of earth as a modern construction material in the context of circular economy? », IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 225(1). doi: 10.1088/1755-1315/225/1/012053.

Moreno, P. (2011) La représentation des ambiances architecturales et urbaines dans les supports de promotion des projets : analyse du rôle des personnages. Thèse doctorale. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes. Available at: https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00639244.

Moriset, S. et al. (2018) Réhabiliter le pisé. Actes Sud2.

Mosconi, L. (2018) Émergence du récit écologiste dans le milieu de l'architecture 1989 - 2015 : de la réglementation à la thèse de l'anthropocène. Thèse doctorale. ENSA de Paris-Malaquais.

Möser, M. et Barros J.L. (2009) « Ingeniería acústica. Teoría y aplicaciones » Springer. Available at: https://epdf.

pub/queue/ingenieria-acustica-teoria-y-aplicaciones.html.

Murray Schafer, R. (2013) « El paisaje sonoro y la afinación del mundo », Ed. Prodimag, S.L.

Muzet, A. et al. (2012) « Évaluation des impacts sanitaires extra-auditifs du bruit environnemental : Saisine 2009-SA-0333 : avis de l'ANSES : Rapport d'expertise collective ». DOC00014511. Rapport d'expertise (littérature grise). 2013, 313 p. <hal-00845574v2>

Naciones Unidas, (2020) « Perspectivas de la población mundial 2019: metodología de las Naciones Unidas para las estimaciones y proyecciones de población », serie Población y Desarrollo, N° 132 (LC/TS.2020/95), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Nations Unies (1972) « Déclartion de Stockholm », La Conférance des Nations Unies sur l'environnement. Stockholm.

Nations Unies (1987) « The Brundtland Report: Our Common Future ». doi: 10.1080/07488008808408783.

Nielsen, S. L. et al. (2018) « The Ambience Potential of Coloured Illuminations in Architecture », Ambiances, (4), pp. 0–27. doi: 10.4000/ambiances.1578.

Norton, M. I. et al. (2012) « The IKEA effect: When labor leads to love », Journal of Consumer Psychology, 22(3), pp. 453–460. doi: 10.1016/j.jcps.2011.08.002.

Nyrud, A. Q. et al. (2010) « Benefits from wood interior in a hospital room: A preference study », Architectural Science Review, 57(2), pp. 125–131. doi: 10.1080/00038628.2013.816933.

OIM (2010) « Migrations et changements climatiques », Working Paper MAPS, 10(31).

OMS (2018) « Lignes directrices relatives au bruit dans l'environnement dans la Région européenne ».

ONU-Habitat (2010) « Le droit à un logement convenable », n°21 /Rev.1.

ONU (2019) « Migración y crisis del clima: ¿Qué soluciones propone la ONU? » Available at: https://news.un.org/es/story/2019/08/1460141.

OpinionWay pour Saint-Gobain (2018) « Les Français et leur confort : quand habitat rime avec bien-être ».

Organisation des Nations unies (2015) « COP 21 - Accord de Paris », pp. 1–18. Available at: http://unfccc.int/portal_francophone/items/3072.php.

Osmani, M. (2011) « Chapter 15 - Construction Waste », in. Available at: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381475-3.10015-4.

Pacheco, E. B. (2002) « En busca de la metodologia mixta entre un estudio de corte cualitativo y el seguimiento de una cohorte en una encuesta retrospectiva », n°17(3), pp. 485–521. Available at: https://www.jstor.org/stable/40315128.

Paleari, M. et al. (2013) « Life cycle assessment and zero energy residential buildings», PLEA2013 - 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future, Munich, Germany 10-12 September 2013. doi: 10.3390/en6021125.

Pallasmaa, J. (2012) « Los ojos de la piel ». Ed. Gustavo Gili, SL.

Pallasmaa, J. (2017) « Percevoir et ressentir les atmosphères. L'expérience des espaces et des lieux », Phantasia, V, pp. 107–127. doi: 10.25518/0774-7136.788.

Pallasmaa, J. (2019) « Tocando el mundo ». Ed. Queralt Ga.

Parc naturel régional des Marais du Cotentin et du Bessin (2010) Terres de bâtisseurs.

Pardo-buendía, M. (2019) « Cambio Climático : entre el Colapso y la Metamorfosis Social », (2006), pp. 1–14.

Patte, E. et Streiff, F. (2006) « L'architecture en bauge », in Cob building in Europe, p. 315.

Pegdwendé Sawadogo, H. (2020) « 27. L'approche qualitative et ses principales stratégies d'enquête ».

Pélissier, C. (2020) « Matériaux bio-géo-sourcés et expérience de nature, une approche sensible », Rapport de recherche. École Nationale Supérieur de Paysage - AgroParisTech.pp. 1–13.

Peng, J. et Jiang, P. (2016) « Chinese Word Identification and Sentence Intelligibility in Primary School Classrooms », Archives of Acoustics, Vol. 41, No 2, pp. 213–219. doi: 10.1515/aoa-2016-0021.

Peng, J. et al. (2015) « Chinese speech intelligibility and its relationship with the speech transmission index for children in elementary school classrooms », The Journal of the Acoustical Society of America, 137, 85, pp. 85–93. doi: 10.1121/1.4904519.

Perret, B. (2017) « L'urgence climatique», Edition de l'Association Paroles | « Sens-Dessous » n° 19, pp. 19-28.

Phung, T. A. (2018) « Formulation et caractérisation d'un composite terre-fibres végétales : la bauge ». Thèse doctorale. Spécialité Génie Civil. Normandie Université, 2018. Français. Available at: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01938827/document.

Pluta, I. et Losco-Lena, M. (2015) « Pour une topographie de la recherche-création », Ligeia, n°137-140(1), pp. 39–46. doi: 10.3917/lige.137.0039.

Plutchik, R. (2003) « Emotions and Life: Perspectives from Psychology, Biology, and Evolution ». American P. Washington. Available at: https://www.apa.org/pubs/books/4311250.

Pousin, F. (2012) « Le quotidien et les ambiances : histoires croisées », Ambiances in action / Ambiances en acte(s) - International Congress on Ambiances, Montreal, pp. 331–336.

Prodi, N. et al. (2013) « On the perception of speech in primary school classrooms: Ranking of noise interference and of age influence », The Journal of the Acoustical Society of America, 133(1), pp. 255–268. doi: 10.1121/1.4770259.

Pujol, S. et al. (2012) « Urban ambient outdoor and indoor noise exposure at home: a population-based study on schoolchildren », Applied Acoustics.

Pujol, S. (2012) Le bruit environnemental en milieu urbain : exposition d'une population d'enfants et performances scolaires. Thèse doctorale. Université de Franche-Comté UFR sciences médicales et pharmaceutique. Available at: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01391663/document.

Quinn Patton, M. (2015) « Qualitive Research & Evaluation Methods ». SAGE Publi.

Quoc-Bao, B. (2008) Stabilité des structures en pisé : durabilité, caractéristiques mécaniques. Thèse doctorale. L'institut national des sciences appliquées de Lyon pour obtenir. Available at: http://theses.insa-lyon.fr/publication/2008ISAL0093/these.pdf.

Racusin, J.D et McArleton, A. (2012) « The Natural Building Companion: A Comprehensive Guide to Integrative Design and Construction ». Chelsea Green Publishing.

Rael, R. (2008) « Earth Architecture ». Edited by Princeton.

Raimbault, M. and Lavandier, C. (2006) « Qualité des ambiances sonores liées aux usages de trois collèges: Analyse des dessins d'élèves », Acoustique & Techniques, 46–47.

Randazzo, L. et al. (2016) « Moisture absorption, thermal conductivity and noise mitigation of clay based plasters: The influence of mineralogical and textural characteristics », Applied Clay Science. Elsevier B.V., 132–133, pp. 498–507. doi: 10.1016/j.clay.2016.07.021.

Raoul, J. (2020) « Ambiances et esthétique de l'architecture en terre crue» . Mémoire - École National Supérieur d'Architecture de Nantes.

Rautureau, M. et al. (2017) « Clays and Health ». Springer I, Clays and Health. Springer I. doi: 10.1007/978-3-319-42884-0.

Reardon, C. et Australian Greenhouse Office (2010) « Your home : Australia's guide to environmentally sustainable homes. Technical manual », p. 348. Commonwealth of Australia.

Redonda Fernández, M. (2013) « Acústica aplicada a la edificación. Evolución histórica desde la antigüedad hasta su actual integración en los procesos constructivos ». Universidade da Coruña.

RÉSEAU-Écobâtir and FFB (2016) « Les Règles Professionnelles pour la mise en œuvre des enduits sur supports composés de terre crue ».

Réseau Ecobatir (2004), Groupe Terre « Construction En Terre et Tremblements de Terre ». Passerelle Éco. 2004. https://www.passerelleco.info/article.php?id_article=263.

Riba Campos, C.E. (2022) « L'anàlisi de contingut en perspectiva qualitativa ».

Rinino, L. (2021) « Terre. Freins et tensions de la filière terre crue française ».

Röhlen, U. et Ziegert, C. (2013) « Construire en terre crue ». Editions L. Edited by L. Moniteur. Paris.

Roland, A. (2019) « Recherche d'une méthodologie d'analyse d'un lieu par et pour son ambiance sonore ». Travail master. Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT).

Rosas, C. et Sommerhoff, J. (2008) « Inteligibilidad acústica en español: Una propuesta para su medición », Estudios Filologicos, 43, pp. 179–190.

Roucan, S. et al. (2022) « Can earthen material buffer CO2 in Indoor Air? », First International RILEM Conference on Earthen Construction Fundamentals and Applications for a Circular Economy, p. 121. Available at: https://conf-earth.sciencesconf.org/data/Book_Abstracts_unedited.pdf.

Roussel, B. et Fleck, S. (2015) «"Moi, voilà ce que je voudraisque tu me fabriques !" (Lucie, 9 ans): Design participatif pour l'utilisabilité de marqueurs tangiblesen contexte scolaire », IHM 2015 - Actes de la 27eme Conference Francophone sur l'Interaction Homme-Machine, (March 2016), pp. 6–8. doi: 10.1145/2820619.2820621.

Rouvreau, L. et al. (2010) « Rapport Final Projet ANR ASURET, Revue de l'existant », (BRGM/RP-58935-FR), p. 161. Available at: http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-58935-FR.pdf.

Rozec, V. et Erimée, E. (2017) « Grandir avec les sons ».

Russo, D. et Ruggiero, A. (2019) « Choice of the optimal acoustic design of a school classroom and experimental verification », Applied Acoustics. Elsevier Ltd, 146, pp. 280–287. doi: 10.1016/j.apacoust.2018.11.019.

Saint-Gobain (2016) « Introduction à l'acoustique du bâtiment ».

Sala, E. et Rantala, L. (2016) « Acoustics and activity noise in school classrooms in Finland », Applied Acoustics. Elsevier Ltd, n°114, pp. 252–259. doi: 10.1016/j.apacoust.2016.08.009.

Salès-wuillemin, E. (2006) « Méthodologie de l'enquête : De l'entretien au questionnaire », Cours de psychologie Sociale 1, Presses Universitaires de France, pp. 45–77.

Salingaros, N. A. (2015) « Biophilia and Healing Environments: Healthy Principles For Designing the Built World », Terrapin Bright Green,LLC, pp. 1–44.

Sato, H. et Bradley, J. (2004) « Evaluation of acoustical conditions for speech communication in active elementary school classrooms », The Journal of the Acoustical Society of America, 117(4), pp. 2405–2405. doi: 10.1121/1.4786138.

Sauvage, M. (2009) « Les débuts de l'architecture de terre au Proche-Orient », in Mediterra -1st Mediterranean conference on earth architecture, pp. 189–198. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Sayigh, A. (2019) « Sustainable Vernacular Architecture ». Available at: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-06185-2.

Schoonenboom, J. et Johnson, R. B. (2017) « How to Construct a Mixed Methods Research Design », Kolner Zeitschrift fur Soziologie und Sozialpsychologie, 69, pp. 107–131. doi: 10.1007/s11577-017-0454-1.

Schroeder, H. (2016) « Sustainable Building with Earth ». doi: 10.1007/978-3-319-19491-2.

Scribe, C. (2021) « Bilan 2018 de la production de déchets en France », Ministère de la transition écologique.

Séguin-Tremblay, N. (2012) « Élaboration et test d'un protocole d'évaluation subjective du confort de sièges d'avion pour passagers ».

Semidor, C. (1999) Relations entre architecture et qualité acoustique : contribution à la caractérisation acoustique d'un lieu d'écoute. Thèse doctorale. Université Paul Sabatier.

Sénépart, I. et al. (2015) « La construction en terre crue au Néolithique Un état de la question en France », Archeopages: archéologie & société, n°42, pp. 6–19. doi: 10.4000/archeopages.1106.

Serrano, S. et al. (2016) « Adaptation of rammed earth to modern construction systems: Comparative study of thermal behavior under summer conditions », Applied Energy. Elsevier Ltd, 175, pp. 180–188. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.05.010.

Sharma, V. et al. (2016) « Enhancing durability of adobe by natural reinforcement for propagating sustainable mud housing », International Journal of Sustainable Built Environment. The Gulf Organisation for Research and Development, n°5(1), pp. 141–155. doi: 10.1016/j.ijsbe.2016.03.004.

Shield, B. et al. (2015) « A survey of acoustic conditions and noise levels in secondary school classrooms in England », The Journal of the Acoustical Society of America, n°137(1), pp. 177–188. doi: 10.1121/1.4904528.

Simó Solsona, M. et Suárez Grimalt, L. (2020) « Encuesta por cuestionarios ». Fundació Universitat Oberta de Catalunya (FUOC).

Singh, A. et al. (2019) « Housing Disadvantage and Poor Mental Health: A Systematic Review », American Journal of Preventive Medicine. Elsevier Inc., 57(2), pp. 262–272. doi: 10.1016/j.amepre.2019.03.018.

Siret, D. et al. (2004) « Au tribunal des sens, les ambiances dans la production architecturale contemporaine : qualité programmées, qualités exprimées », n°33(0).

Sola Pérez, M. (2010) « Caracterització acústica de materiales en cámaras de ensayo " a escala"».

del Solar Dorrego, F. et Vigeant, M. C. (2022) « A study of the just noticeable difference of early decay time for symphonic halls », The Journal of the Acoustical Society of America, 151(80). Available at: https://doi.org/10.1121/10.0009167.

Solís-Guzmán, J. et al. (2009) « A Spanish model for quantification and management of construction waste », Waste Management. Elsevier Ltd, 29(9), pp. 2542–2548. doi: 10.1016/j.wasman.2009.05.009.

Soudani, L. et al. (2016) « Assessment of the validity of some common assumptions in hygrothermal modeling of earth based materials », Energy and Buildings, 116(February), pp. 498–511. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.01.025.

Soudani, L. C. L. (2016) Modelling and experimental validation of the hygrothermal performances of earth as a building material, Thèse doctorale. Université de Lyon - ENTPE. Available at: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01585348.

Sukamolson, S. (2007) « Fundamentals of quantitative research ». Language Institute Chulalongkorn University.

Sulaiman, H. et Olsina, F. (2014) « Comfort reliability evaluation of building designs by stochastic hygrothermal simulation », Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier, 40, pp. 171–184. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.162.

Tcherkassof, A. et Frijda, N. H. (2014) « Les émotions : une conception relationnelle », L'Année psychologique, 114(03), pp. 501–535. doi: 10.4074/s0003503314003042.

Team Solar Bretagne (2016) « Brique de terre crue ».

The World Bank (2010) « Rapport sur le développement dans le mondel monde ». Available at: http://documents.worldbank.org/curated/en/427551468330999890/pdf/530770WDR00FRE00Box0361490B0PUBLIC0.pdf.

Theofilou, P. (2013) « Quality of life: Definition and measurement », Europe's Journal of Psychology, 9(1), pp. 150–162. doi: 10.5964/ejop.v9i1.337.

Thibaud, J.P. (2001) « La méthode des parcours commentés », L'espace urbain en méthodes. Éditions P, pp. 79–99.

Thibaud, J.P. (2012) « Petite archéologie de la notion d'ambiance », Communications, 90(1), p. 155. doi: 10.3917/commu.090.0155.

Thiry, M. et al. (2013) « Technique de préparation des minéraux argileux en vue de l'analyse par diffraction des Rayons X et introduction à l'interprétation des diagrammes », p. 39.

Thormark, C. (2002) « A low energy building in a life cycle - Its embodied energy, energy need for operation and recycling potential », Building and Environment, n°37(4), pp. 429–435. doi: 10.1016/S0360-1323(01)00033-6.

Tixier, N. (2007) « L'usage des ambiances », in Culture et recherche, P. : M. de la C. et de la C. (ed.), pp. 10–11. Available at: hal-00995572.

Turner, S. C. et al. (2010) ASHRAE 55 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. doi: 10.1016/0140-7007(79)90114-2.

Ugochukwu, I. B. et Chioma, I. B. M. (2015) « Local Building Materials: Affordable Strategy for Housing the Urban Poor in Nigeria », Procedia Engineering. Elsevier B.V., n°118, pp. 42–49. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.402.

UN Environment et al. (2019) GEO-6 - Healthy Planet Healthy People. Available at: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/275.

Urzúa, A. et Caqueo-Urízar, A. (2012) « Calidad de vida: Una revisión teórica del concepto Quality of life: A theoretical review », Terapia Psicologica, 30(1), pp. 718–4808.

Valdés Orellana, F. (2015) 1. Hacia una definición de los indicadores de la calidad sonora del ambiente exterior y su aplicación al sig, casos: el ensanche de Barcelona y Vilnius. Thèse doctorale. Universitat Politècnica de Catalunya.

Valles, M. S. (2002) « Entrevistas cualitativas ». Centro de, Cuadernos Metodológicos. Centro de. Madrid.

de Vengoechea, A. (2012) « Las cumbres de las naciones unidas sobre cambio climático Breve », Proyecto Regional de Energía y Clima de la Fundación Friedrich Ebert – FES. doi: 10.5377/lrd.v35i0.1781.

Venkatarama Reddy, B. V. et Jagadish, K. S. (2003) « Embodied energy of common and alternative building materials and technologies », Energy and Buildings, 35(2), pp. 129–137. doi: 10.1016/S0378-7788(01)00141-4.

Verd, J. M. et Lozares, C. (2016) « El método de entrevista », in Introducción a la Investigación Cualitativa. Fases, métodos y técnicas. Síntesis. Madrid, pp. 147–181.

Vermonden, C. (2007) « Décibelle et Groboucan. Les chasseurs de bruit ». Available at: http://reseauecoleetnature.org/system/files/dossier_bruit_fr_2007.pdf.

Vieira, C. S. et Pereira, P. M. (2015) « Use of recycled construction and demolition materials in geotechnical applications: A review », Resources, Conservation and Recycling. Elsevier B.V., n°103, pp. 192–204. doi: 10.1016/j.resconrec.2015.07.023.

Vilatte, J. (2007) « L'entretien comme outil d'évaluation', Formation « Evaluation », pp. 1–65.

Villain, V. (2020) Sociologie du champ de la construction en terre crue en France (1970-2020)', Thèse doctorale. Université de Lyon. p. 484.

Ville de Guérande et Loire-Atlantique développement. (2019) « ZAC Maison Neuve Guérande - La massification des matériaux biosourcés dans les opérations d'aménagements : une transition engagée à faire aboutir sur

l'ensemble des types de logement ».

Ville et Aménagement Durable (2017) « Santé et conforts dans les bâtiments ».

Villes, D. (2013) « Le bruit a l'école : enjeux sanitaires, incidences sur l'apprentissage ». Available at: http://www.afpssu.com/wp-content/uploads/2013/10/bruit-decibels.pdf.

Vissac, A. et al. (2017) « Argiles & Biopolymères ». CRAterre éditions.

Volhard, F. (2016) « Construire en terre allégée ». Ed. Actes Sud.

Walker, P. et al. (2005) « Rammed Earth: Design and construction guidelines », Maniatidis, V., p. 146. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2003.11.001.

Walter, J. O. (1982) « Oralidad y escritura. Tecnologías de la palabra ». Methuen &Co. Ldt., Londres.

Wang, E. et Shen, Z. (2013) « A hybrid Data Quality Indicator and statistical method for improving uncertainty analysis in LCA of complex system-application to the whole-building embodied energy analysis », Journal of Cleaner Production. Elsevier Ltd, n°43, pp. 166–173. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.12.010.

Watchman, M. et al. (2017) « Wood and Comfort: A Comparative Case Study of Two Multifunctional Rooms », BioResources, n°12(1), pp. 168–182. doi: 10.15376/biores.12.1.168-182.

Watson, L. et McCabe, K. (2011) « The cob building technique: Past, present and future », Informes de la Construccion, n°63(523), pp. 59–70. doi: 10.3989/ic.10.018.

Waye, K. P. et al. (2013) « Validation of a questionnaire measuring preschool children's reactions to and coping with noise in a repeated measurement design », BMJ Open, n°3(5). doi: 10.1136/bmjopen-2012-002408.

WHO (2018) « WHO environmental noise guidelines for the European Region ». Available at: https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563.

Wilson, E. O. (1984) « Biophilia ». Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, and London, England. doi: 10.4159/9780674045231.

Woloszyn, P. (2012) «HYPER PAYSAGES URBAINS (HPU) Un système numérique d'information ambiantale participative d'aménagement du territoire », (April).

Yang, W. et Bradley, J. S. (2009) « Effects of room acoustics on the intelligibility of speech in classrooms for young children », The Journal of the Acoustical Society of America, n°125(2), pp. 922–933. doi: 10.1121/1.3058900.

Yuste, B. (2009) « Arquitectura de tierra: caracterización de los tipos edificatorios », p. 122. Mémoire de master. Universitat Politècnica de Catalunya. Zumthor, P. (2008) « Environnements architecturaux - Ce qui m'entoure ». Editions B.

Zürcher, C. et Thomas, F. (2014) « Physique du Bâtiment - Construction et énergie ». Edited by vdf.

Annexe 1. Équipements et programmes utilisés

Dans cette annexe vous trouverez des informations plus détaillées de l'ensemble des équipements utilisés pour les mesures in situ et les mesures dans le laboratoire ainsi que les logiciels.

1.1 Équipement pour la mesures in situ

1.1.1 Source omnidirectionnelle

La source omnidirectionnelle Type 4296 utilise un groupe de 12 haut-parleurs dans une configuration dodécaédrique qui diffuse le son de manière uniforme avec une distribution sphérique (Voir Figure 236). Les douze haut-parleurs sont connectés dans un réseau série-parallèle pour assurer à la fois un fonctionnement en phase et une impédance adaptée à l'amplificateur de puissance.

Lorsqu'il est connecté via le câble de pontage AQ 0621, l'OmniPower peut utiliser la puissance de sortie combinée des deux canaux de l'amplificateur de puissance Type 2716, et délivrer une puissance sonore de 122 dB re 1 pW (Figure 235).

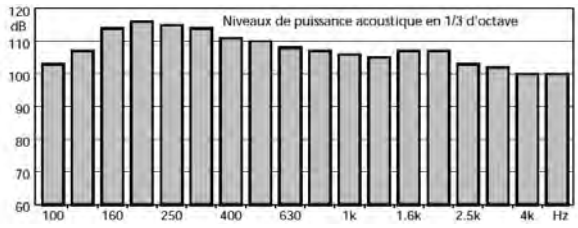


Figure 235 Niveaux de puissance acoustique maximum sur 1/3 d'octave pour l'OmniPower avec un générateur de puissance de type 2716.

Figure 236 Source omnidirectionnelle utilisée.

Dans les Figures 237 et 238 le comportement de la source par bande d'octave (de 100Hz à 5000Hz) est donné et comparé avec les valeurs recommandées par la norme ISO 140[160] pour l'isolation et ISO 3382 pour le temps de réverbération.

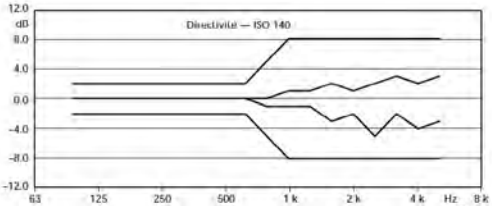


Figure 237 Directivité pour OmniPower selon la norme ISO 140 : écart maximal de la moyenne pour un arc de 30° «glissant». Les courbes supérieures et inférieures sont les tolérances ISO140.

[160] Remplacé par la Norme ISO 16283

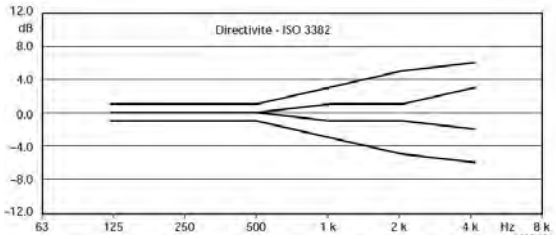


Figure 238 Directivité pour OmniPower selon la norme ISO3382 : déviation maximale de la moyenne pour un arc de 30° «glissant». Les courbes supérieures et inférieures sont les tolérances ISO3382.

1.1.2 Amplificateur

L'amplificateur utilisé correspond à Audio Power Amplifier 100W Stereo - Type 2716-C (Voir Figure 239). Il possède deux canaux qui peuvent être utilisés indépendamment ou conjointement : Input CH.A et Input CH.B, via des connecteurs XLR. La sortie est d'environ 300W et est relativement indépendante de la charge.

Figure 239 Amplificateur.

1.1.3 Microphone de mesure

Pour une partie des mesures, un microphone de mesure classe 1 M2010 ½» de NTI a été utilisé. Son comportement est omnidirectionnel. Le microphone M2010 est optimisé pour une réponse plate en champ libre dans la gamme audio 20 Hz - 20 kHz. Dans la Figure 240 la réponse en fréquence typique est donnée.

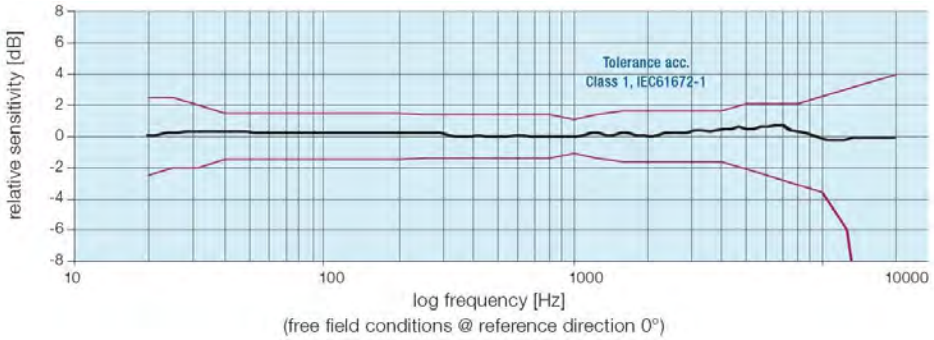


Figure 240 Réponse en fréquence typique du microphone.

1.1.4 Ensemble Bedrock sonomètre / STI-mètre SM90 et source calibrée Talkbox BTB65

Pour les mesures de temps de réverbération et le niveau sonore le sonomètre de classe 1 - BEDROCK SM90 a été utilisé (Figure 241). Celui avec la source calibrée Talkbox BTB65 a été également utilisé pour la mesure STI (Figure 242).

Principales caractéristiques techniques SM90 :

- Gamme de mesure avec le microphone BAMT1 fourni : 20 - 130 dB SPL
- Réponse en fréquence : 20 Hz - 20 kHz
- Mesure du STI conforme à la norme IEC 60268-16 rév, 4
- Les mesures de niveaux sonores répondent aux caractéristiques énoncées dans les normes ANSI S1,4 type 1 et IEC 61672 Class 1
- Les filtres utilisés pour l'analyse temps réel présentent des caractéristiques qui excèdent la classe 0 au sens de la norme IEC 61260.

Figure 241 Sonomètre de classe 1 - BEDROCK SM90.

Figure 242 Source calibrée Talkbox BTB65.

Principales caractéristiques techniques Talkbox BTB65 :

- Niveaux acoustiques normalisés 54-72 dB(A) SPL @ 1 m
- Réponse en fréquence : 80 Hz - 12,5 kHz +/- 1 dB (lissage 1/3 octave)
- Niveau de sortie électrique calibré : -30 à -12 dBU
- Puissance HP : 30 W, amplificateur 20 W classe D
- Conforme à la norme IEC 60268-16 rev, 4 et 5 (en projet).

1.1.5 Zoom H5

Le Zoom a été utilisé comme carte son avec le microphone de mesure mais également pour l'enregistrement des sons concrets dans les écoles.

Caractéristiques

- Comprend une capsule X/Y amovible (XYH-5) capable de gérer une pression acoustique de 140 dB SPL
- Micros montés sur suspension pour réduire le bruit de manipulation
- Enregistrement simultané sur quatre pistes
- Enregistre directement sur cartes SD et SDHC jusqu'à 32 Go
- Prend en charge l'audio 24 bits/96 kHz au format WAV compatible BWF et à divers formats MP3
- Deux entrées micro/ligne avec connecteurs mixtes XLR/TRS, chacune avec possibilité de sélectionner une alimentation fantôme et un atténuateur −20 dB
- Effets intégrés, incluant filtrage passe-bas, compression et limitation
- Avec les fonctions d'enregistrement automatique, de pré-enregistrement et d'enregistrement de secours, vous ne manquerez jamais la prise parfaite
- Interface audio USB multicanal et stéréo pour PC/Mac/iPad avec fonction de renvoi
- Alimenté par deux piles AA ou par USB.

Figure 243 Zoom H5.

1.1.6 Équipement de mesure d'absorption in situ

La société néerlandaise Microflown développe des systèmes basés sur son capteur de vitesse des particules, typiquement inclus dans une sonde Pression - Vitesse des particules (PU) qui permet de mesurer l'intensité sonore (Figure 244).

L'une des applications de cette sonde est d'obtenir l'impédance acoustique d'un matériau, ou son absorption sonore.

Caractéristiques

Avec ce petit pistolet à impédance portable, l'absorption acoustique, la réflexion ou l'impédance peuvent être mesurées en quelques minutes. Tout cela dans une large gamme de fréquences (300 Hz - 10 kHz) et sous des angles obliques et normaux. Une petite source de bruit, placée à 23 cm d'une sonde PU, génère un bruit blanc vers l'échantillon mesuré. La pression sonore et la vitesse des particules sont mesurées directement à la surface du matériau. Le coefficient d'absorption et de réflexion peut être obtenu directement à partir de l'impédance mesurée, qui est la relation complexe de la pression sonore et la vitesse de la particule.

Figure 244 Source et sonde PU.

Les résultats de mesure sont traités par une application logicielle dédiée (Microflown Velo 5), qui fournit une interface conviviale pour contrôler toutes vos mesures, qu'elles soient liées à des échantillons de matériau différents ou à des points différents au sein d'un même échantillon.

1.2 Programmes pour la mesure in situ

1.2.1 Arta

Pour la mesure du temps de réverbération mesurée selon la méthode de réponse impulsionnelle (MLS) (3.2.2.2.2.2), le programme « Arta » est utilisé. « Arta » est un logiciel de mesure de la réponse

impulsionnelle, d'analyse du spectre en temps réel et de mesure de la réponse en fréquence. Il s'agit d'un outil pour les mesures acoustiques et pour les tests «point à point» de la qualité audio dans les systèmes de communication (Mateljan, 2019).

Le programme a été également utilisé pour calibrer les microphones de mesure (1.1.3) et des mesures de bruit de fond.

1.3 Matériel de laboratoire – Tube de Kundt

Le tube d'impédance utilisé a 50mm de diamètre. Ce tube a été mis au point par le laboratoire « d'acoustique et d'économie d'énergie » de l'Université Polytechnique de Barcelone (EPSEB-UPC). Avec ses 4 microphones, le tube permet de déterminer l'absorption acoustique et l'indice d'affaiblissement (TL) des échantillons sur une gamme de fréquences allant de 400 à 3150 Hz (Figure 245).

Figure 245 Tube de Kundt – EPSEB-UPC.

1.4 Programmes pour la simulation

1.4.1 CATT-Acoustique

CATT-Acoustic, le logiciel de simulation acoustique dans le domaine de l'acoustique virtuelle, également reconnu et largement utilisé dans l'ingénierie de l'acoustique du bâtiment et de la sonorisation.

Les simulations acoustiques à l'aide de CATT-Acoustic se basent sur un modèle géométrique en 3 dimensions, lequel peut être programmé en langage GEO CATT ou bien peut être importé depuis différents formats de modélisation 3D.

Pour plus d'information : http://www.euphonia.fr/pdf/presentation-CATT-Acoustic-v9.pdf

1.4.2 SketchUp – modélisation 3D

Les géométries des salles étudiées sont réalisées avec le logiciel de conception 3D : SketchUp.

Pour plus d'information : www.sketchup.com

1.5 Équipements de contrôle de l'environnement de mesure

1.5.1 Mesure de température et humidité

Pour relever les conditions de température et d'humidité pendant les mesures acoustiques, des capteurs intégrés « HOBO temp/RH logger » de ONSET ont été utilisés. Ces capteurs intégrés permettent d'enregistrer la température et l'humidité relative (avec une précision de 3,5 %) dans les environnements intérieurs (Figure 246).

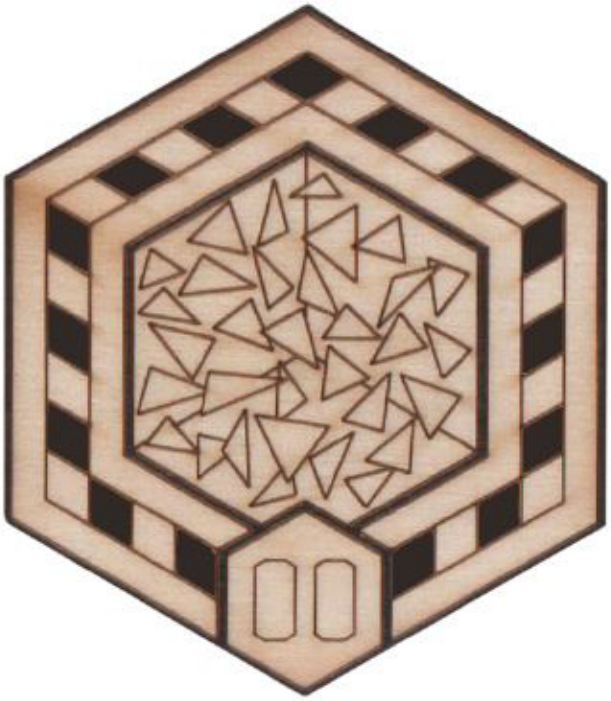
Figure 246 HOBO temp/RH logger » de ONSET. Source : ONSET.

Annexe 2. Application de spécialisation sonore en réalité augmentée

Notice technique

d'une application de spatialisation sonore

en réalité augmentée



Stage recherche facultatif

ENSA Nantes / Université Gustave Eiffel - 2020/2021 Maxime RENAUD

2.1 Glossaire

2.1.1 Système

AudioListener :

L'Audio Listener ou «écouteur» est un composant qui perçoit les sons. Il correspond au point d'écoute spatialisé dans l'environnement 3D. Il possède une orientation qui permet de distinguer d'où viennent les sons (droite/gauche, devant/derrière) et de percevoir leur proximité selon qu'ils sont joués plus ou moins fort (voir 2.3.2).

AudioSource :

Dans Unity, l'*Audio Source* est un composant qui génère une source sonore. Dans cette notice, nous emploierons plus simplement les termes «son» et «objet sonore» pour désigner les éléments virtuels qui produisent un son dans l'application (voir 2.3.2).

Cible :

En réalité augmentée, une cible ou target désigne un objet physique qui va être détecté et reconnu par le système (notamment Vuforia). Le programme va ensuite instancier des éléments sonores ou visuels qui vont se superposer virtuellement à l'objet physique (voir 2.4.1).

GameObject :

Dans Unity, un *GameObject* est un objet qui peut supporter différents composants (scripts, audiosource, audiolistener, etc.). Une fois placés dans une scène, les gameobjects forment une hiérarchie en se plaçant en tant que parent ou enfant d'autres gameobjects.

PlayerPrefs :

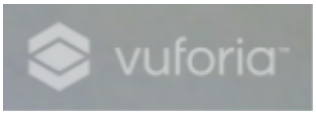
Dans les codes des scripts, les *PlayerPrefs* sont un système qui permet d'enregistrer une valeur en l'associant à une «clé» qui est en fait un nom associé à cette valeur. Il suffit alors d'utiliser cette «clé» pour exploiter la valeur correspondante. De cette manière, chaque valeur rentrée dans un inputfield, chaque toggle coché, chaque slider déplacé et chaque option sélectionnée dans un dropdown est enregistré via les *PlayerPrefs* dans Unity. Ainsi, on peut conserver des valeurs après avoir changé de scène ou même après avoir quitté l'application.

Scène :

Une scène ou Scene est considérée comme un niveau de jeu. Chacune est indépendante des autres scènes et on ne peut être que dans une seule scène à la fois. Créer différentes scènes permet de naviguer entre différents espaces de travail qui contiennent chacun des éléments (gameobjects) différents (voir 2.3.1).

Vuforia :

Vuforia est un plug-in de Unity, c'est à dire un programme annexe qui vient se greffer au projet, et qui va gérer la détection de cible pour la réalité augmentée.



2.1.2 Interface

Button :

Un button est un bouton qui appelle une fonction quand on appuie dessus.

Dropdown :

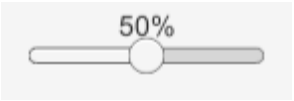
Un dropdown est un menu déroulant qui permet de choisir une option parmi une liste prédéfinie.

Inputfield :

Un Inputfield est un champ qui peut être rempli avec du texte, des symboles ou des valeurs numériques (entières, décimales).

Slider :

Un slider est un curseur qui peut être réglé entre une valeur numérique (entière, décimale) minimum et maximum.



Toggle :

Un toggle est une case à cocher qui permet de savoir si la valeur est actif/inactif.

2.2 Installation

2.2.1 Unity Hub

Le Unity Hub est le programme qui permet de gérer les différentes versions de Unity et les différents projets qui ont été créés.

Nous allons voir comment installer ce programme, comment télécharger une version de Unity et les éléments nécessaires pour accéder au projet de réalité augmentée (cf. Vidéo : Tuto Unity 1 - Installation).

Se rendre sur https://unity3d.com/fr/get-unity/download pour télécharger le Unity Hub.

Une fois installé, ouvrir Unity Hub.

Dans la section Installs, cliquer sur Add (Figure 247).

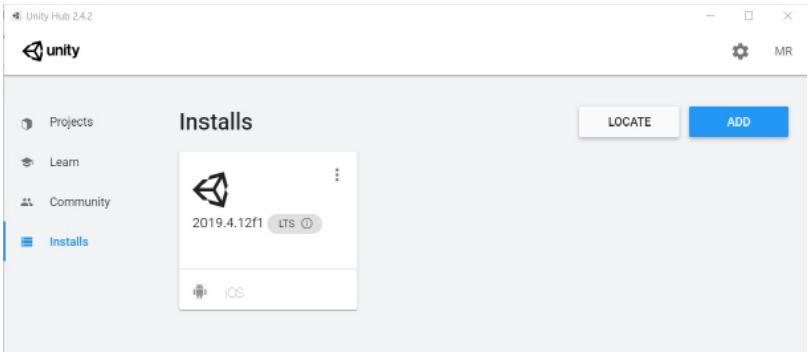


Figure 247 Unity Hub - Installs

Sélectionner une version de Unity (de préférence une version recommandée : Recommended Release). La version du projet est la 2019.4.20f1 (Figure 248).

Cliquer sur Next.

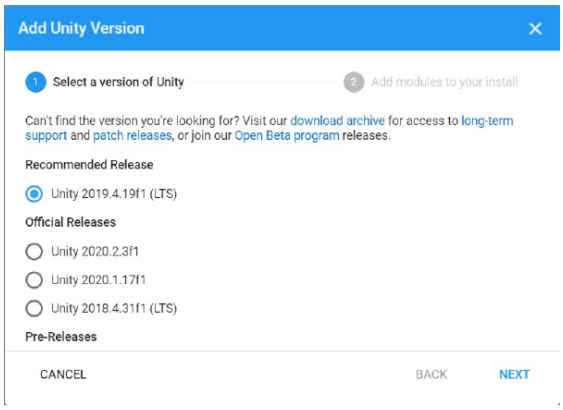


Figure 248 Unity Hub - Add Unity version

Si la version recherchée n'est pas proposée dans la liste des Official Releases, cliquer sur download

Cocher la case Android Support pour pouvoir exporter le projet sur un appareil sous Android.

Cocher la case Microsoft Visual Studio Community 2019 si l'ordinateur ne dispose pas d'un éditeur de code, ou installer Visual Studio Code en se rendant sur https://code.visualstudio.com/Download (Si besoin de coder) (Figure 249).

Cliquer sur Done.

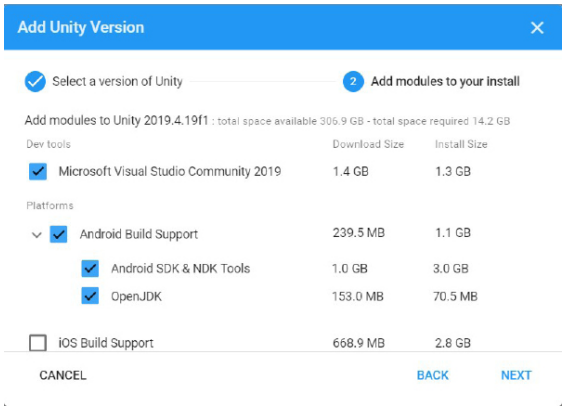


Figure 249 Unity Hub - Add modules

Une fois le téléchargement terminé, aller dans la section *Projects* et cliquer sur *Refresh Cloud Projects*.

Si le compte Unity utilisé a bien été ajouté comme membre du projet par le propriétaire, celui-ci devrait apparaître dans la liste des projets.

Cliquer sur le projet pour le lancer.

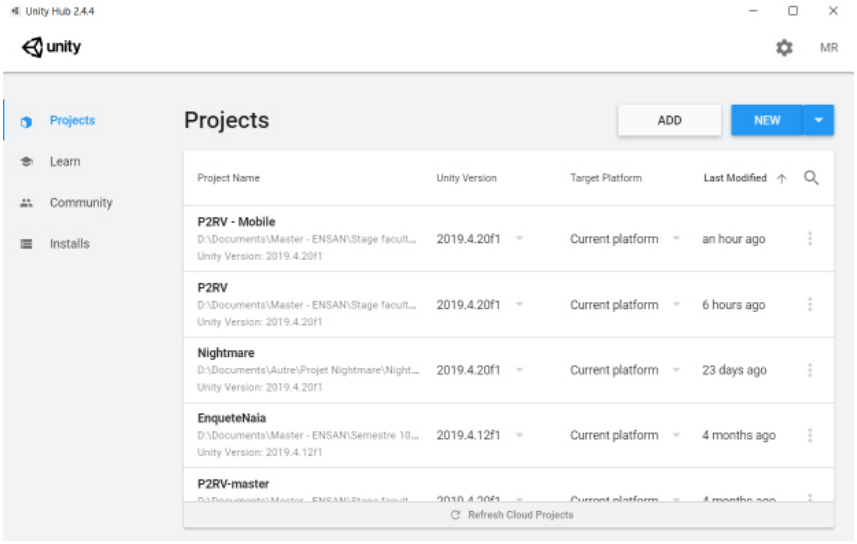


Figure 250 Unity Hub - Liste de Projets.

2.2.2 Unity Editor

Unity Editor est une plateforme de développement en temps réel et un moteur de jeu. C'est à travers cet outil que nous avons développé et utilisé l'application de spatialisation sonore en réalité augmenté.

Nous verrons comment gérer les différents éléments qui composent le projet, les scènes, les scripts, les sons, les animations, etc. et plus tard comment utiliser l'application. (cf. Vidéo : Tuto Unity 2 - Interface Unity).

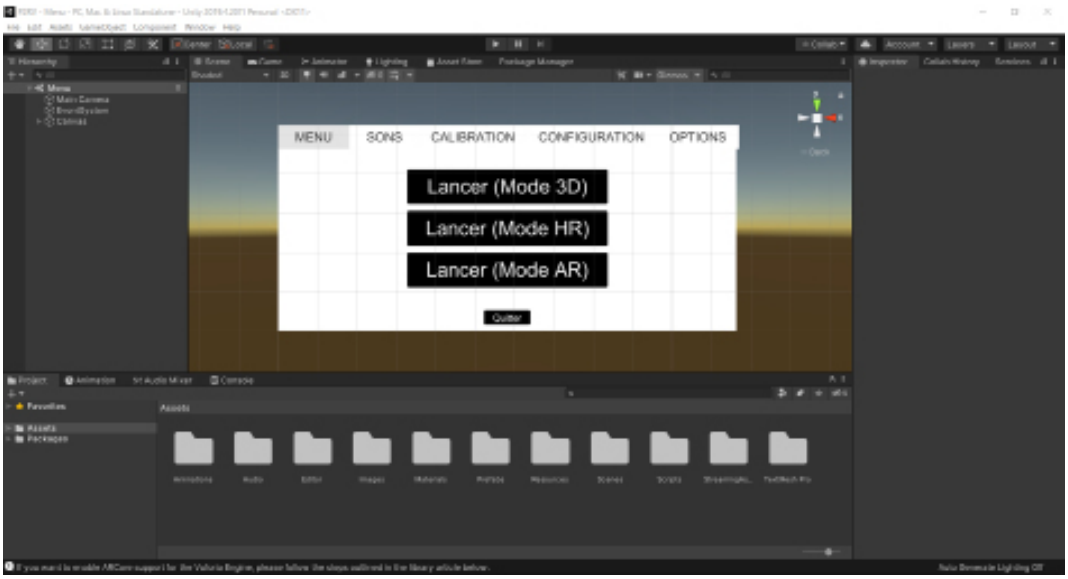


Figure 251 Unity Editor

2.2.2.1 Interface

L'interface de Unity se compose de plusieurs fenêtres. Si une fenêtre est manquante, elle peut être ouverte depuis Window -> choisir la fenêtre à ouvrir. Elle peut ensuite être ancrée à un côté de l'interface en la faisant glisser sur un des bords de l'écran.

On distingue quatre parties principales : Au milieu, on retrouve la fenêtre Scene1 qui présente visuellement tous les éléments présents dans la scène. En bas, Project2 présente les dossiers (Assets) qui contiennent tous les éléments du projet. C'est ici qu'il faut glisser un élément pour l'importer dans le projet. À gauche, la fenêtre Hierarchy3 présente la hiérarchie de tous les éléments présents dans la scène. C'est ici qu'il faut glisser un élément depuis Assets pour l'ajouter à la scène. Enfin à droite, l'Inspector4 donne toutes les informations d'un élément : sa position, ses composants, ses scripts associés, etc.

Tout en haut, le bouton Play5 permet de lancer et d'arrêter le test du programme, et donc de démarrer ou d'arrêter l'application.

2.2.2.2 Collaboration

Pour mettre à jour les modifications du projet, il suffit d'activer la fonction Collab[6]. Pour cela cliquer sur le bouton *Collab -> Start now!*. Après un chargement, le programme recherche sur le cloud s'il y a eu des mises à jour.

Une flèche orange vers le bas indique que des modifications enregistrées sur le cloud sont à télécharger. Cliquer sur *Collab -> Update now!* pour télécharger les derniers changements. Il est aussi possible de voir les différentes mises à jour depuis la fenêtre Collab History.

Une flèche bleue vers le haut indique que des modifications ont été effectuées en local, et qu'elles peuvent être exportées sur le cloud. Il est donc possible de laisser un commentaire et de cliquer sur *Collab -> Publish now!* pour exporter les données sur le cloud. En cas de conflit, il sera possible de choisir entre télécharger les mises à jour du cloud et conserver les modifications locales.

2.2.2.3 Système son

Le système son spatialisé requiert un certain matériel pour pouvoir retranscrire les ambiances sonores avec la norme 5.1 ITU. Nous allons ici détailler comment installer et utiliser ce matériel :

Matériel utilisé :

Un PC (Windows) avec l'application sur Unity, une carte son (AUREON XFire 8.0 HD), un ampli (Yamaha), 5 enceintes, un Subwoofer.

Enceintes & Subwoofer :

- Positionner les 5 enceintes et le Subwoofer selon la norme ITU 5.1.
- Brancher les 5 enceintes avec les câble en cuivre (attention au sens : rouge/noir).
- Brancher l'alimentation du Subwoofer et un câble RCA sur «Line inputs1» : LFE à l'arrière

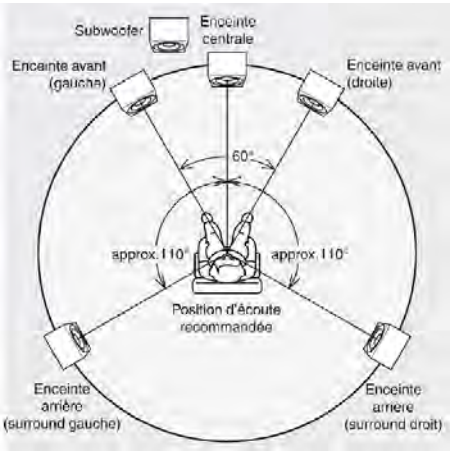


Figure 252 Positionnement des encientes (à gauche) et Subwoofer (à droite).

Ampli Yamaha :

- Brancher les câbles depuis les 5 enceintes sur «Speakers[1]» : Front A (LR) / Center / Surround (LR).
- Brancher les câbles RCA sur «Multi Ch Input[2]» : Front / Surround / Center (Blanc = left / Rouge = right).
- Brancher l'alimentation de l'ampli.
- À l'avant, régler «Input» sur multi channel et «Volume» entre 0 et -20dB.

Figure 253 Ampli Yamaha – Branchement.

Carte son AUREON XFire 8.0 HD :

- Brancher à l'arrière les câbles jack et RCA depuis l'ampli et le Subwoofer[1] : C/SUB / Rear / Front LR.
- Brancher sur le côté le câble USB vers le PC[2].

Figure 254 Carte son AUREON XFire 8.0 HD – Branchement.

PC (Windows) avec Unity :

- Brancher le câble USB depuis la carte son.
- Installer le pilote de la carte son : https://www.terratec.de/media/filer_public/12002-10.zip.
- Pour tester le son : Clic droit sur l'icône de volume dans la barre des tâches -> Son (onglet lecture) -> Hauts-parleurs (AUREON XFIRE8.0 HD) -> clic droit -> Tester ou configurer -> Surround 5.1 -> Tester.
- Si besoin, utiliser l'applications TERRATEC Audio Center pour configurer la carte son.

2.3 Développement

2.3.1 Scènes

Dans Unity, une scène représente une configuration des différents éléments présents en son sein. Il est possible de créer une multitude de scènes, chacune avec les mêmes éléments ou non, et avec des configurations différentes.

Pour notre application, il y a autant de scènes qu'il y a de modes d'exécution (soit 3), plus une pour le menu principal, qui sera la scène 0. Dans chaque scène, il faudra importer toutes les cibles mais il est possible de leur associer des éléments différents selon la scène.

Scene :

La scène par défaut est appelée SampleScene.

Pour créer une scène, clic droit dans *Assets* (dossier Scènes) → *Create* → *Scene* (Figure 255).

Double cliquer sur une scène pour ouvrir une scène.

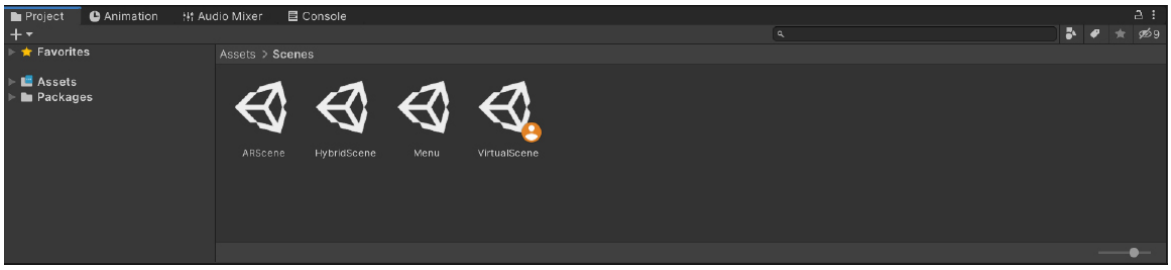


Figure 255 Dossier Scènes.

2.3.2 Sons

Les sons sont un élément essentiel dans la composition d'un jeu-vidéo. Dans notre projet, ils sont au coeur de l'expérience d'immersion sonore spatialisée. Dans Unity, les sons peuvent être associés à n'importe quel objet, et se déclenchent selon les réglages qui leurs sont associés.

AudioListener :

L'*AudioListener* ou «écouteur» correspond au point d'écoute spatialisé dans l'environnement 3D. Il possède une orientation qui permet de distinguer d'où viennent les sons (droite/gauche, devant/derrière) et de percevoir leur proximité selon qu'ils sont joués plus ou moins fort.

C'est un composant qui peut simplement être activé ou désactivé. Il ne peut y avoir qu'un seul AudioListener actif dans une scène.

Figure 256 Audio Listener.

AudioSource :

Un AudioSource est un composant qui permet de jouer un son appelé AudioClip, et de lui appliquer des réglages comme le volume, la portée, la lecture en boucle, etc (Figure 257).

Pour ajouter un son, il faut associer une piste audio à un GameObject en la faisant glisser dans l'Inspector, ou en créant un composant Audio Source et en choisissant la piste audio.

Régler les paramètres du composant Audio Source : Cocher l'option Play on awake pour jouer le son dès qu'il est activé et Loop pour le lire en boucle. Régler le niveau de volume selon les besoins, et le pitch sur 1.

Pour créer un son spatialisé, faire glisser le curseur Spatial Blend sur 3D.

Régler les différents paramètres de 3D Sound Settings comme la distance minimale et maximale de la perception du son par l'Audio Listener selon le point d'origine du GameObject auquel le son est associé.

Il est également possible d'ajouter des sons via l'Audio Manager, se référer à la section Scripts.

Figure 257 Audio Source.

AudioMixers :

Les AudioMixers permettent de lire différents audiosources à travers eux en leur appliquant différents effets. Chaque son intégré est lu à travers un AudioMixer différent dans Unity, et le niveau de cet AudioMixer est réglé avec la valeur renseignée dans l'inputfield Réduction du menu Calibration (voir 2.4.2.4 et Figure 258).

Ainsi, chaque son peut disposer d'un niveau de réduction différent mais subir indépendamment des réglages de volume (individuel ou général).

Figure 258 Fenêtre - Audio Mixers.

ReverbZone :

Une *Reverb Zone* est une zone destinée à simuler une réverbération du son, en prenant en compte différents paramètres sur le comportement du son. Il est possible de régler le diamètre minimum et maximum de la sphère, la réverbération état progressive entre ces deux valeurs. En dehors de la zone, il n'y a pas de réverbération.

Dans le composant, il existe plusieurs preset prédéfinis, mais il est également possible de sélectionner le preset *User* pour régler chaque paramètre manuellement. À partir des valeurs qui seront rentrées dans le menu *Configuration* (voir 2.4.2.5), il sera possible de recréer une zone de réverbération cohérente (Figure 259).

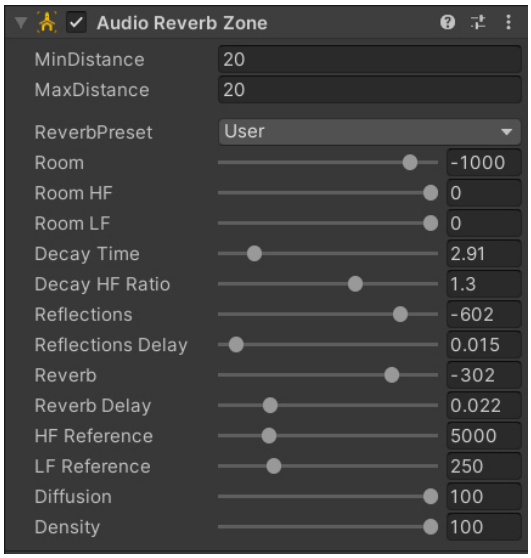


Figure 259 Fenêtre - Audio Reverb Zone.

2.3.3 Animations

Les animations permettent de paramétrer des changements de paramètres au cours d'une durée déterminée. Une animation une fois créée peut-être jouée en boucle, déclenchée à une condition précise ou de l'organiser avec d'autres animations.

Animation :

Pour créer une animation, aller dans *Window → Animation → Animation.*

Sélectionner un élément, de préférence en haut de la hiérarchie, puis cliquer sur Create dans la fenêtre Animation. Enregistrer le fichier d'animation à un endroit voulu, de préférence dans un dossier dédié du projet.

Dans la fenêtre Animation, faire glisser le curseur à un instant voulu (par exemple 0:00).

Cliquer sur le bouton *Keyframe Recording Mode* (rond rouge) pour activer l'enregistrement des modifications.

Faire ensuite varier les propriétés des enfants de l'élément sélectionné pour l'animation, comme la position, la rotation, l'échelle, l'activation ou la désactivation d'un composant etc. Cela crée automatiquement des *Keyframes* sur la timeline, qui peuvent être déplacés dans le temps.

Répéter l'opération à différents instants pour créer une animation. Une fois terminé, cliquer à nouveau sur le bouton *Keyframe Recording Mode* pour désactiver l'enregistrement des modifications.

Il est possible de changer la fluidité des animations en changeant les propriétés des courbes dans la section *Curves*.

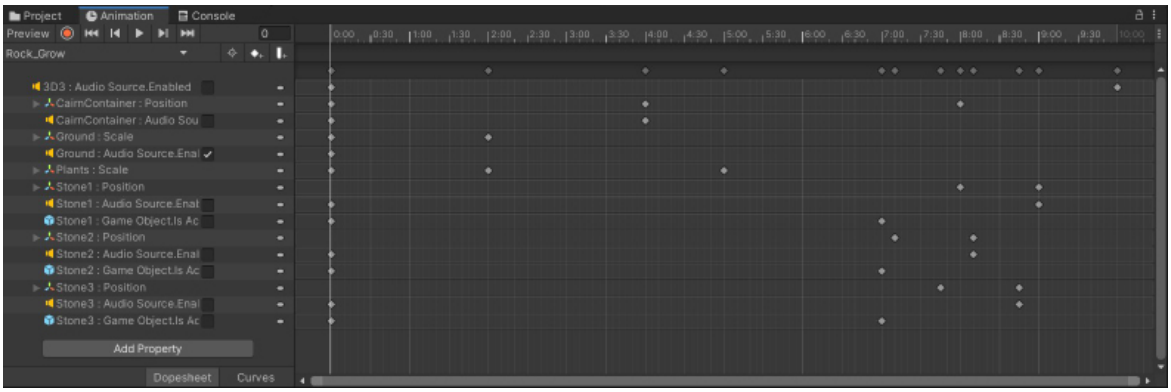


Figure 260 Fenêtre Animation.

Animator :

Une fois plusieurs animations créées pour un même objet, il est possible de les organiser entre elles à l'aide de l'Animator. Pour cela, sélectionner l'élément voulu et aller dans *Window* → *Animation* → *Animator*.

Si elles ne sont pas présentes dans la fenêtre, faire glisser les animations à organiser dedans.

Faire clic droit sur *Entry* → *Set StateMachine Default State* et cliquer sur l'animation à jouer par défaut.

Pour créer une transition, clic droit sur une animation → *Make Transition* et cliquer sur l'animation à jouer ensuite.

En cliquant sur la flèche qui apparaît, il est possible de modifier les paramètres de la transition.

À gauche de la fenêtre, cliquer sur + (bouton plus) → *Trigger* pour ajouter un déclencheur. Le nommer Trigger. Ce déclencheur servira pour le script *My Event Handler* qui l'activera lorsqu'une cible sera révélée.

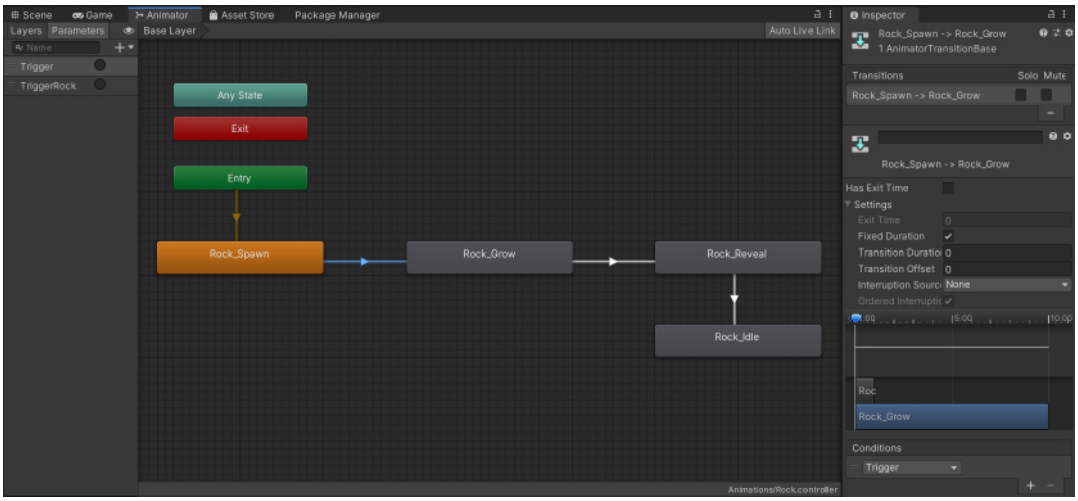


Figure 261 Fenêtre Animator.

2.3.4 Scripts

Les scripts servent à définir des comportement spécifiques en les associant à des *GameObjects*. Dans certains cas, ils sont associés à des *Empty GameObjects*, qui servent uniquement de support de scripts. Leurs usages sont très variés et ils peuvent servir à coder les interactions entre les objets et déclencher des sons ou des animations.

Voici les différents scripts utilisés dans le jeu :

2.3.4.1 Menus

Les scripts de ce dossier concernent tous les éléments gérant les différentes interactions au sein des menus.

Play Menu :

Ce script sert à contrôler les interactions au sein du menu «Play» ou «Menu» (pour ainsi dire, le menu principal). Il permet de changer de scène vers ARScene, HybridScene et 3DScene et de quitter l'application à l'aide d'un bouton.

Il est associé au *GameObject* parent des éléments du menu principal et il y est renseigné l'*AudioMixer* avec lequel le script interagit.

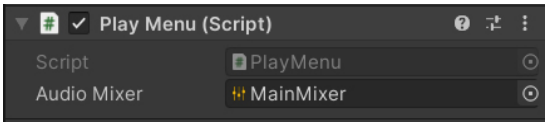


Figure 262 Fenêtre - Play Menu

Object Parameter :

Ce script sert à enregistrer les réglages du prefab ObjectParameter. Il permet d'afficher le numéro de la cible, la liste des sons et des animations, et ainsi de choisir et d'enregistrer chaque réglage (état, son, volume, boucle, intervalle, mouvement, durée, amplitude) selon l'index de l'élément. Il permet également de pré-écouter le son sélectionné avec ses réglages à l'aide d'un Button.

Il est associé au prefab ObjectParameter et il y est renseigné les différents éléments avec lesquels le script interagit.

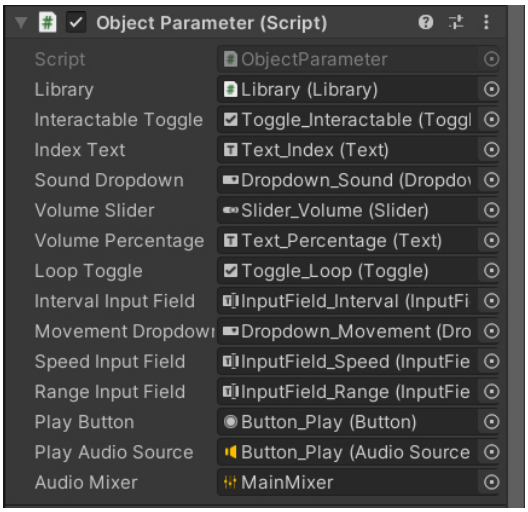


Figure 263 Fenêtre - Object Parameter.

Object List Handler

Ce script sert à instancier le prefab *ObjectParameter* et à contrôler ses interactions. Il permet de gérer la liste des *ObjectParameter* en les instanciant, en enregistrant et chargeant tous leurs réglages de chacun d'entre eux. Il permet également de réinitialiser les réglages de tous les *ObjectParameter* et de stopper tous les sons joués à l'aide de boutons.

Il est associé au parent qui va accueillir toutes les instances d'*ObjectParameter* et il y est renseigné les différents éléments avec lesquels le script interagit, ainsi que le nombre d'éléments à instancier.

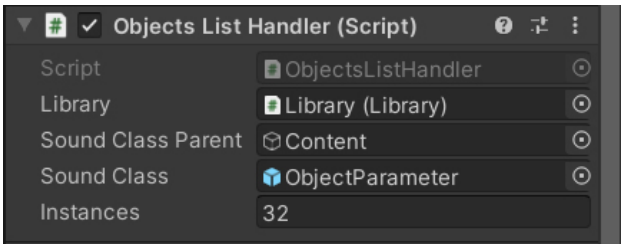


Figure 264 Fenêtre - Object List Handler .

Save Slot

Ce script sert à enregistrer les réglages du prefab *SaveSlot*. Il permet d'afficher le numéro de l'emplacement de sauvegarde, sa description et son état (vide ou affichage de la date et de l'heure du dernier enregistrement) selon l'index de l'élément. Il permet également de charger la configuration de cet emplacement et de le supprimer s'il y en a une à l'aide de boutons.

Il est associé au prefab *SaveSlot* et il y est renseigné les différents éléments avec lesquels le script interagit.

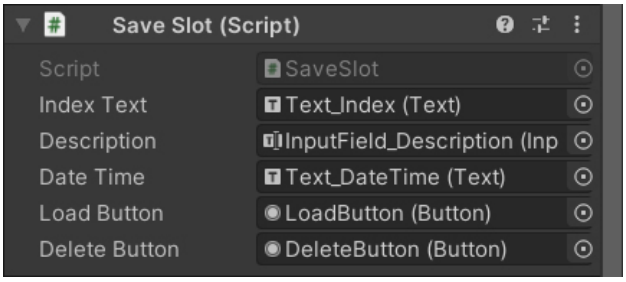


Figure 265 Fenêtre – Save Slot.

Save Manager :

Ce script sert à instancier le prefab *SaveSlot* et à contrôler ses interactions. Il permet de gérer la liste des SaveSlot en les instanciant, en enregistrant et chargeant tous les réglages de chacun d'entre eux. Il permet également de sauvegarder la configuration actuelle et d'afficher un message de confirmation si l'emplacement est déjà utilisé.

Il est associé au parent qui va accueillir toutes les instances de *SaveSlot* et il y est renseigné les différents éléments avec lesquels le script interagit.

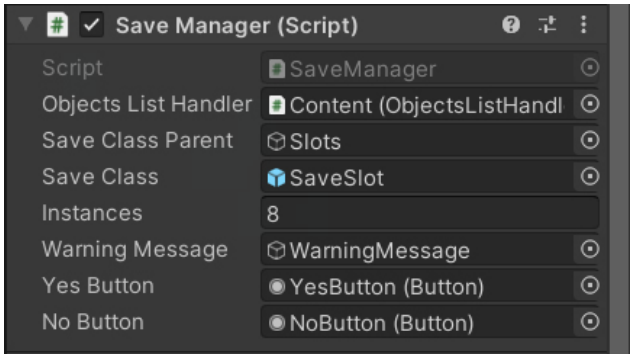


Figure 266 Fenêtre – Save Manager.

Sound Calibration :

Ce script sert à enregistrer les réglages du prefab *SoundCalibration*. Il permet d'afficher le nom du son et sa durée, et d'enregistrer la réduction du son (en dB) selon l'index de l'élément. Il permet également de pré-écouter le son avec sa réduction à l'aide d'un Button.

Il est associé au prefab *SoundCalibration* et il y est renseigné les différents éléments avec lesquels le script interagit.

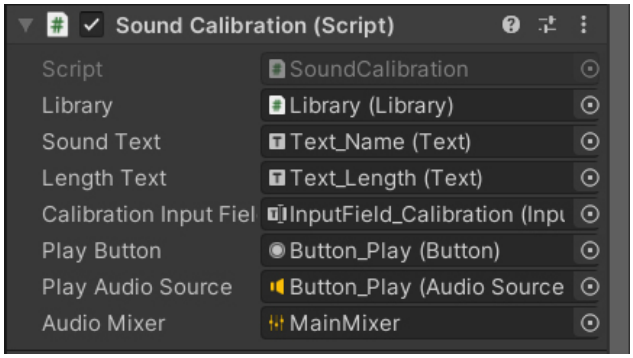


Figure 267 Fenêtre – Sound Calibration.

Sounds List Handler :

Ce script sert à instancier le prefab *SoundCalibration* et à contrôler ses interactions. Il permet de gérer la liste des *SoundCalibration* en les instanciant, en enregistrant et chargeant le niveau de réduction de chacun d'entre eux.

Il est associé au parent qui va accueillir toutes les instances de *SoundCalibration* et il présente les différents éléments avec lesquels le script interagit.

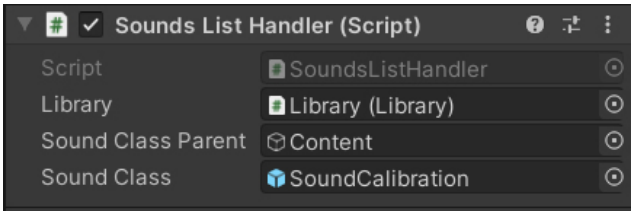


Figure 268 Fenêtre – Sound List Handler.

Configuration Menu :

Ce script sert à contrôler les interactions au sein du menu «Configuration». Il permet d'activer ou non la réverbération (*ReverbZone*) avec un *Toggle*, de choisir un preset à l'aide d'un Dropdown

et pour chacun, d'entrer et d'enregistrer les différentes données de la configuration d'une pièce : nom, longueur, largeur, hauteur, fréquence basse, moyenne et haute dans des InputFields. Puis, à partir de ces données, de calculer et d'afficher différentes valeurs : surface, aire, volume, libre parcours moyen, distance critique, délai de réflexion et de réverbération, qui serviront à paramétrer la ReverbZone. Il est aussi possible de réinitialiser les données d'un preset à l'aide d'un bouton «Réinitialiser».

Il est associé au GameObject parent des éléments du menu « Configuration » et on y trouve les différents éléments avec lesquels le script interagit.

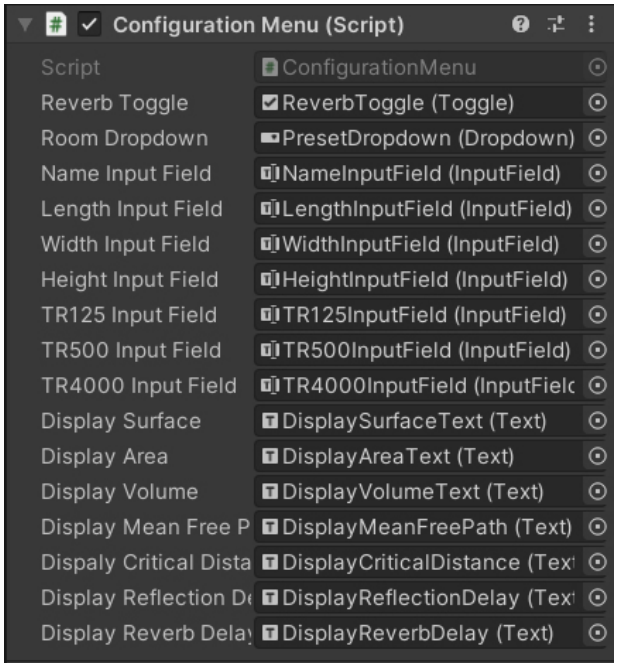


Figure 269 Fenêtre – Configuration Menu (Script).

Options Menu :

Ce script sert à contrôler les interactions au sein du menu «Options». Il permet de choisir la résolution de la fenêtre parmi celles disponibles sur l'appareil avec un Dropdown, d'activer ou désactiver le mode plein écran avec un Toggle, de régler la qualité graphique entre rapide, normale et détaillée avec un Dropdown, et de régler le niveau de volume général avec un Slider. Il est également possible de réinitialiser tous les réglages à l'aide d'un bouton «Réinitialiser».

Il est associé à un GameObject parent des éléments du menu «Options» et il y est renseigné les différents éléments avec lesquels le script interagit.

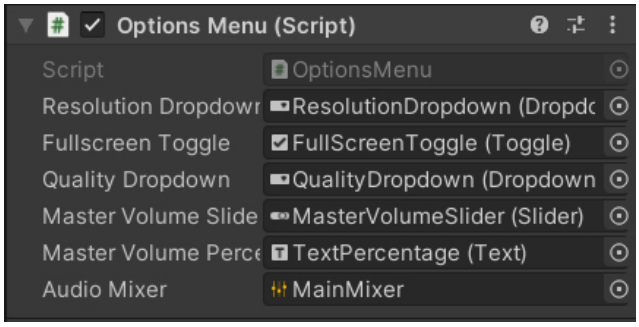


Figure 270 Fenêtre – Options Menu (Script).

2.3.4.2 Save & Load

Les scripts de ce dossier concernent le système de sauvegarde et de chargement des données sur un fichier de sauvegarde (hors *PlayerPrefs*)

Configuration Data :

Cette classe représente les données des configurations. Elle permet d'enregistrer l'état (interactable ou non), le son, le volume, la fonction boucle, l'intervalle, le mouvement, la vitesse, l'amplitude et l'index d'une configuration, à partir des données exportées par ObjectParameter dans *ObjectListHandler*.

Elle n'est associée à aucun élément.

Save Slot Data :

Cette classe représente les données des emplacements de sauvegarde. Elle permet d'enregistrer une liste de configurations (ConfigurationData), l'état (vide ou non), l'index, une description ainsi que l'heure et la date d'un emplacement de sauvegarde, à partir des données exportées par *SaveSlot* dans *SaveManager*.

Elle n'est associée à aucun élément.

Save System :

Cette classe sert à enregistrer et charger les données dans ou à partir d'un fichier de sauvegarde. Elle permet de sauvegarder ou de charger une liste d'emplacement de sauvegarde (*SaveSlotData*) dans ou à partir d'un fichier de sauvegarde crypté (langage binaire) situé dans un chemin d'accès permanent de l'application.

Elle n'est associée à aucun élément.

2.3.4.3 Movements

Les scripts de ce dossier servent à exploiter les données de vitesse et d'amplitude pour les différentes animations.

Movement :

Cette classe sert de référence à tous les Movement. Elle sert à déclarer les comportements communs à tous les Movement.

Elle n'est associée à aucun élément.

Static :

Ce script sert à exploiter les données de vitesse et d'amplitude pour l'état Static.

Il n'est associé à aucun élément.

Linear :

Ce script sert à exploiter les données de vitesse et d'amplitude pour l'animation Linear. Il permet d'activer et de modifier la vitesse et l'amplitude de cette animation à partir des valeurs renseignées

dans *ObjectParameter*.

Il n'est associé à aucun élément.

Circular :

Ce script sert à exploiter les données de vitesse et d'amplitude pour l'animation *Circular*. Il permet d'activer et de modifier la vitesse et l'amplitude de cette animation à partir des valeurs renseignées dans *ObjectParameter*.

Il n'est associé à aucun élément.

Random :

Ce script sert à exploiter les données de vitesse et d'amplitude pour l'animation Random. Il permet d'activer et de modifier la vitesse et l'amplitude de cette animation à partir des valeurs renseignées dans *ObjectParameter*.

Il n'est associé à aucun élément.

2.3.4.4 VirtualScene

Les scripts de ce dossier concernent tous les éléments utilisés dans les scènes virtuelles (3DScene, HybridScene et ARScene).

Sound Manager :

Ce script sert à instancier et régler les prefabs *CubeSound* (objets virtuels) dans les scènes 3DScene, HybridScene et *ARScene*. Il permet de renseigner à chaque prefab *CubeSound* les réglages renseignés dans *ObjectParameter* (son, volume, fonction boucle, intervalle, mouvement, durée et amplitude). Il permet d'appliquer le son et le niveau de volume correspondant et de régler chaque objet sonore sur le bon *AudioMixer*. Il permet également de régler la *ReverbZone* à partir des valeurs récupérées dans le menu Configuration.

Il est associé au prefab *SoundManager* et il y est renseigné les différents *GameObject* avec lesquels le script interagit, dont la *ReverbZone* de chaque scène.

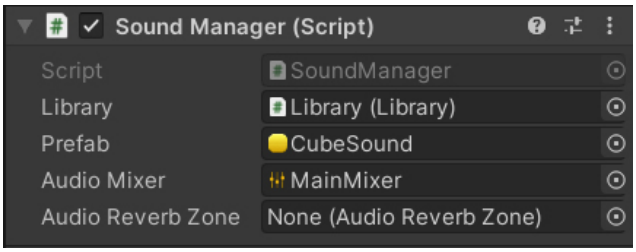


Figure 271 Fenêtre – Sound Manager (Script).

Virtual Object :

Ce script sert à appliquer les réglages sur un objet sonore. Il sert à jouer les sons et les animations du prefab *CubeSound* en lui appliquant les réglages indiqués par le *SoundManager*. Il permet également de régler la distance maximale de la portée du son.

Il est associé au prefab *CubeSound*.

Height Adapter :

Ce script sert à régler le recul des éléments de la scène. Il permet de rapprocher ou d'éloigner les éléments à l'aide d'un *Slider* pour calibrer la distance par rapport à la caméra grâce à un repère de 30cm, qu'il est possible d'activer ou désactiver avec un *Toggle*.

Il est associé à un *GameObject* de la scène *HybridScene* et il y est renseigné les différents GameObject avec lesquels le script interagit.

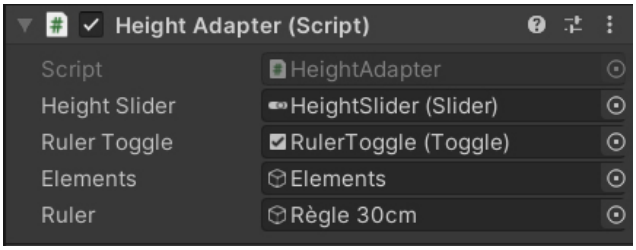


Figure 272 Fenêtre – Height Adapter (Script).

Drag Object :

Ce script sert à déplacer des objets avec la souris. Il permet de déplacer un objet dans l'espace 3D à l'aide du pointeur de la souris, et d'enregistrer sa position entre les scènes. Il est possible de renseigner les coordonnées XYZ de la position par défaut.

Il est associé aux *GameObject* targets des scènes 3DScene et *HybridScene* et il y est renseigné les coordonnées par défaut de chaque élément.

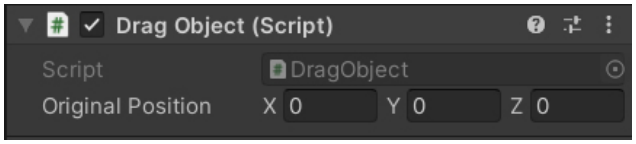


Figure 273 Fenêtre – Drag Object (Script).

Reset Position :

Ce script sert à réinitialiser la position des objets possédant *DragObject*. Il permet de remettre chaque target possédant *DragObject* à son emplacement par défaut selon les coordonnées qui y sont renseignées.

Il est associé au *GameObject* parent des targets possédant *DragObject* (dans les scènes 3DScene et *HybridScene*).

Rotation :

Ce script sert à faire faire une rotation à un objet. Il permet d'effectuer une rotation le long de l'axe Y d'un objet en appuyant sur les flèches de gauche et droite.

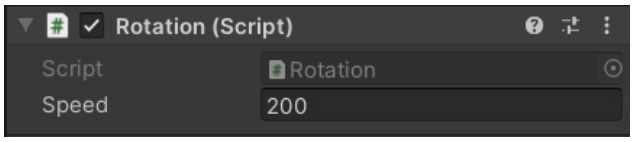


Figure 274 Fenêtre – Rotation (Script).

Third Person Movement :

Ce script sert à contrôler les mouvements d'un personnage dans un espace en 3 dimensions. Il

permet de gérer la position au sol, les mouvements orientés grâce aux touches fléchées ou aux touches ZQSD, les sauts et la gravité.

Il est associé au prefab Player.

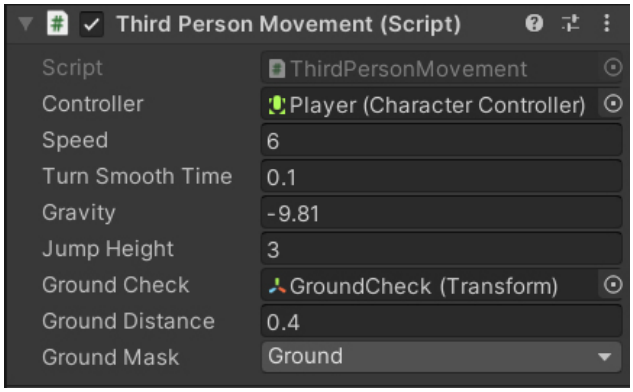


Figure 275 Fenêtre – Third Person Movement (Script).

My Trackable Event Handler :

Ce script se base sur le *DefaultTrackableEventHandler* de *Vuforia*. Il sert à afficher ou non l'objet sonore et à le rendre muet ou non selon le statut de la cible à laquelle il est associé (perdue, détectée, trackée).

Il est à associer à toutes les cibles ImageTarget et il faut désactiver le script DefaultTrackableEnventHandler pour le remplacer.

Pause Menu :

Ce script sert à mettre la scène en pause. Il permet d'arrêter l'image et le son et de les relancer avec un bouton ou en appuyant sur la touche échap, ainsi que de retourner au menu principal à l'aide d'un bouton.

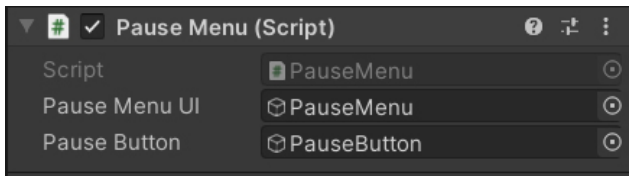


Figure 276 Fenêtre – Pause Menu (Script).

Change Listener :

Ce script sert à faire basculer le point d'écoute entre la caméra et la cible de l'AudioListener dans la scène ARScene. Il permet d'intervertir l'activation de l'AudioListener de chaque élément et de changer le nom du bouton pour pouvoir savoir sur lequel il est réglé.

Il est associé au bouton lui-même.

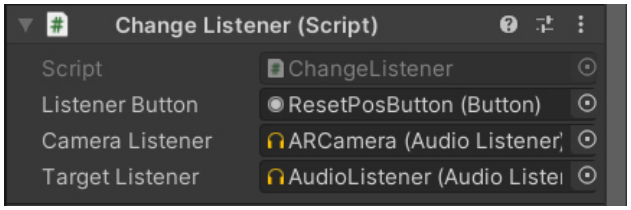


Figure 277 Fenêtre – Change Listener (Script).

2.3.4.5 Autres

Library :

Ce script sert de référence commune pour les images, les sons et les animations. Il permet de renseigner des images, des sons et des animations dans des listes communes qui pourront être utilisées par différents scripts.

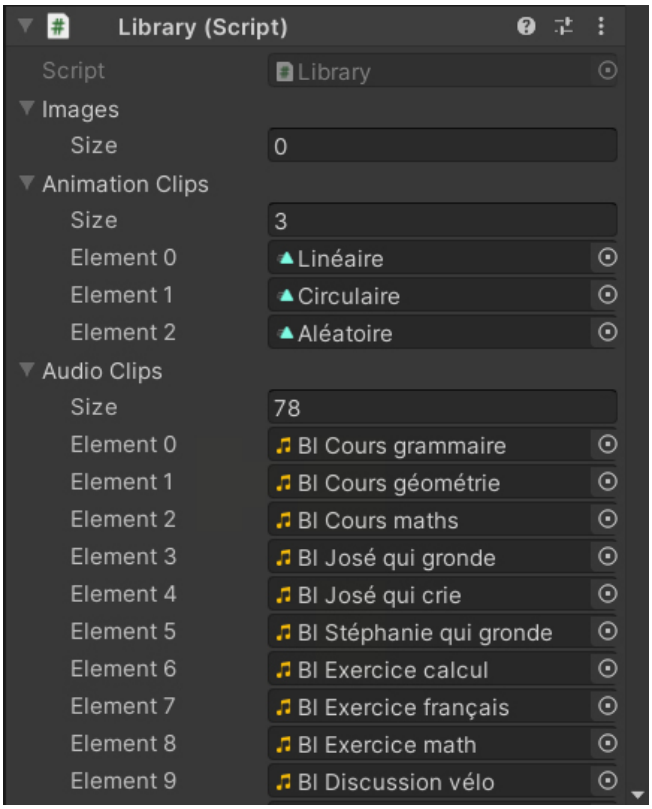


Figure 278 Fenêtre – Library (Script).

Rename :

Ce script sert à renommer l'objet auquel il est associé par le nom du son (*AudioClip*) joué par l'*AudioSource*.

Il est associé au prefab *CubeSound*.

Obsolete :

Les scripts de ce dossier sont obsolètes et ne sont pas exploités dans l'application

2.3.5 Prefabs

Les prefabs sont des *GameObjects* qui ne font pas nécessairement partie des scènes dans Unity, mais qui conservent des propriétés à la manière des *Blocs* dans *AutoCad* ou des *Composants* dans *Sketchup*. Ces composants sont utiles pour être générés sur demande, comme les cubes sonores instanciés sur les cibles ou les lignes de paramètres instanciés dans le menu Sons, ou bien pour regrouper des informations communes. Par exemple, le prefab *Library* contient la liste de tous les sons et des animations qui sont ensuite utilisées par les lignes de paramètres de son, de calibration ou les cubes sonores.

Library :

Ce prefab sert simplement de support pour le script *Library*. Il regroupe tous les composants communs qui seront appelés par différents scripts, telle une bibliothèque de références. Il contient simplement une liste de tous les sons utilisés, une liste des animations utilisées et une liste d'images utilisées.

Ce prefab est utilisé par d'autres scripts ayant besoin des listes de références (images, sons, animations).

Object Parameter :

Ce prefab représente une ligne de réglages d'une cible. Il s'agit d'un élément d'interface qui contient : un *Toggle* qui pourra activer ou désactiver la cible, un texte qui indiquera le numéro de la cible, un *Dropdown* qui affichera la liste des sons, un Slider qui indiquera le niveau du volume, un *Toggle* qui activera la fonction boucle, un Inputfield qui indiquera la durée de l'intervalle, un *Dropdown* qui affichera la liste des mouvements, 2 *Inputfields* qui indiqueront la durée et l'amplitude de l'animation et un bouton qui permettra de pré-écouter le son avec tous ces réglages (Figure 279).

Ce prefab est instancié sous forme de liste par *ObjectListHandler.*

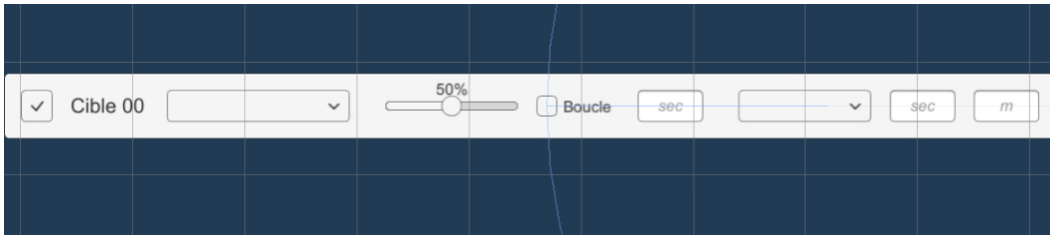


Figure 279 Réglage de cible – Objet Parameter.

Save Slot :

Ce prefab représente une ligne d'un emplacement de sauvegarde. Il s'agit d'un élément d'interface qui contient : un texte qui indiquera le numéro de l'emplacement, un *InputField* qui permettra d'entrer une description, un texte qui indique si l'emplacement est vide, ou alors la date et l'heure de la dernière sauvegarde et trois boutons qui permettront de sauvegarder, charger ou supprimer une configuration (Figure 280).

Ce prefab est instancié sous forme de liste par SaveManager.

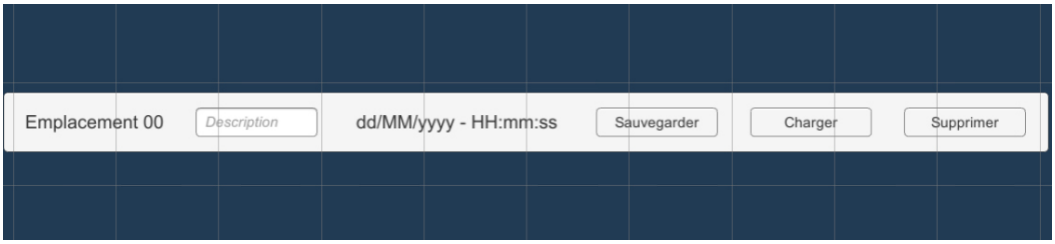


Figure 280 Ligne de sauvegarde – Save Slot.

Sound Calibration :

Ce prefab représente une ligne d'un son et sa réduction en dB. Il s'agit d'un élément d'interface qui contient : deux textes qui indiqueront le nom du son et sa durée, un Inputfield pour renseigner le

niveau de réduction sonore en dB et un bouton pour pré-écouter le son avec le niveau de réduction appliqué (Figure 281).

Ce prefab vise à être instancié sous forme de liste par *SoundsListHandler*.

Figure 281 Ligne de son et sa réduction – Sound Calibration.

Sound Manager :

Ce prefab sert simplement de support pour le script *SoundManager*. De ce fait, il peut être modifié directement par les réglages indiqués dans les menus Sons et Calibration.

Ce prefab est placé dans chaque scène de jeu (3DScene, HybridScene et ARScene).

Reverb Zone :

Ce prefab sert simplement de support pour le composant *ReverbZone*. De ce fait, il peut être modifié directement par les réglages indiqués dans le menu Configuration.

Ce prefab est placé dans chaque scène de jeu (3DScene, HybridScene et ARScene).

Player :

Ce prefab est un objet 3D qui matérialise l'*AudioListener*. Il s'agit d'un personnage dont la tête montre l'orientation de l'écoute. Il peut être déplacé dans l'espace grâce aux touches directionnelles (Figure 282).

Ce prefab est placé dans la scène 3DScene.

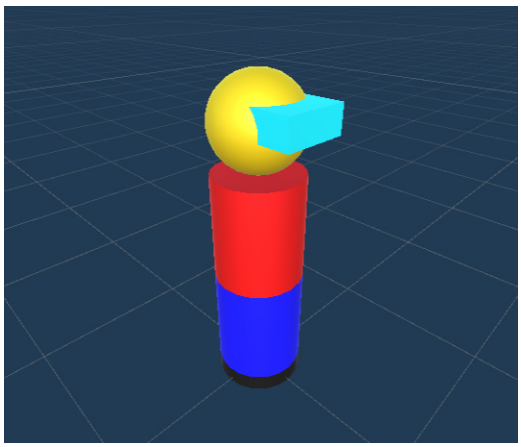


Figure 282 Personnage – Audio Listener.

Cube Sound :

Ce prefab est un objet 3D qui matérialise les sons générés dans l'application. Il s'agit d'un cube jaune qui comprend un composant AudioSource et un composant Animation, ceux-ci étant renseignés lors de la génération de chaque prefab par le SoundManager (Figure 283).

Ce prefab est instancié sur chaque cible (*GameObject* target ou *ImageTarget*) avec les réglages qui lui ont été appliqués.

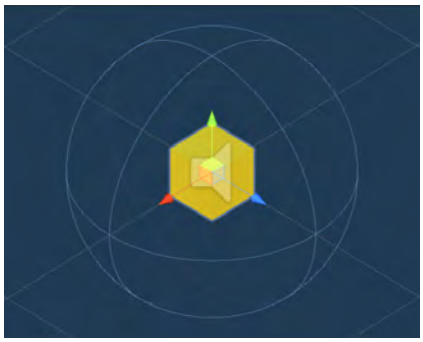


Figure 283 Cube Sound.

2.4 Utilisation

2.4.1 Cibles

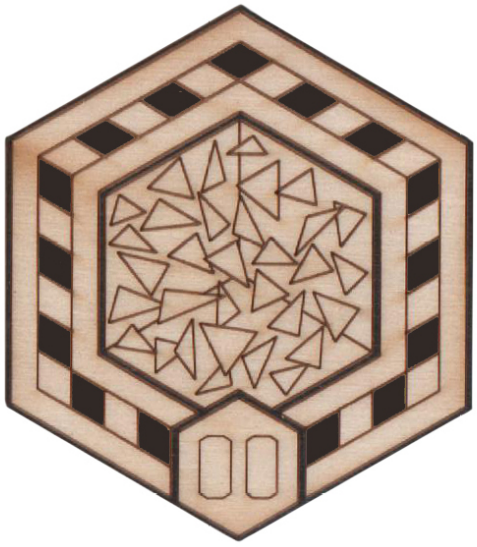
Les cibles sont des éléments physiques en 2D qui vont être détectées par le plug-in Vuforia dans l'application et sur lesquelles vont être ajotés des éléments -visuels ou sonores en réalité augmentée.

Elles ont été designées à partir du module de conception des VuMarks, qui est un système de cible particulier de Vuforia permettant de générer de nombreuses cibles semblables à partir d'un paterne comportant des éléments pleins ou vides afin de les différencier à la manière d'un QR code.

Les cibles ont été déclinées en 32 + 1 éléments afin de pouvoir générer autant de sons différents lors de l'utilisation de l'application. Au-delà, il devient difficile d'identifier plus de sons.

Les cibles ont été découpées et gravées sur du bois contreplaqué de 3mm, puis coloriées à la main (Figure 284). Avec ces objets, il est ainsi facile pour les enfants de manipuler les cibles et de les déplacer comme dans un jeu de société, tout en faisant en sorte que Vuforia puisse détecter et différencier chacune d'entre elles. La numérotation permet aux usagers de retrouver les cibles en particulier.

2.4.2 Menus



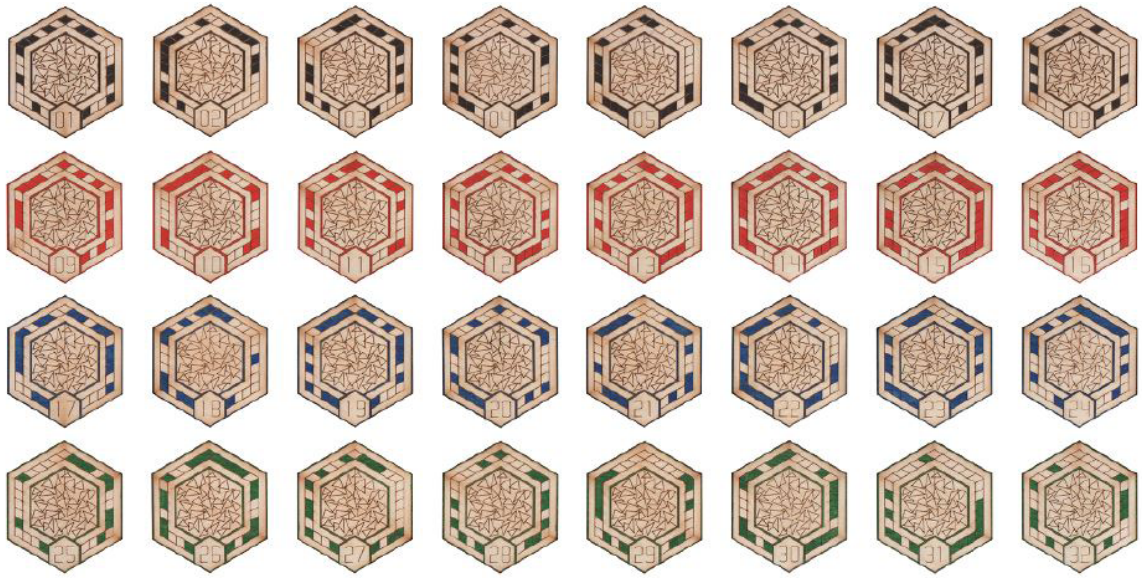


Figure 284 Cibles utilisés.

Les menus sont la première interface rencontrée lors du lancement de l'application. Il y a 5 menus, chacun ayant une utilité spécifique sur les réglages des sons ou de l'environnement sonore qui seront générés dans les différents modes d'exécution. (cf. Vidéo : Tuto Unity 3 - Application).

2.4.2.1 Menu principal

Le menu principal comporte trois boutons qui renvoient à des modes d'exécutions différents. Le premier lance le Mode 3D, le second lance le *Mode HR* (hybride) et le troisième lance le Mode AR (réalité augmentée) (Figure 285).

Le bouton Quitter permet tout simplement de quitter l'application (ne fonctionne pas dans l'editor).

En haut de l'interface, d'autres boutons permettent de naviguer entre les différents menus de l'application.

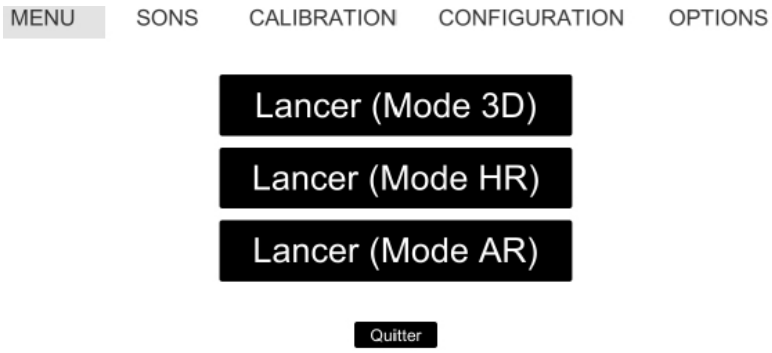


Figure 285 Fenêtre – Menu principal.

2.4.2.2 Menu Options

Le menu «*Options*» sert à modifier les paramètres généraux de l'application. On retrouve un *inputfield* **Résolution** permettant de choisir la résolution de la fenêtre, un *toggle* Plein écran permettant d'activer ou non le mode plein écran, un inputfield **Qualité** pour sélectionner le niveau

de qualité graphique de l'application (Rapide, Normale, Détaillée) et enfin un slider **Volume** pour régler le niveau du volume principal (Figure 286).

À noter que certains réglages tels que la résolution et le mode plein écran ne sont pas applicables dans l'exécution du programme par Unity, mais seulement avec une version indépendante (*build*).

Le bouton Par défaut permet de remettre les paramètres à leur valeur par défaut.

Figure 286 Fenêtre – Menu Option.

2.4.2.3 Menu Sons

Le menu «Sons» sert à associer un son et différents réglages (volume, répétition, mouvement) à une cible spécifique. On retrouve donc une liste de lignes de paramètres (une ligne[1] par cible). Chaque ligne de paramètres comporte un *Toggle* permettant d'activer/utiliser la cible ou non, le numéro de la cible en question, un *Dropdown Son* avec la liste des sons intégrés à l'application, un slider Volume permettant de régler le niveau de volume du son, un *toggle* Boucle permettant d'activer la fonction boucle pour lire le son en continu accompagné d'un *inputfield* Intervalle pour indiquer la durée d'intervalle en seconde entre les lectures, puis un *dropdown* **Mouvement** avec une liste de mouvements à appliquer au son (Statique, Linéaire, Circulaire, Aléatoire) ainsi que deux *inputfields* **Durée** et **Distance** pour renseigner la durée du mouvement en secondes et son amplitude en mètres (relatif à l'échelle de la maquette) ; par exemple, pour un mouvement linéaire de durée 5 et de distance 2, le son fera un aller-retour de 20cm (= 2m à l'échelle 1/10[e]) en 5 secondes. Enfin un bouton Play permet de lire le son et de pré-écouter les réglages appliqués (Figure 287).

En dessous de cette liste, le bouton Réinitialiser permet de remettre tous les paramètres de toutes les lignes à 0, et le bouton Stop permet de stopper tous les sons en train de jouer.

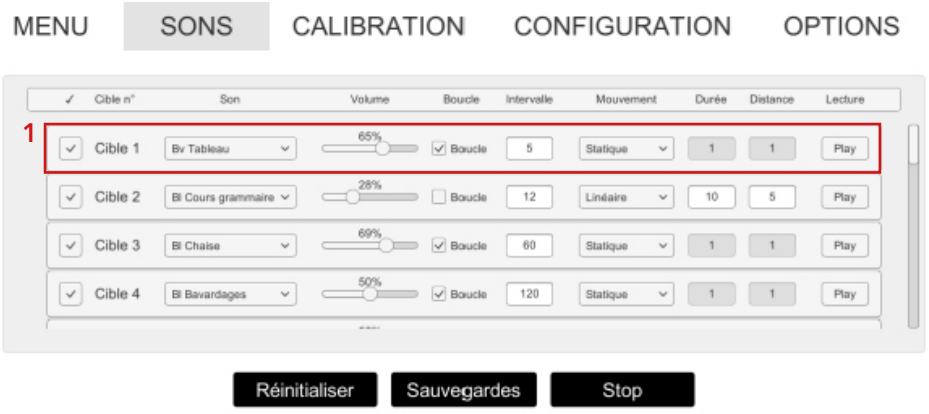


Figure 287 Fenêtre – Menu Sons.

Le bouton **Sauvegardes** permet d'accéder à un sous-menu dans lequel il est possible de sauvegarder, charger ou supprimer jusqu'à 8 (ou plus si besoin) emplacements de sauvegarde. Ces sauvegardes sont pratiques pour enregistrer différentes configurations sonores. Les réglages de chaque cible sont alors enregistrés dans un fichier de sauvegarde situé dans un chemin d'accès permanent de l'application (*PersistentDataPath*).

Chaque ligne[1] d'emplacement de sauvegarde comporte le numéro de l'emplacement, un *inputfield* **Description** permettant de nommer la sauvegarde, un texte indiquant si l'emplacement est vide et le cas échéant, la date et l'heure de la dernière sauvegarde, et enfin trois boutons pour **Sauvegarder**, **Charger** ou **Supprimer** l'emplacement de sauvegarde. À noter que si on tente de sauvegarder un emplacement déjà utilisé, un message de confirmation s'affiche pour s'assurer de ne pas écraser un emplacement de sauvegarde par mégarde (Figure 288).

Le bouton Retour sert simplement à revenir à la liste des sons.

Figure 288 Fenêtre – Menu Sons (emplacement).

2.4.2.4 Menu Calibration

Le menu «Calibration» présente la liste des sons sur lesquels on va pouvoir appliquer une réduction sonore calculée d'après la valeur RMS dans **Audacity** lors de la normalisation des sons, afin de les calibrer à un niveau cohérent (Figure 289).

On retrouve donc une liste de lignes[1] comportant chacune : le nom du son en question, sa durée en secondes (arrondi au centième), un inputfield **Réduction** pour renseigner sa réduction en décibels (nombre entier) et un bouton **Play** pour écouter le son avec la réduction appliquée.

En dessous de cette liste, le bouton **Réinitialiser** permet de remettre le niveau de réduction de chaque son à 0.

Figure 289 Fenêtre – Menu Calibration.

2.4.2.5 Menu Configuration

Le menu «Configuration» sert à renseigner des valeurs concernant l'espace sonore étudié afin de recréer des effets de réverbération similaires dans la simulation.

On retrouve deux colonnes distinctes. Dans la première[1], on a un *dropdown* Preset qui sert à sélectionner une configuration de salle. On peut créer jusqu'à 4 presets (pré-réglages) différents (ou plus si besoin), plus le preset «Generic» qui correspond en fait à une configuration par défaut. Après avoir sélectionné un preset, on a une série d'inputfields qui permettent de renseigner : un Nom pour la salle, ses dimensions en mètres (Longueur, Largeur et Hauteur en nombres décimaux) ainsi que ses fréquences basses, moyennes et hautes en hertz (TR 125 Hz, TR 500 Hz et TR 4000 Hz en nombres décimaux) (Figure 290).

Dans la deuxième colonne[2], on retrouve d'abord un *toggle Reverb* permettant d'activer ou non la réverbération dans la scène. À partir des valeurs renseignées dans la première colonne, le programme calcule et affiche différentes données : la surface au sol de la pièce et sa surface totale (aire) en m^2, son volume en m^3, le libre parcours moyen du son et la distance critique en mètres, et les délais de réflexion et de réverbération en seconde (arrondis à 10-6). Les valeurs ainsi calculées sont appliquées dans les réglages de réverbération dans la scène (Figure 290).

Le bouton Réinitialiser permet de remettre tous les paramètres du preset actuel à 0.

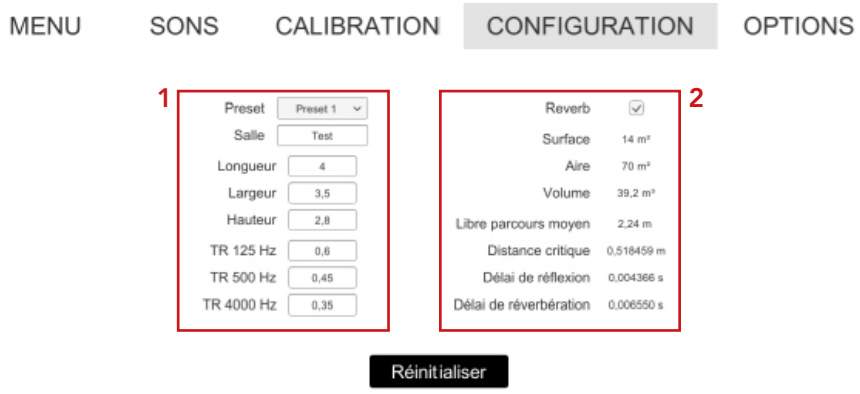


Figure 290 Fenêtre – Menu Configuration.

2.4.3 Modes d'exécution

Il y a 3 modes d'exécution différents, chacun répondant à un besoin particulier. La génération des sons dans la scène est la même dans chacun des modes, mais leur utilisation diffère. Certains se basent sur des espaces virtuels alors que d'autres reposent sur l'environnement réel filmé avec la caméra, parfois les cibles sont virtuelles et se contrôlent depuis l'écran, et d'autres elle se basent sur la détection de cibles physiques avec la réalité augmentée.

Chaque scène contient des cibles, sur lesquelles les sons vont être générés, et un audiolistener qui est le point d'écoute. Chaque son ainsi généré va être spatialisé, c'est à dire que son intensité et son émission dépendra de sa position par rapport à l'*audiolistener.* Par exemple, si un son se rapproche à gauche de l'audiolistener, on entendra le son du côté gauche de plus en plus fort. (cf. Vidéo : Tuto Unity 4 - Modes de jeu).

2.4.3.1 Mode 3D

Le premier mode est un mode 3D, qui est une version simplifiée du mode AR (réalité augmentée) pour tester rapidement le fonctionnement et les réglages. La génération des objets sonores fonctionne exactement de la même façon sur les trois modes (Figure 291).

On retrouve des carrés de couleurs[1] qui font office de cibles virtuelles. Ils peuvent être déplacés dans l'espace en cliquant et en glissant avec la souris. Il y a également un personnage[2] au milieu de la pièce. Il s'agit du listener (écouteur), qui est le point d'écoute, celui depuis lequel les sons vont être perçus. Il est possible de déplacer le listener à l'aide de touches ZQSD ou des flèches directionnelles du clavier.

Chaque son associé à une cible est matérialisé par un petit cube jaune[3], qui représente le point d'origine de l'émission de chaque son. On retrouve un bouton Pause qui permet de stopper la scène et de la relancer, un bouton **Replacer** qui permet de replacer les cibles à leur position d'origine et le bouton **Menu** pour revenir au menu principal. La fonction pause est également accessible en appuyant sur la touche Esc (échap) du clavier.

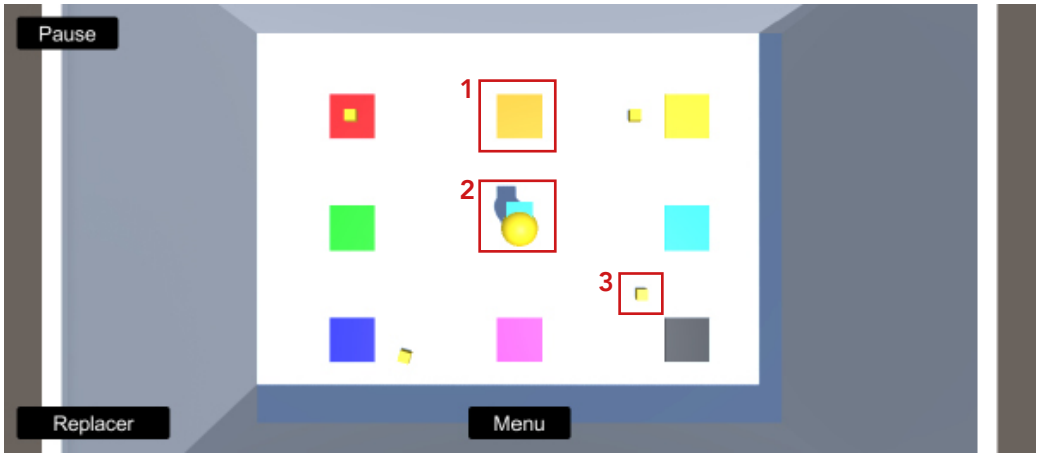


Figure 291 Fenêtre – Mode 3D.

2.4.3.2 Mode HR

Le second mode est un mode hybride, qui exploite les systèmes des deux autres scènes : d'un côté le déplacement des cibles virtuelles sur l'écran (Mode 3D) et de l'autre, l'affichage de l'environnement réel avec la caméra (Mode AR). Cependant, on n'utilise pas la détection de cibles. Le but est uniquement d'avoir un repère physique en temps réel pour pouvoir placer les cibles aux bons emplacements (Figure 292).

On peut donc observer l'environnement grâce à la caméra. Comme dans le mode 3D, on retrouve les cibles (de 1 à 32) que l'on peut déplacer avec la souris et un personnage faisant office de point d'écoute, à déplacer également.

On retrouve un *slider* Zoom qui permet de régler la distance d'affichage des éléments pour qu'ils correspondent à la distance du sol par rapport à la caméra. Il est possible d'activer un repère de 30cm[1] à l'aide d'un *toggle* **Repère**. Ce repère sert à calibrer la distance d'affichage en le comparant à une règle de 30cm. Il peut aussi être déplacé avec la souris. On retrouve également les mêmes boutons **Pause**, **Replacer** et **Menu** que dans la scène 3D.

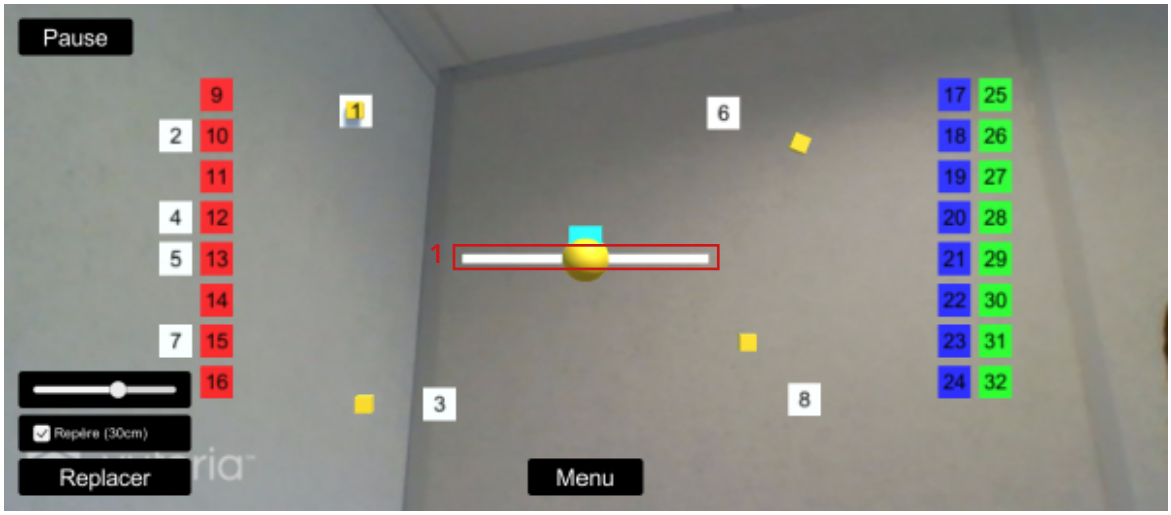


Figure 292 Fenêtre – Mode HR.

2.4.3.3 Mode AR

Le mode AR est un mode en réalité augmentée pour exploiter l'application dans un environnement physique plutôt que virtuel. Le mode AR utilise la caméra pour filmer l'environnement et détecter des cibles qui auront préalablement été désignées et intégrées dans le *plugin* **Vuforia**. Contrairement au mode 3D, pour pouvoir bouger les sons et le *listener* dans l'espace, il faut déplacer les cibles manuellement, ce qui rend la manipulation plus pédagogique, avec la possibilité de l'intégrer dans un espace réel comme une maquette par exemple (Figure 293).

Lorsqu'une cible rentre dans le champ de la caméra, elle peut être détectée et reconnue par le programme qui va alors générer l'objet sonore qui lui a été associé. Quand la cible n'est plus détectée ou qu'elle sort du champ de la caméra, elle est «perdue» et le son associé est coupé. Par défaut, le point d'écoute est associé à la caméra, ce qui signifie que l'émission des sons joués dépend de la position des cibles par rapport à la caméra, mais il est possible de changer le point d'écoute sur la cible 00[1] qui contient un personnage comme dans les autres scènes.

On retrouve les boutons Pause et Menu des précédentes scènes, ainsi que le bouton Caméra/ Cible qui permet de faire basculer le point d'écoute entre la caméra et la cible 00 associée à l'*audiolistener*.

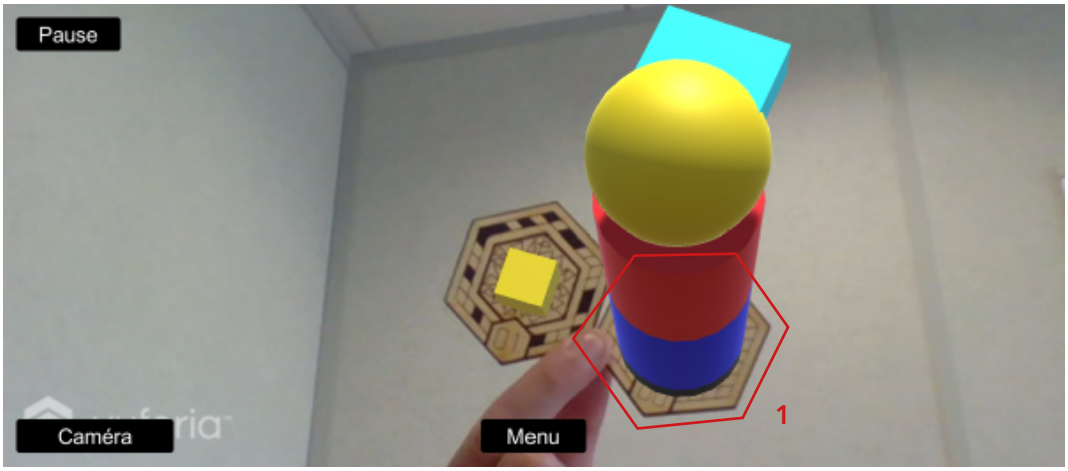
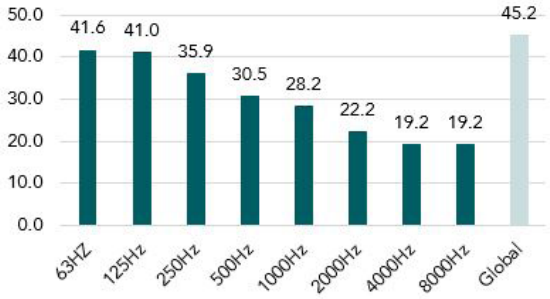


Figure 293 Fenêtre – Mode AR.

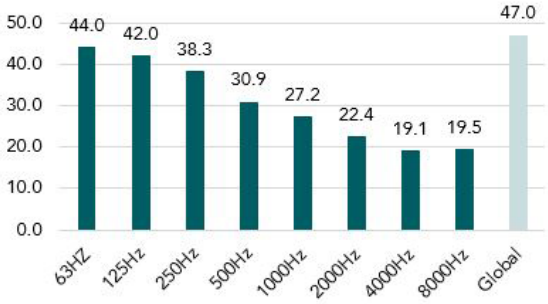
Annexe 3. Mesures in situ

3.1 Niveaux de bruit fond par bande d'octave

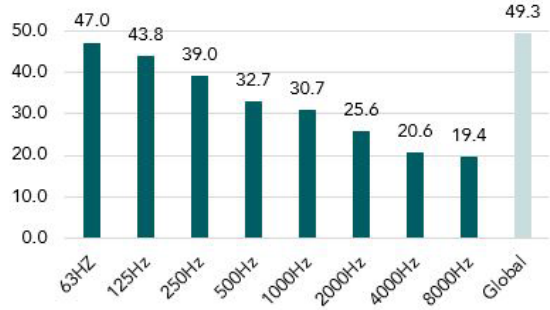
3.1.1 École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44



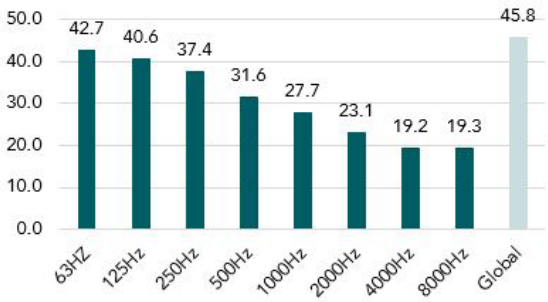
Classe 3 - Niveaux par bande et niveau global en dB(A).



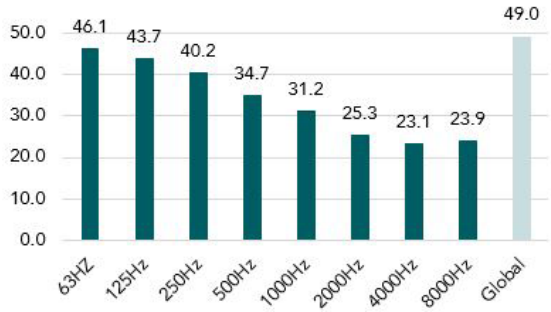
Classe 4 - Niveaux par bande et niveau global en dB(A).



Classe 5 - Niveaux par bande et niveau global en dB(A).

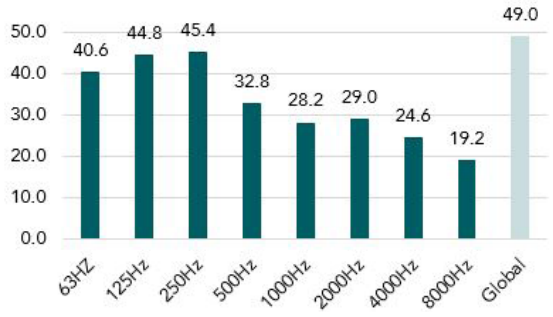


Classe 6 - Niveaux par bande et niveau global en dB(A).

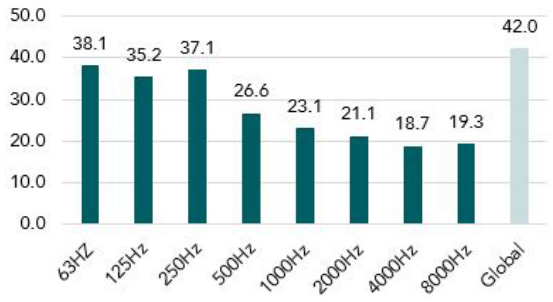


Classe 7 - Niveaux par bande et niveau global en dB(A).

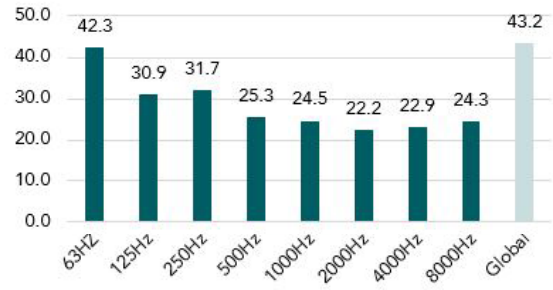
3.1.2 École publique les Lucioles – Baulon 35



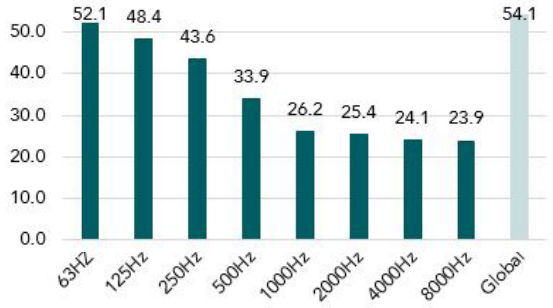
Classe 1 Meublée - Niveaux par bande et niveau global en dB(A).



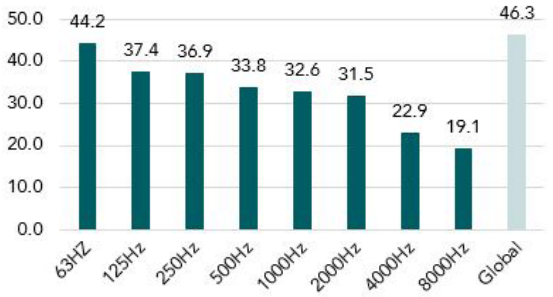
Classe 2 Meublée - Niveaux par bande et niveau global en dB(A).



Classe 3 Pas meublée - Niveaux par bande et niveau global en dB(A).

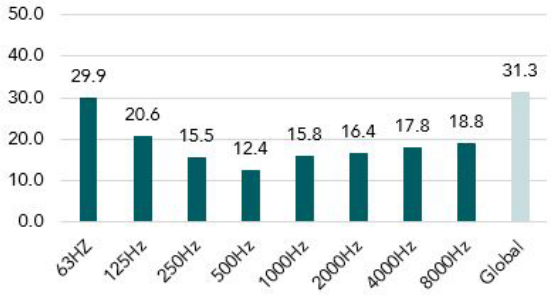


Classe 4 Pas meublée - Niveaux par bande et niveau global en dB(A).



Biblio Meublée - Niveaux par bande et niveau global en dB(A).

3.1.3 École Publique de la Madeleine – Fégréac 44

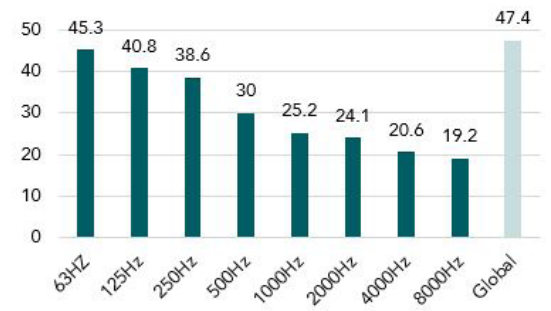


Classe 1- Niveaux par bande et niveau global en dB(A).

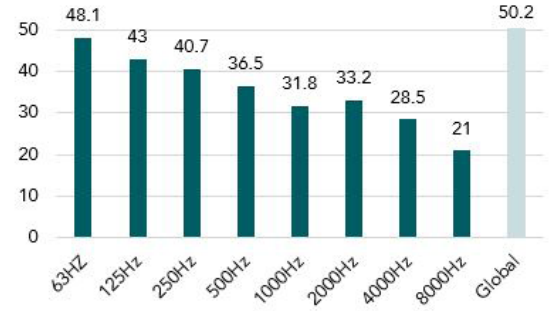
Classe 2- Niveaux par bande et niveau global en dB(A).

Classe 3- Niveaux par bande et niveau global en dB(A).

3.1.4 École Publique de Mouais –Mouais 44



Classe 1- Niveaux par bande et niveau global en dB(A).



Classe 2- Niveaux par bande et niveau global en dB(A).

3.2 Isolation entre pièces

3.2.1 École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44

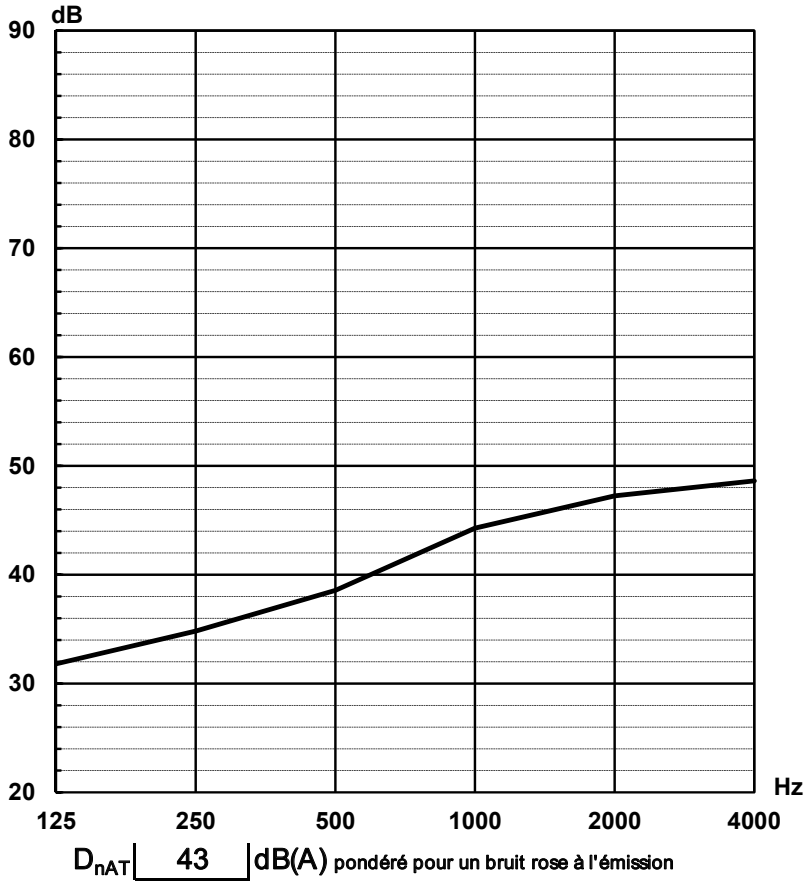
ISOLEMENT AUX BRUITS AERIENS INTERIEURS

Norme appliquée : NF EN ISO 16283-1

Opération : École Bouvron **Date essai :** 29/01/2020 **Local d'emission :** Bibliothèque
Ref. PV: École Bouvron **Opérateur :** MMS **Local de réception :** Classe 3
Observation : Une personne pendant la médition / Meublée **V. local réception:** 251.00 m^3

	125	250	500	1000	2000	4000	dB(A)
$L_{émi}$	84.7	91.2	90.2	88.5	88.9	84.3	**94.4**
$L_{réc}$	52.3	55.4	50.8	43.1	40.4	33.8	**51.8**
T_0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
T	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	
L_{res}	41.4	36.2	31.5	28.7	22.8	19.7	**34.4**
C(*)							
D_b	32.5	35.8	39.4	45.4	48.5	50.4	
D_{nT}	31.8	34.8	38.6	44.3	47.2	48.6	
D_n	22.8	25.8	29.5	35.2	38.2	39.6	
R'	45.6	48.7	51.6	57.4	59.7	61.5	

(*) Une étoile signale un bruit de fond résiduel trop important (différence <5dB)



D_{nAT} 43 dB(A) pondéré pour un bruit rose à l'émission

$L_{réc}$ Niveau de pression acoustique dans le local de réception
$L_{émi}$ Niveau de pression acoustique dans le local d'émission
T_0 Durée de réverbération de référence
T Durée de réverbération mesurée dans le local réception
L_{res} Niveau de bruit de fond résiduel
C Correction bruit de fond
D_b Isolement brut
D_{nT} Isolement normalisé

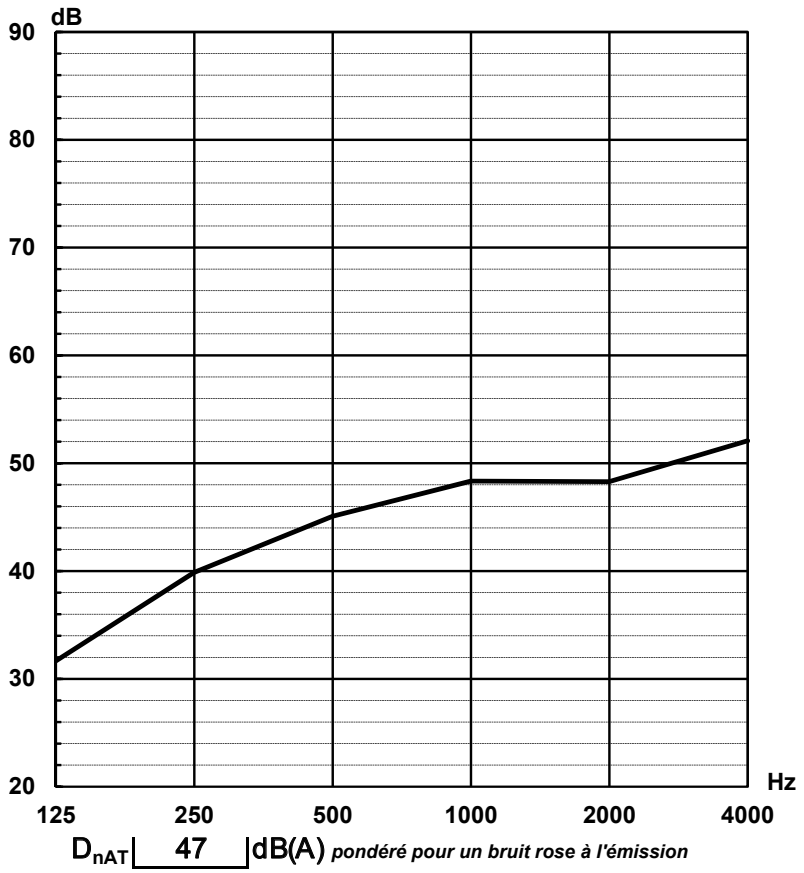
ISOLEMENT AUX BRUITS AERIENS INTERIEURS

Norme appliquée : NF EN ISO 16283-1

Opération : École Bouvron **Date essai :** 29/01/2020 **Local d'emission :** Classe 5
Ref. PV: École Bouvron **Opérateur :** MMS **Local de réception :** Classe 4
Observation : Une personne pendant la médition / Meublée **V. local réception:** 253.00 m^3

	125	250	500	1000	2000	4000	dB(A)
$L_{émi}$	85.3	93.5	88.2	86.4	84.5	80.7	**92.0**
$L_{réc}$	53.9	53.6	43.1	37.5	35.4	26.9	**47.7**
T_0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
T	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	
L_{res}	41.9	38.9	31.5	28.2	23.4	19.6	**35.1**
C(*)							
D_b	31.5	39.8	45.2	48.8	49.1	53.8	
D_{nT}	31.7	39.9	45.1	48.3	48.3	52.1	
D_n	22.6	30.8	36.0	39.3	39.2	43.0	
R'	43.9	52.1	56.6	60.2	60.1	64.7	

(*) Une étoile signale un bruit de fond résiduel trop important (différence <5dB)



D_{nAT} 47 dB(A) *pondéré pour un bruit rose à l'émission*

$L_{réc}$ Niveau de pression acoustique dans le local de réception
$L_{émi}$ Niveau de pression acoustique dans le local d'émission
T_0 Durée de réverbération de référence
T Durée de réverbération mesurée dans le local réception
L_{res} Niveau de bruit de fond résiduel
C Correction bruit de fond
D_b Isolement brut
D_{nT} Isolement normalisé

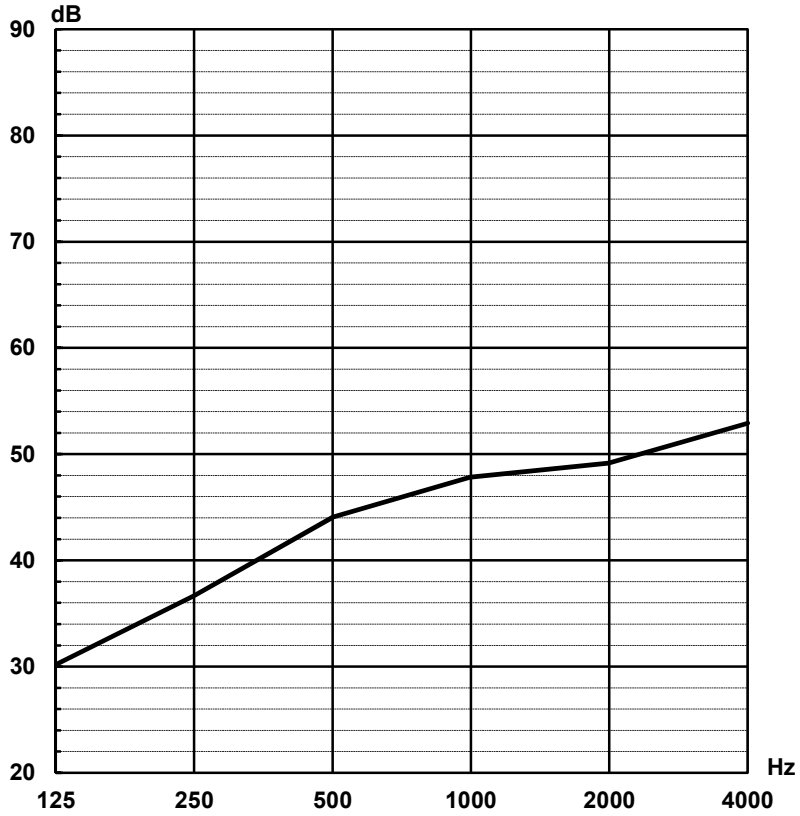
ISOLEMENT AUX BRUITS AERIENS INTERIEURS

Norme appliquée : NF EN ISO 16283-1

Opération : École Bouvron — Date essai : 29/01/2020 — Local d'emission : Classe 7
Ref. PV: École Bouvron — Opérateur : MMS — Local de réception : Classe 6
Observation : Une personne pendant la médition / Meublée classe 6 - pas meublée classe 7 — V. local réception: 245.00 m^3

	125	250	500	1000	2000	4000	dB(A)
$L_{émi}$	82.1	89.7	88.7	87.5	86.4	82.7	92.7
$L_{réc}$	52.1	53.1	44.6	39.4	36.8	28.3	48.0
T_0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
T	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	
L_{res}	39.3	34.0	28.1	25.1	21.6	19.3	31.7
$C^{(*)}$							
D_b	30.0	36.6	44.1	48.1	49.6	54.4	
D_{nT}	30.2	36.7	44.0	47.8	49.2	52.9	
D_n	21.3	27.7	35.1	38.9	40.2	44.0	
R'	42.2	48.3	55.1	58.8	59.8	65.3	

(*) Une étoile signale un bruit de fond résiduel trop important (différence <5dB)



D_{nAT} 46 dB(A) ***pondéré pour un bruit rose à l'émission***

$L_{réc}$ Niveau de pression acoustique dans le local de réception
$L_{émi}$ Niveau de pression acoustique dans le local d'émission
T_0 Durée de réverbération de référence
T Durée de réverbération mesurée dans le local réception
L_{res} Niveau de bruit de fond résiduel
C Correction bruit de fond
D_b Isolement brut
D_{nT} Isolement normalisé

3.2.2 École publique les Lucioles – Baulon 35

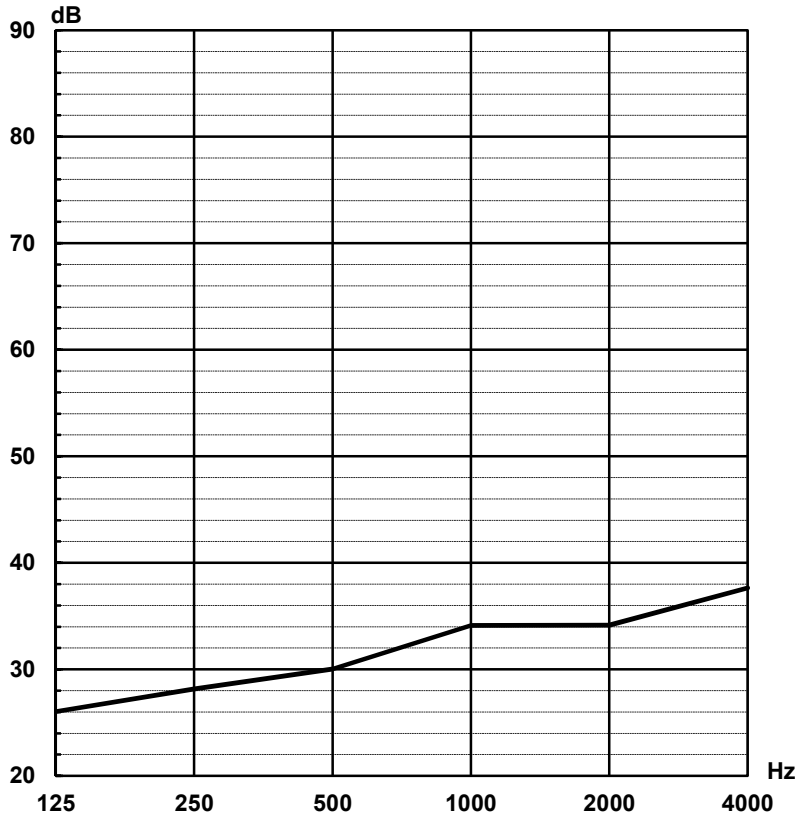
ISOLEMENT AUX BRUITS AERIENS INTERIEURS

Norme appliquée : NF EN ISO 16283-1

Opération : École Baulon — Date essai : 30/01/2020 — Local d'emission : Classe 1
Ref. PV: École Baulon — Opérateur : MMS — Local de réception : Classe 2
Observation : Une personne pendant la médition / Pas meublée — V. local réception: 258.00 m^3

	125	250	500	1000	2000	4000	dB(A)
$L_{émi}$	73.0	79.5	77.2	75.1	74.1	71.0	80.8
$L_{réc}$	47.4	53.5	49.9	43.2	41.2	33.1	50.9
T_0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
T	0.6	0.8	0.9	0.8	0.7	0.5	
L_{res}	27.4	29.4	15.1	11.3	9.1	7.7	22.6
$C^{(*)}$							
D_b	25.6	26.0	27.3	31.9	33.0	38.0	
D_{nT}	26.0	28.1	30.0	34.1	34.1	37.6	
D_n	16.9	19.0	20.9	25.0	25.0	28.5	
R'	39.0	38.1	35.8	39.8	40.9	46.7	

(*) Une étoile signale un bruit de fond résiduel trop important (différence <5dB)



D_{nAT} 34 dB(A) *pondéré pour un bruit rose à l'émission*

$L_{réc}$ Niveau de pression acoustique dans le local de réception
$L_{émi}$ Niveau de pression acoustique dans le local d'émission
T_0 Durée de réverbération de référence
T Durée de réverbération mesurée dans le local réception
L_{res} Niveau de bruit de fond résiduel
C Correction bruit de fond
D_b Isolement brut
D_{nT} Isolement normalisé

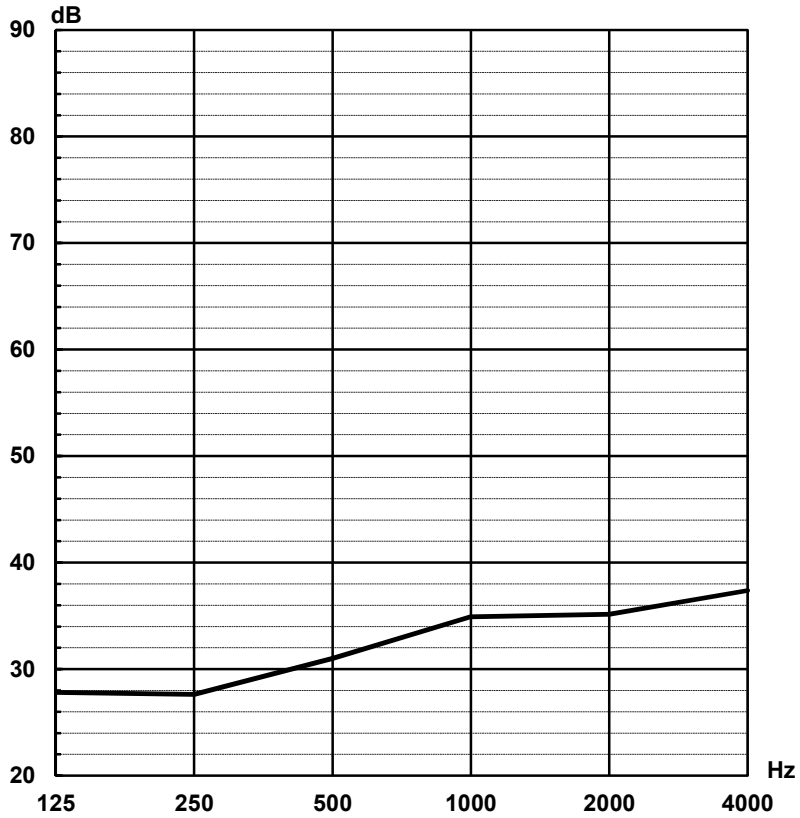
ISOLEMENT AUX BRUITS AERIENS INTERIEURS

Norme appliquée : NF EN ISO 16283-1

Opération : École Baulon — Date essai : 30/01/2020 — Local d'emission : Classe 2
Ref. PV: École Baulon — Opérateur : MMS — Local de réception : Classe 1
Observation : Une personne pendant la médition / Pas meublé — V. local réception: 258.00 m^3

	125	250	500	1000	2000	4000	dB(A)
$L_{émi}$	86.3	92.0	90.4	87.9	87.7	83.5	93.8
$L_{réc}$	58.9	66.5	62.1	55.2	53.6	45.8	63.3
T_0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
T	0.6	0.8	0.9	0.8	0.6	0.5	
L_{res}	42.3	43.1	32.4	28.8	29.1	26.2	38.1
$C^{(*)}$							
D_b	27.4	25.5	28.3	32.7	34.0	37.7	
D_{nT}	27.8	27.6	31.0	34.9	35.2	37.4	
D_n	18.6	18.5	21.8	25.7	26.0	28.2	
R'	42.7	39.3	40.1	44.6	47.1	51.7	

(*) Une étoile signale un bruit de fond résiduel trop important (différence <5dB)



D_{nAT} 34 dB(A) ***pondéré pour un bruit rose à l'émission***

$L_{réc}$ Niveau de pression acoustique dans le local de réception
$L_{émi}$ Niveau de pression acoustique dans le local d'émission
T_0 Durée de réverbération de référence
T Durée de réverbération mesurée dans le local réception
L_{res} Niveau de bruit de fond résiduel
C Correction bruit de fond
D_b Isolement brut
D_{nT} Isolement normalisé

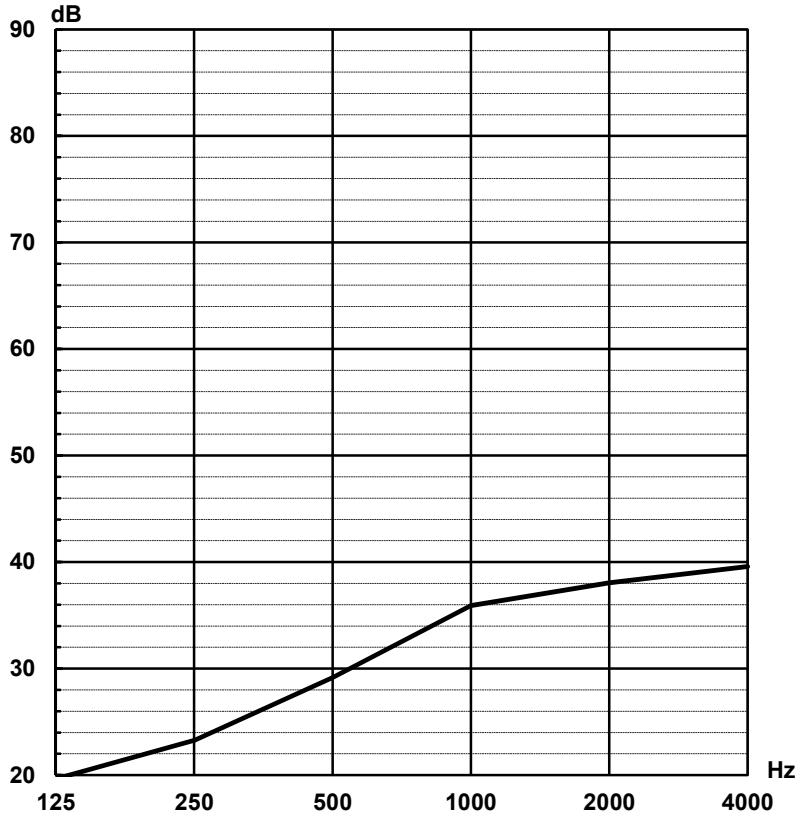
ISOLEMENT AUX BRUITS AERIENS INTERIEURS

Norme appliquée : NF EN ISO 16283-1

Opération : École Baulon — Date essai : 30/01/2020 — Local d'emission : Classe 2
Ref. PV: École Baulon — Opérateur : MMS — Local de réception : Classe 3
Observation : Une personne pendant la médition / Pas meublé — V. local réception: 258.00 m^3

	125	250	500	1000	2000	4000	dB(A)
$L_{émi}$	81.7	90.5	88.3	87.4	88.0	83.1	93.2
$L_{réc}$	62.9	70.1	61.9	53.7	51.2	43.7	64.3
T_0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
T	0.6	1.0	0.9	0.8	0.7	0.5	
L_{res}	30.9	31.7	25.3	24.5	22.2	22.9	30.6
C(*)							
D_b	18.8	20.5	26.4	33.8	36.9	39.4	
D_{nT}	19.6	23.3	29.1	35.9	38.1	39.6	
D_n	10.5	14.1	20.0	26.7	28.9	30.4	
R'	32.3	32.2	37.2	45.0	48.7	52.4	

(*) Une étoile signale un bruit de fond résiduel trop important (différence <5dB)



D_{nAT} 33 dB(A) ***pondéré pour un bruit rose à l'émission***

$L_{réc}$ Niveau de pression acoustique dans le local de réception
$L_{émi}$ Niveau de pression acoustique dans le local d'émission
T_0 Durée de réverbération de référence
T Durée de réverbération mesurée dans le local réception
L_{res} Niveau de bruit de fond résiduel
C Correction bruit de fond
D_b Isolement brut
D_{nT} Isolement normalisé

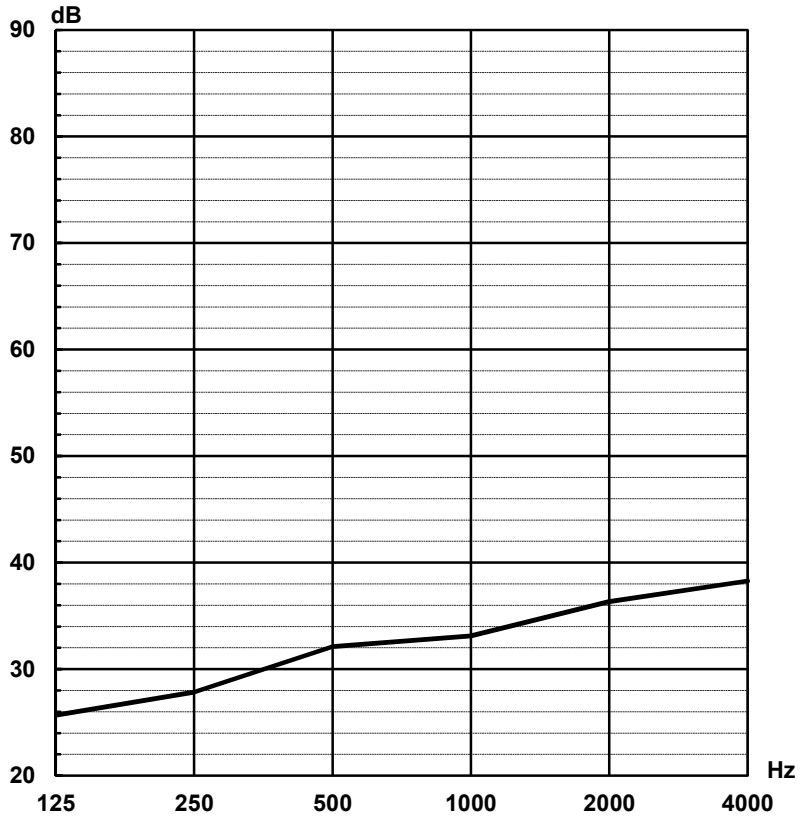
ISOLEMENT AUX BRUITS AERIENS INTERIEURS

Norme appliquée : NF EN ISO 16283-1

Opération : École Baulon — Date essai : 30/01/2020 — Local d'emission : Classe 3
Ref. PV: École Baulon — Opérateur : MMS — Local de réception : Classe 4
Observation : Une personne pendant la médition / Pas meublé — V. local réception: 251.00 m^3

	125	250	500	1000	2000	4000	dB(A)
$L_{émi}$	83.9	89.6	89.8	86.1	85.6	81.4	92.1
$L_{réc}$	59.2	64.5	60.7	55.9	51.2	43.8	62.0
T_0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
T	0.6	0.9	1.0	1.0	0.8	0.6	
L_{res}	48.4	43.6	33.9	26.2	25.4	24.1	38.7
C(*)							
D_b	24.7	25.1	29.1	30.2	34.4	37.6	
D_{nT}	25.7	27.8	32.1	33.1	36.3	38.3	
D_n	16.6	18.8	23.1	24.1	27.3	29.2	
R'	40.3	38.4	41.0	41.1	46.1	50.4	

(*) Une étoile signale un bruit de fond résiduel trop important (différence <5dB)



D_{nAT} 34 dB(A) ***pondéré pour un bruit rose à l'émission***

$L_{réc}$ Niveau de pression acoustique dans le local de réception
$L_{émi}$ Niveau de pression acoustique dans le local d'émission
T_0 Durée de réverbération de référence
T Durée de réverbération mesurée dans le local réception
L_{res} Niveau de bruit de fond résiduel
C Correction bruit de fond
D_b Isolement brut
D_{nT} Isolement normalisé

3.2.3 École Publique de la Madeleine – Fégréac 44

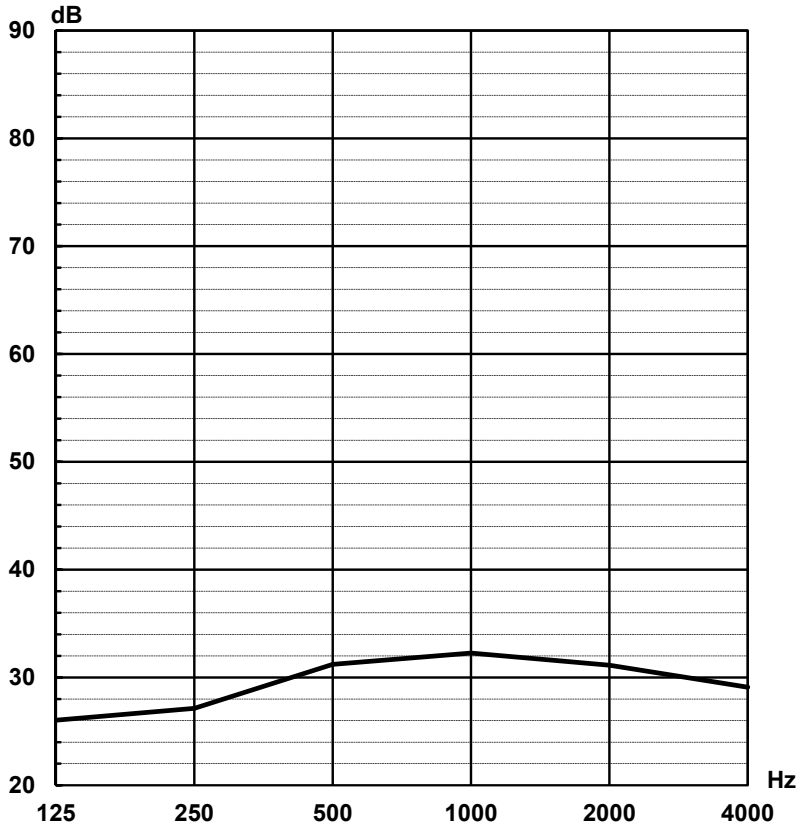
ISOLEMENT AUX BRUITS AERIENS INTERIEURS

Norme appliquée : NF EN ISO 16283-1

Opération : École Fégreac **Date essai :** 24/08/2021 **Local d'emission :** Hall d'entrée
Ref. PV: École Fégreac **Opérateur :** MMS **Local de réception :** Classe 1
Observation : Une personne pendant la médition / Meublée **V. local réception:** 200.00 m^3

	125	250	500	1000	2000	4000	dB(A)
$L_{émi}$	86.7	95.1	94.1	91.1	91.8	88.2	**97.6**
$L_{réc}$	59.7	67.4	62.1	58.4	60.1	57.8	**66.4**
T_0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
T	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
L_{res}	20.6	15.5	12.4	15.8	16.4	17.8	**22.7**
C(*)							
D_b	27.0	27.7	32.0	32.7	31.7	30.3	
D_{nT}	26.0	27.1	31.2	32.3	31.1	29.1	
D_n	18.0	19.1	23.2	24.2	23.1	21.0	
R'	38.1	37.3	40.8	42.4	41.6	41.2	

(*) Une étoile signale un bruit de fond résiduel trop important (différence <5dB)



D_{nAT} 30 dB(A) pondéré pour un bruit rose à l'émission

$L_{réc}$ Niveau de pression acoustique dans le local de réception
$L_{émi}$ Niveau de pression acoustique dans le local d'émission
T_0 Durée de réverbération de référence
T Durée de réverbération mesurée dans le local réception
L_{res} Niveau de bruit de fond résiduel
C Correction bruit de fond
D_b Isolement brut
D_{nT} Isolement normalisé

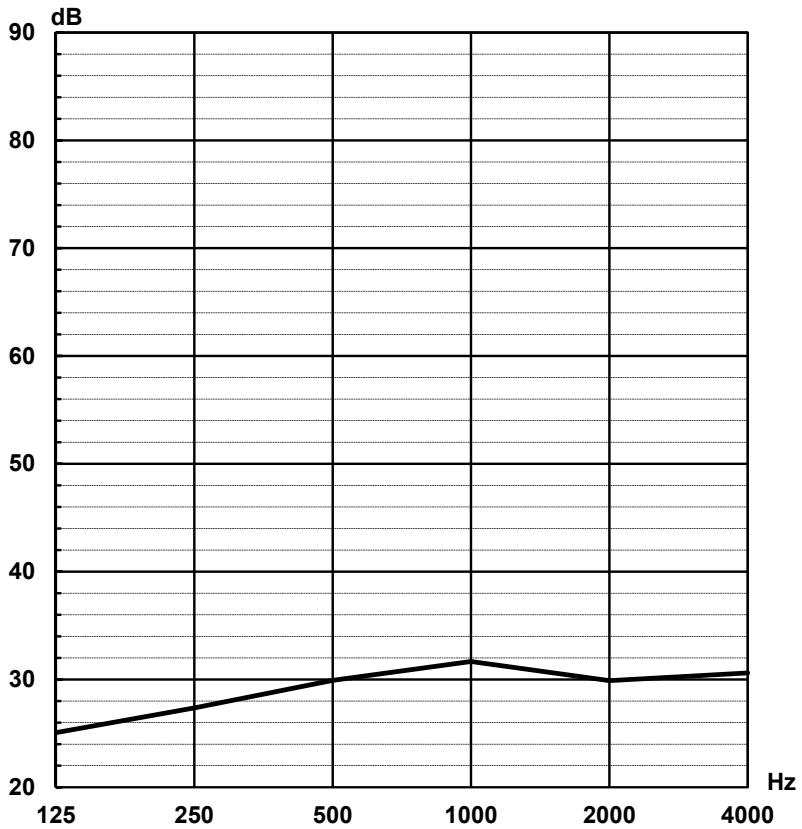
ISOLEMENT AUX BRUITS AERIENS INTERIEURS

Norme appliquée : NF EN ISO 16283-1

Opération : École Fégreac **Date essai :** 24/08/2021 **Local d'emission :** Dortoir
Ref. PV: École Fégreac **Opérateur :** MMS **Local de réception :** Classe 2
Observation : Une personne pendant la médition / Meublée **V. local réception:** 200.00 m^3

	125	250	500	1000	2000	4000	dB(A)
$L_{émi}$	84.9	93.7	93.1	91.9	92.0	87.6	**97.5**
$L_{réc}$	59.0	66.0	63.0	60.1	61.6	55.8	**66.9**
T_0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
T	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	
L_{res}	16.6	11.9	12.1	15.7	15.5	17.1	**22.0**
C(*)							
D_b	25.9	27.7	30.1	31.8	30.4	31.8	
D_{nT}	25.1	27.4	29.9	31.7	29.9	30.6	
D_n	17.0	19.3	21.9	23.6	21.8	22.5	
R'	37.4	37.4	39.7	42.4	41.3	43.9	

(*) Une étoile signale un bruit de fond résiduel trop important (différence <5dB)



D_{nAT} 30 dB(A) pondéré pour un bruit rose à l'émission

$L_{réc}$ Niveau de pression acoustique dans le local de réception
$L_{émi}$ Niveau de pression acoustique dans le local d'émission
T_0 Durée de réverbération de référence
T Durée de réverbération mesurée dans le local réception
L_{res} Niveau de bruit de fond résiduel
C Correction bruit de fond
D_b Isolement brut
D_{nT} Isolement normalisé

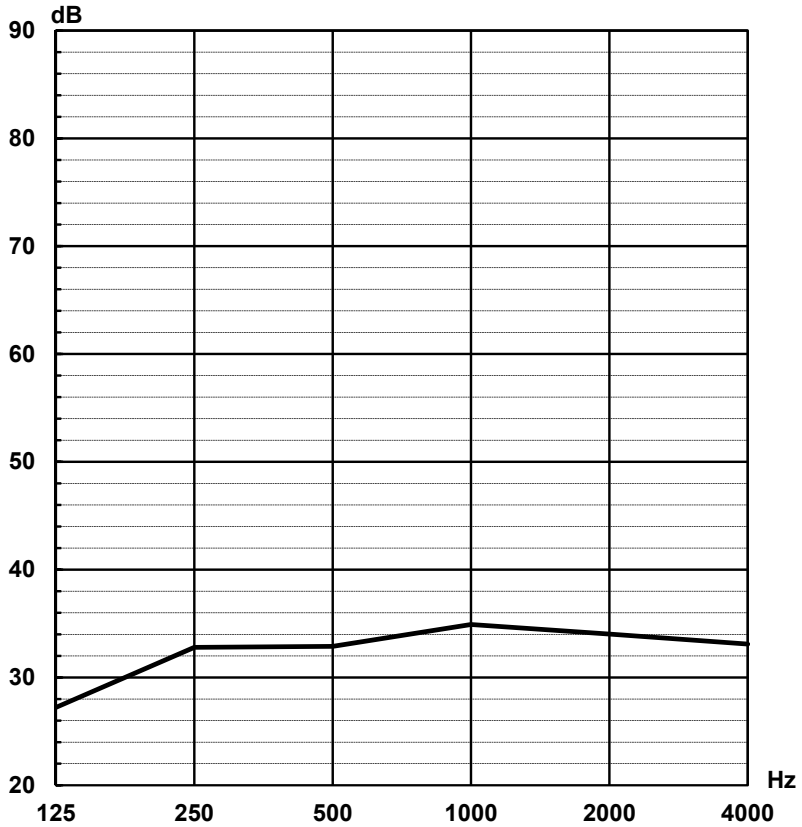
ISOLEMENT AUX BRUITS AERIENS INTERIEURS

Norme appliquée : NF EN ISO 16283-1

Opération : École Fégreac **Date essai :** 24/08/2021 **Local d'emission :** Dortoir
Ref. PV: École Fégreac **Opérateur :** MMS **Local de réception :** Classe 3
Observation : Une personne pendant la médition / Meublée **V. local réception:** 200.00 m^3

	125	250	500	1000	2000	4000	dB(A)
$L_{émi}$	84.9	93.7	93.1	91.9	92.0	87.6	**97.5**
$L_{réc}$	56.2	59.7	59.2	56.2	57.2	52.9	**62.7**
T_0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
T	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	
L_{res}	18.7	14.3	11.6	15.7	15.6	16.9	**22.0**
C(*)							
D_b	28.7	34.0	34.0	35.8	34.9	34.7	
D_{nT}	27.2	32.8	32.9	34.9	34.0	33.1	
D_n	19.2	24.7	24.8	26.8	26.0	25.0	
R'	41.4	45.2	44.3	47.1	46.1	47.2	

(*) Une étoile signale un bruit de fond résiduel trop important (différence <5dB)



D_{nAT} 34 dB(A) pondéré pour un bruit rose à l'émission

$L_{réc}$ Niveau de pression acoustique dans le local de réception
$L_{émi}$ Niveau de pression acoustique dans le local d'émission
T_0 Durée de réverbération de référence
T Durée de réverbération mesurée dans le local réception
L_{res} Niveau de bruit de fond résiduel
C Correction bruit de fond
D_b Isolement brut
D_{nT} Isolement normalisé

3.3 Temps de réverbération

Dans cette partie, les résultats de l'ensemble de points de mesure de T30 d'une salle de classe avec les deux procédés utilisé, méthode de bruit interrompu et avec l'émisison d'un signal MLS (séquence de longueur maximum), sont présentés (partie 3.2.2.2.2).

3.3.1 École publique Félix-Leclerc – Bouvron 44

Nous présentons le cas de la classe 3 de l'école de Bouvron. Cette classe a un volume d'environ 251m^3 avec les toilettes et de 225m^3 sans les toilettes, elle est située dans la partie Sud du bâtiment. Toute la façade Sud est un mur de façade avec 2/3 de la surface vitrée. Le mur séparatif avec la bibliothèque est réalisé avec de la terre crue, plus concrètement il a été réalisé avec la technique de la bauge et avec des briques d'adobe pour la partie haute du mur. La partie inférieure du mur en terre a été stabilisée avec de la caséine. Le reste des murs de la classe sont des plaques de plâtre peintes. Dans le mur Ouest se situe le tableau blanc et une bonne surface de liège. Dans le coin Nord-Est de la classe il y a une grotte réalisée avec des briques de terre crue (adobes). Le sol est du linoléum, le plafond haut est de type résille bois (lames ajourées) avec matelas absorbant acoustique et les plafonds bas sont des panneaux absorbants de type Organic minéral (Figure 294).

La classe est meublée et utilisée comme salle de classe de maternelle.

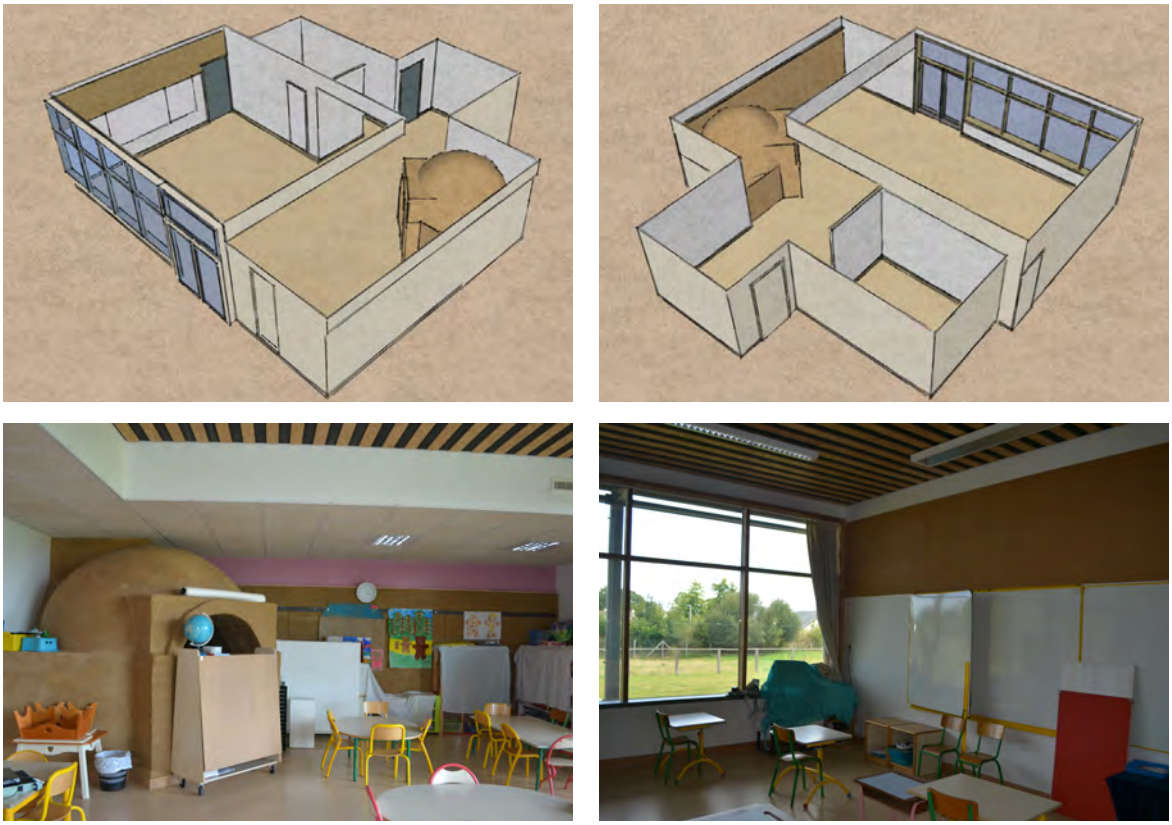


Figure 294 Plans 3D et photographies de la classe étudiée – Bouvron.

3.3.1.1 Temps de réverbération – Signal de séquences de longueur maximum (MLS)

Le temps de réverbération est mesuré dans 12 point différents et avec deux positions de sources (Figure 297). Les points en vert correspondent aux points de mesure avec la première position de la source omnidirectionnelle et ceux en marron les points de mesure avec le deuxième positionnement de la source (Figure 295).

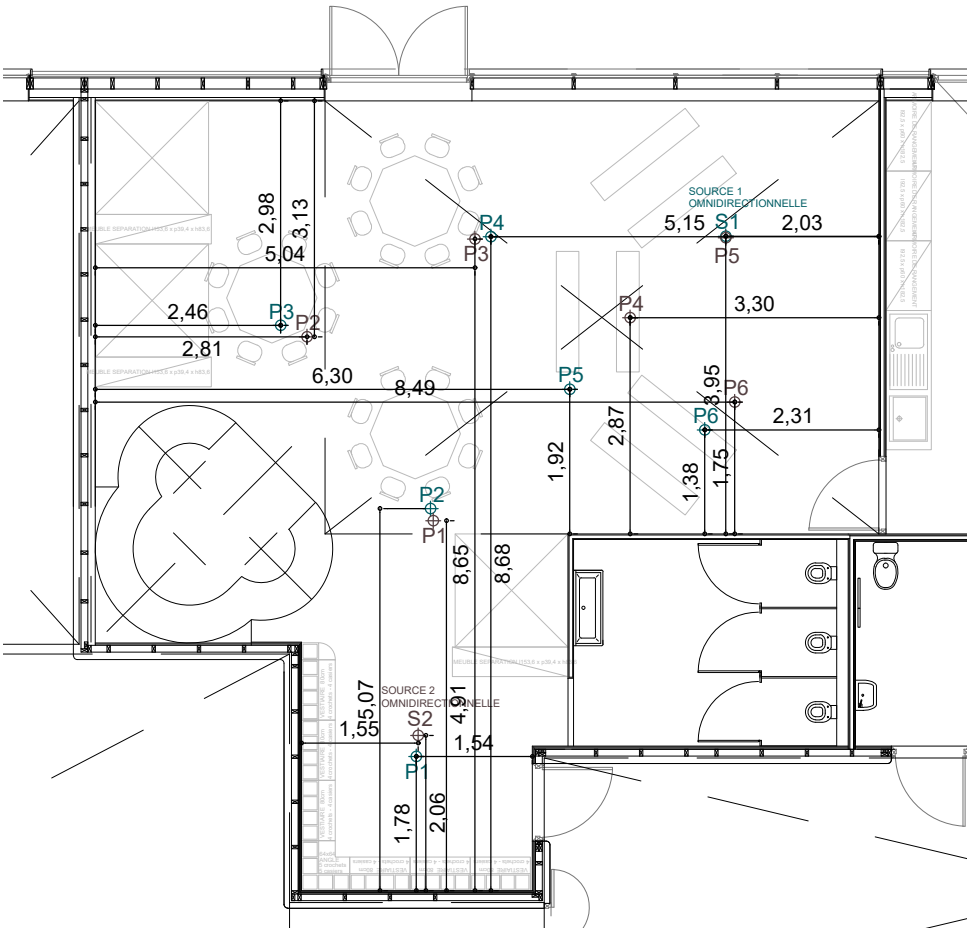
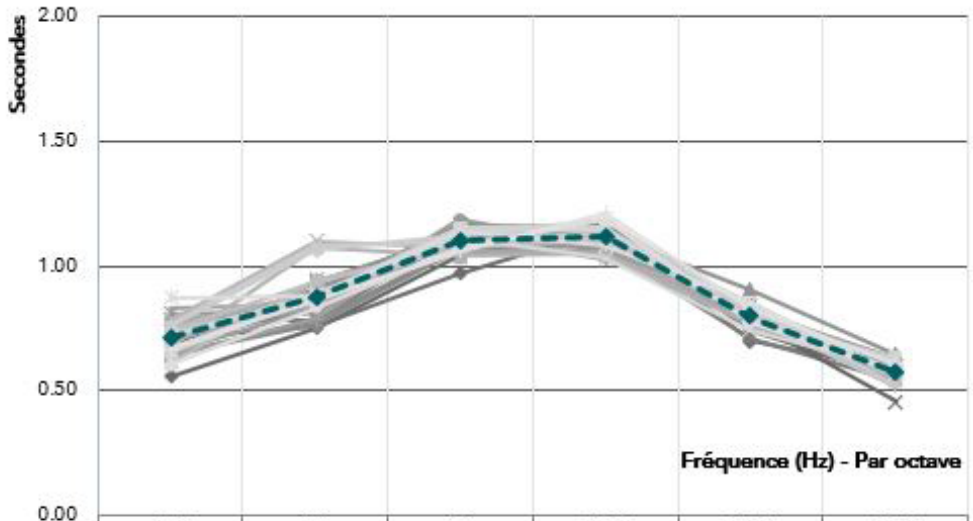


Figure 295 Positions des sources et des points de mesure – CLASSE 3

Figure 296 Pendant la mesure – Signal MLS - CLASSE 3.



	125	250	500	1000	2000	4000
S1P1_MLS_1	0.56	0.75	1.04	1.15	0.74	0.56
S1P1_MLS_2	0.71	0.76	0.97	1.15	0.70	0.58
S1P2_MLS_1	0.76	0.81	1.13	1.16	0.80	0.61
S1P2_MLS_2	0.78	0.78	1.13	1.15	0.77	0.60
S1P3_MLS_1	0.75	0.83	1.12	1.08	0.71	0.54
S1P3_MLS_2	0.68	0.84	1.12	1.18	0.81	0.63
S1P4_MLS_1	0.69	0.86	1.16	1.13	0.78	0.46
S1P4_MLS_2	0.72	0.89	1.16	1.16	0.80	0.53
S1P5_MLS_1	0.64	0.78	1.07	1.14	0.80	0.53
S1P5_MLS_2	0.64	0.76	1.07	1.09	0.77	0.57
S1P6_MLS_1	0.64	0.94	1.12	1.07	0.84	0.57
S1P6_MLS_2	0.65	0.91	1.12	1.13	0.90	0.65
S1P7_MLS_1	0.78	0.81	1.14	1.13	0.84	0.60
S1P7_MLS_2	0.81	0.83	1.11	1.07	0.80	0.58
S1P8_MLS_1	0.65	0.83	1.19	1.08	0.77	0.60
S1P8_MLS_2	0.64	0.79	1.16	1.09	0.77	0.57
S1P9_MLS_1	0.83	0.85	1.10	1.12	0.82	0.63
S1P9_MLS_2	0.78	0.85	1.06	1.06	0.79	0.59
S2P1_MLS_1	0.70	0.85	1.13	1.02	0.81	0.55
S2P1_MLS_2	0.76	0.90	1.10	1.04	0.83	0.55
S2P2_MLS_1	0.68	1.07	1.04	1.05	0.77	0.55
S2P2_MLS_2	0.78	1.10	1.07	1.11	0.80	0.55
S2P3_MLS_1	0.62	0.95	1.08	1.15	0.85	0.57
S2P3_MLS_2	0.74	0.94	1.07	1.11	0.81	0.58
S2P4_MLS_1	0.74	0.86	1.10	1.11	0.80	0.52
S2P4_MLS_2	0.73	0.86	1.15	1.10	0.83	0.55
S2P5_MLS_1	0.77	1.08	1.10	1.13	0.83	0.53
S2P5_MLS_2	0.76	1.07	1.12	1.19	0.82	0.58
S2P6_MLS_1	0.66	0.88	1.15	1.15	0.79	0.63
S2P6_MLS_2	0.65	0.88	1.14	1.14	0.78	0.62
S2P7_MLS_1	0.72	0.89	1.11	1.03	0.74	0.58
S2P7_MLS_2	0.87	0.88	1.14	1.08	0.85	0.57
S2P8_MLS_1	0.60	0.83	1.07	1.19	0.77	0.58
S2P8_MLS_2	0.67	0.86	1.06	1.21	0.83	0.61
Moyenne T30	0.71	0.88	1.11	1.12	0.80	0.57

Figure 297 Ensemble des points mesure du Tr – Signal MLS – CLASSE 3

3.3.1.2Temps de réverbération – Méthode du bruit interrompu

Dans la même salle, le temps de réverbération est mesuré par la méthode du bruit interrompu dans 6 points pour les deux positions de la source omnidirectionnelle (Figure 298 et Figure 299).

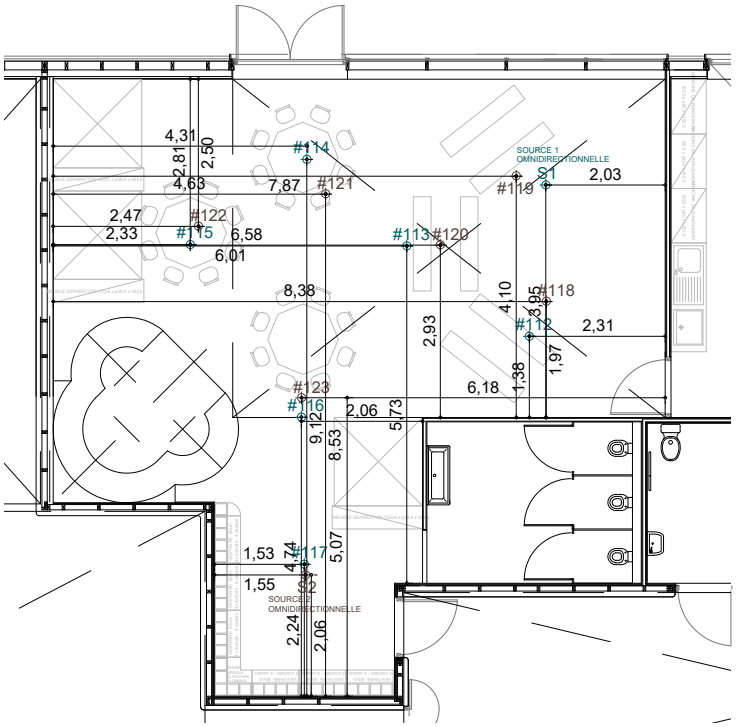
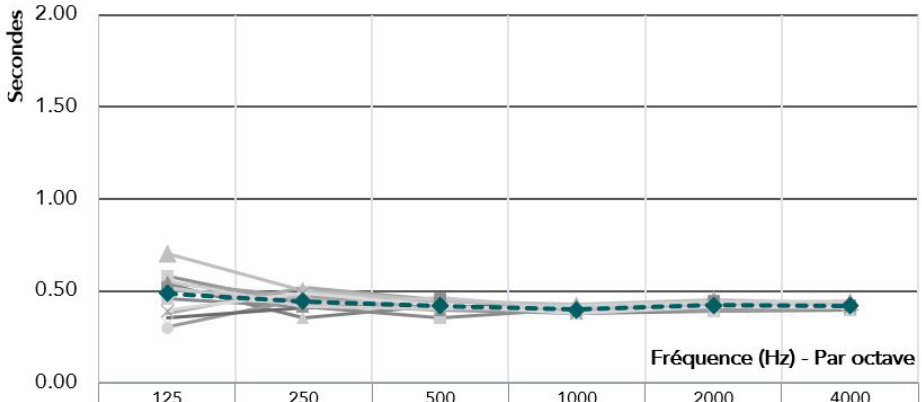


Figure 298 Positions des sources et des points de mesure – Méthode du bruit interrompu - CLASSE 3



	125	250	500	1000	2000	4000
#00112-S1	0.53	0.36	0.42	0.38	0.39	0.40
#00113-S1	0.46	0.42	0.36	0.40	0.40	0.40
#00114-S1	0.58	0.42	0.40	0.38	0.41	0.42
#00115-S1	0.30	0.46	0.41	0.40	0.39	0.41
#00116-S1	0.54	0.47	0.44	0.42	0.43	0.42
#00117-S1	0.36	0.41	0.41	0.42	0.43	0.43
#00118-S2	0.38	0.52	0.45	0.40	0.45	0.43
#00119-S2	0.51	0.45	0.40	0.40	0.42	0.41
#00120-S2	0.70	0.50	0.45	0.42	0.45	0.44
#00121-S2	0.52	0.42	0.46	0.40	0.44	0.42
#00122-S2	0.55	0.42	0.40	0.42	0.44	0.44
#00123-S2	0.39	0.49	0.42	0.38	0.41	0.41
Moyenne T30	0.49	0.44	0.42	0.40	0.42	0.42

Figure 299 Ensemble des points mesurés du Tr - Méthode du bruit interrompu – CLASSE 3

3.4 Mesures d'EDT

3.4.1 École publique Félix Leclerc – Bouvron 44

Pièce mesurée - EDT	125	250	500	1000	2000	4000
Classe 2	0,53	0,51	0,58	0,52	0,50	0,47
Écart type	*0.09*	*0.10*	*0.08*	*0.07*	*0.05*	*0.07*
Classe 3	0,38	0,39	0,40	0,40	0,40	0,39
Écart type	*0.12*	*0.07*	*0.07*	*0.06*	*0.05*	*0.05*
Classe 4	0,48	0,44	0,43	0,40	0,41	0,38
Écart type	*0.10*	*0.08*	*0.07*	*0.06*	*0.04*	*0.04*
Classe 5	0,53	0,50	0,52	0,42	0,45	0,41
Écart type	*0.14*	*0.09*	*0.08*	*0.06*	*0.05*	*0.05*
Classe 6	0,56	0,51	0,54	0,47	0,49	0,41
Écart type	*0.10*	*0.11*	*0.08*	*0.05*	*0.04*	*0.04*
Classe 7	0,77	0,78	1,04	1,05	0,77	0,65
Écart type	*0.13*	*0.13*	*0.13*	*0.14*	*0.10*	*0.06*

Tableau 49 EDT Bouvron. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce.

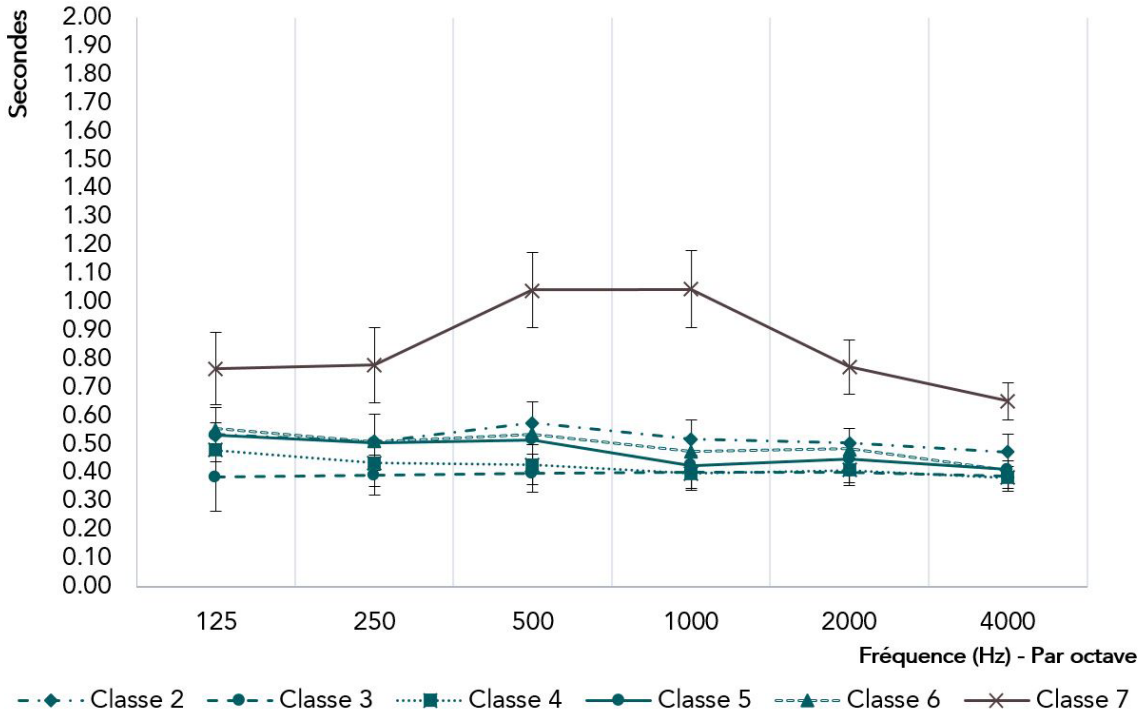


Figure 300 EDT Bouvron – Moyennes. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure.

3.4.2 École publique les Lucioles – Baulon 35

Pièce mesurée - EDT	125	250	500	1000	2000	4000
Classe 1 meublée	0,32	0,33	0,44	0,46	0,44	0,47
Écart type	*0.05*	*0.08*	*0.08*	*0.07*	*0.04*	*0.03*
Classe 1 pas meublée	0,58	0,85	0,85	0,70	0,60	0,59
Écart type	*0.07*	*0.12*	*0.10*	*0.07*	*0.04*	*0.06*
Classe 2 meublée	0,37	0,43	0,45	0,44	0,44	0,49
Écart type	*0.08*	*0.07*	*0.07*	*0.03*	*0.03*	*0.04*
Classe 2 pas meublée	0,49	0,79	0,86	0,81	0,58	0,54
Écart type	*0.12*	*0.10*	*0.09*	*0.11*	*0.05*	*0.04*
Classe 3 pas meublée	0,57	0,97	0,89	0,83	0,62	0,61
Écart type	*0.14*	*0.13*	*0.13*	*0.08*	*0.04*	*0.04*
Classe 4 pas meublée	0,65	0,86	1,01	0,99	0,81	0,72
Écart type	*0.16*	*0.12*	*0.10*	*0.08*	*0.04*	*0.06*
Bibliothèque sans enduit	0,39	0,34	0,23	0,25	0,26	0,29
Écart type	*0.08*	*0.11*	*0.05*	*0.04*	*0.03*	*0.02*
Bibliothèque avec enduit	0,43	0,44	0,41	0,48	0,56	0,55
Écart type	*0.11*	*0.11*	*0.06*	*0.04*	*0.06*	*0.04*
Bibliothèque avec enduit et meublée	0,29	0,29	0,29	0,29	0,33	0,35
Écart type	*0.05*	*0.06*	*0.03*	*0.03*	*0.04*	*0.04*

Tableau 50 EDT Baulon. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce.

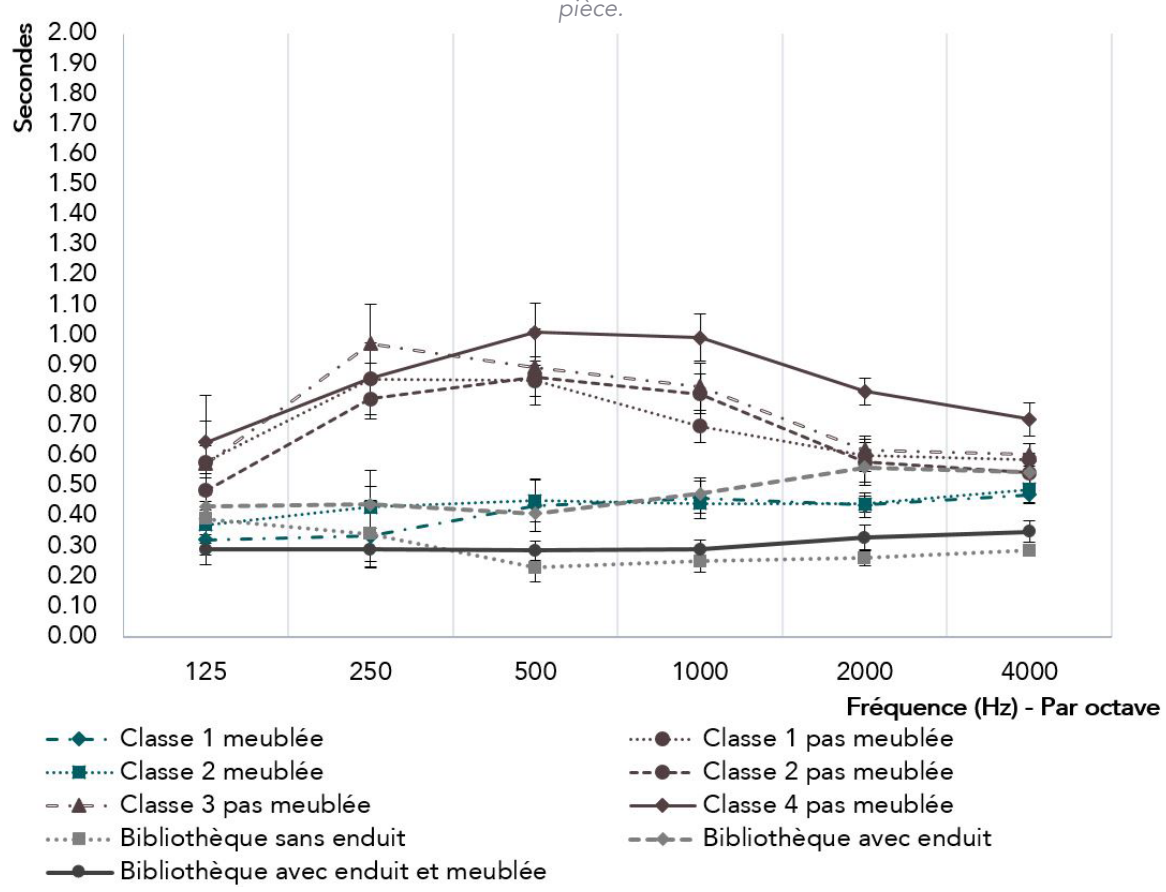


Figure 301 EDT Baulon – Moyennes. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure.

3.4.3 École Publique de la Madeleine – Fégréac 44

Pièce mesurée - EDT	125	250	500	1000	2000	4000
Classe 1 meublée	0,34	0,37	0,42	0,45	0,49	0,46
Écart type	*0.10*	*0.06*	*0.07*	*0.05*	*0.04*	*0.03*
Classe 2 meublée	0,35	0,46	0,47	0,49	0,48	0,45
Écart type	*0.10*	*0.10*	*0.07*	*0.05*	*0.04*	*0.05*
Classe 3 meublée	0,30	0,37	0,35	0,43	0,44	0,34
Écart type	*0.07*	*0.09*	*0.08*	*0.05*	*0.06*	*0.03*

Tableau 51 EDT Fégréac. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce.

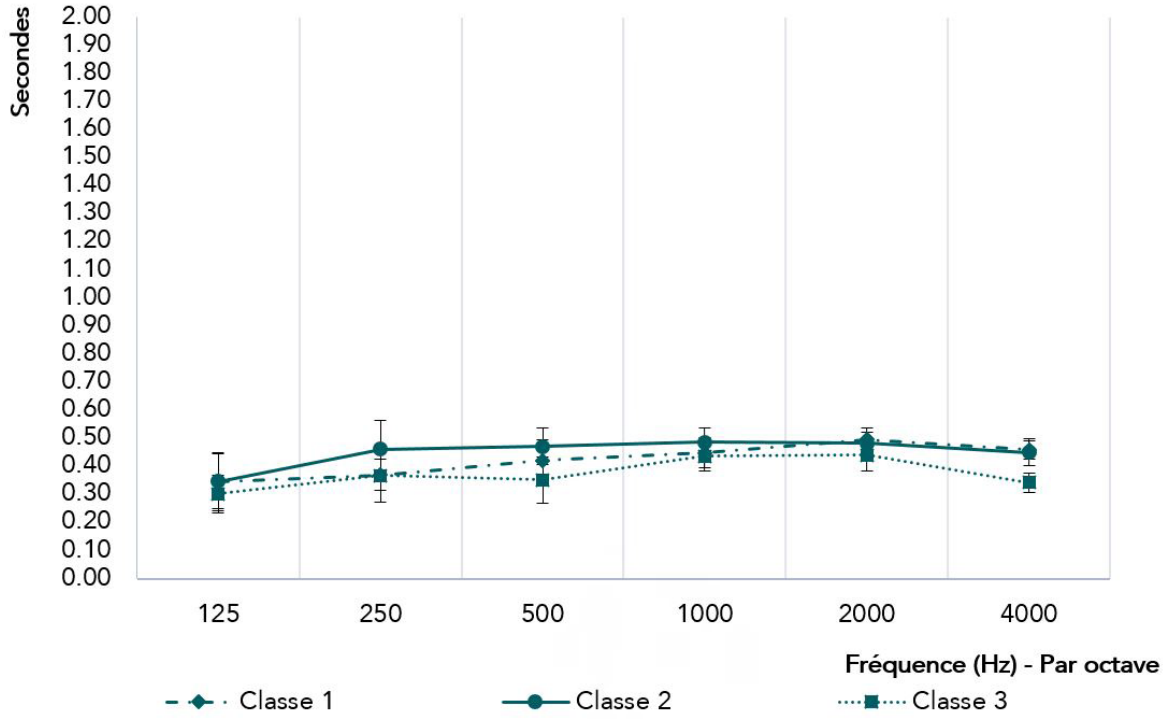


Figure 302 EDT Fégréac – Moyennes. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure.

3.4.4 École Publique de Mouais – Mouais 44

Pièce mesurée - EDT	125	250	500	1000	2000	4000
Classe 1 meublée	0,32	0,39	0,43	0,45	0,47	0,45
Écart type	*0.11*	*0.08*	*0.07*	*0.07*	*0.07*	*0.06*
Classe 1 pas meublée	0,44	0,62	0,69	0,73	0,79	0,72
Écart type	*0.11*	*0.10*	*0.13*	*0.08*	*0.08*	*0.12*
Classe 1 pas meublée sans enduit	0,80	0,87	1,07	1,13	1,05	0,91
Écart type	*0.19*	*0.16*	*0.11*	*0.14*	*0.15*	*0.13*
Classe 2 meublée	*0,38*	*0,40*	*0,43*	*0,46*	*0,45*	*0,41*
Écart type	*0.11*	*0.05*	*0.07*	*0.05*	*0.04*	*0.04*
Classe 2 pas meublée	*0,47*	*0,77*	*0,96*	*0,90*	*0,96*	*0,81*
Écart type	*0.11*	*0.09*	*0.10*	*0.07*	*0.06*	*0.10*

Tableau 52 EDT Mouais. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce.

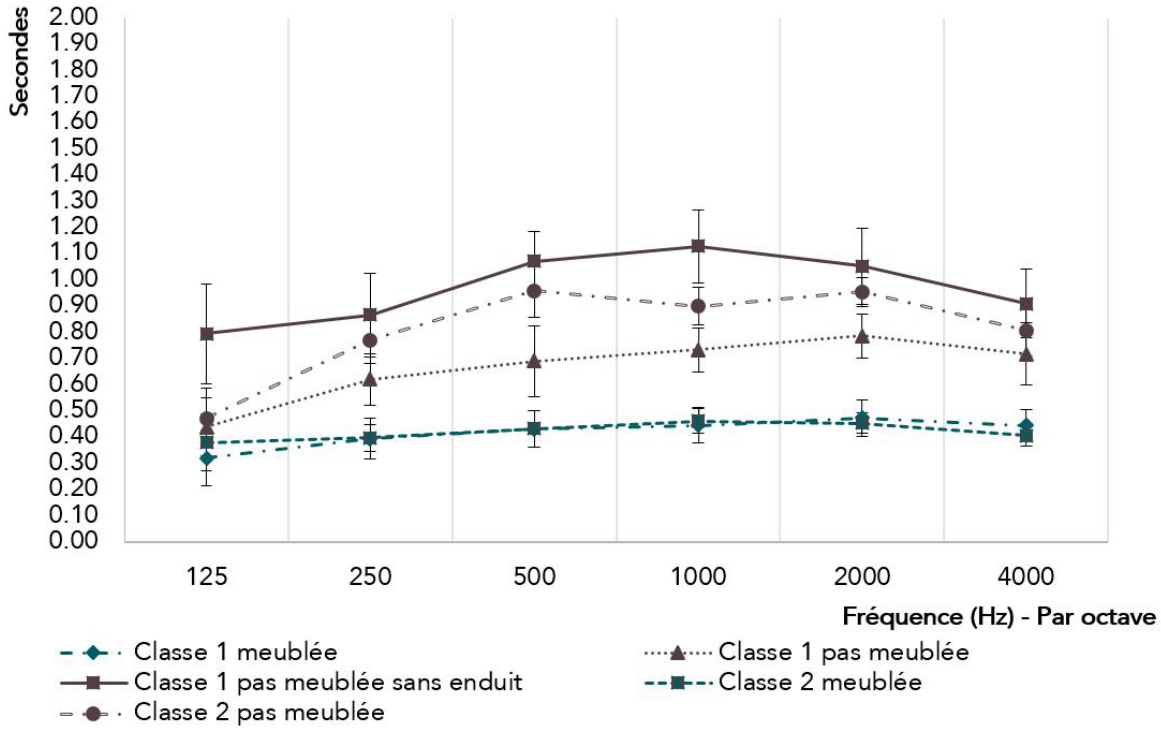


Figure 303 EDT Mouais – Moyennes. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure.

3.4.5 École publique La Hulotte – Treffieux 44

Pièce mesurée - EDT	125	250	500	1000	2000	4000
Classe 1 meublée	0,32	0,39	0,43	0,45	0,47	0,45
Écart type	*0.11*	*0.08*	*0.07*	*0.07*	*0.07*	*0.06*

Tableau 53 EDT Tréffieux. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce.

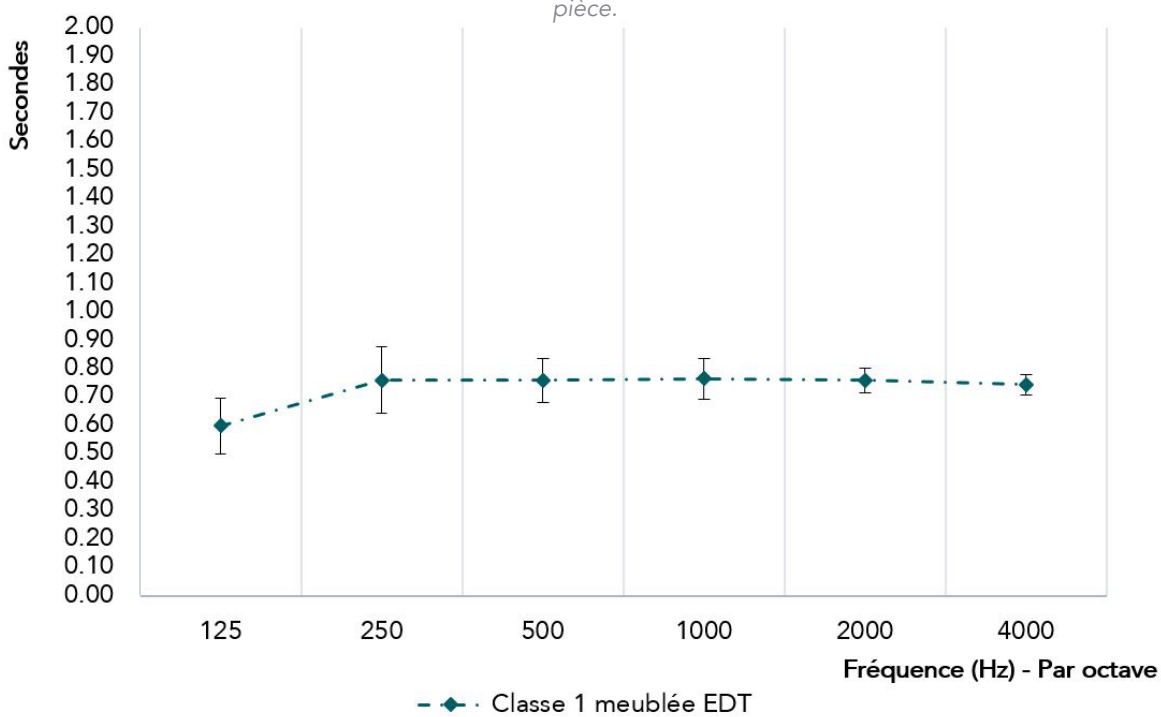


Figure 304 EDT Treffieux – Moyennes. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure.

Rapport STI

Date : 27/10/2020

Project : Classe 3 - Bouvron **Opérateur :** MMS

Description : Salle de classe meublée / Une personne pendant la mesure.

Full STI	**Moyenne arithmétique**	**0.77**
	Déviation standard σ	0.05
	Moyenne - σ	**0.72**

Position STI : Point de mesure 1

STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.70**

L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 2

STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.80**

L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 3

STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.78**

L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 4

STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.84**

L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 5

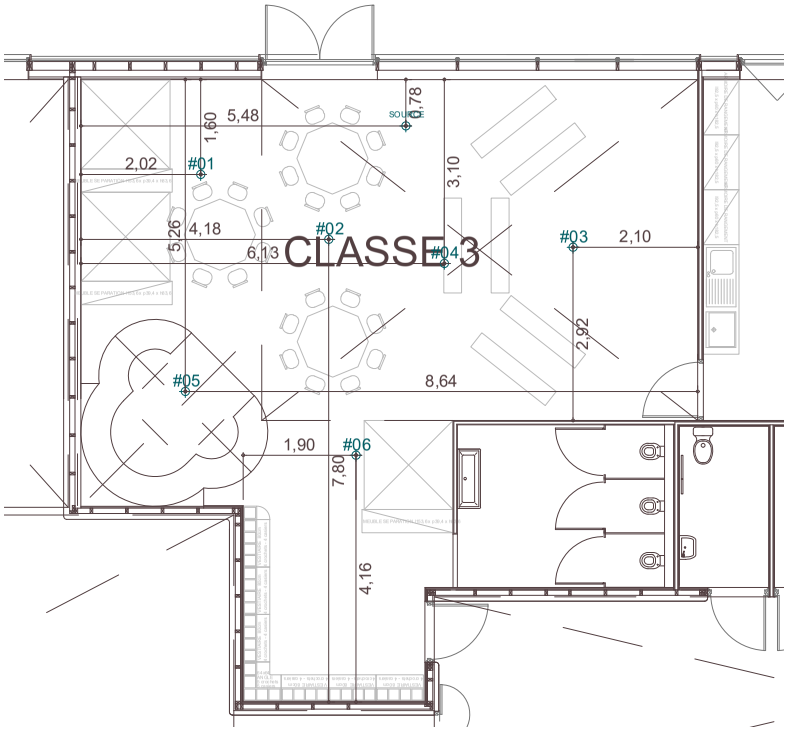
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.72**

L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 6

STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.78**

L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**



Points de mesure STI – Classe 3

Rapport STI

Date : 27/10/2020

Project : Classe 4 - Bouvron **Opérateur :** MMS

Description : Salle de classe meublée / Une personne pendant la mesure.

Full STI	**Moyenne arithmétique**	**0.77**
	Déviation standard σ	0.06
	Moyenne - σ	**0.72**

Position STI : Point de mesure 1

STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.71**

L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 2

STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.74**

L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 3

STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.75**

L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 4

STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.83**

L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 5

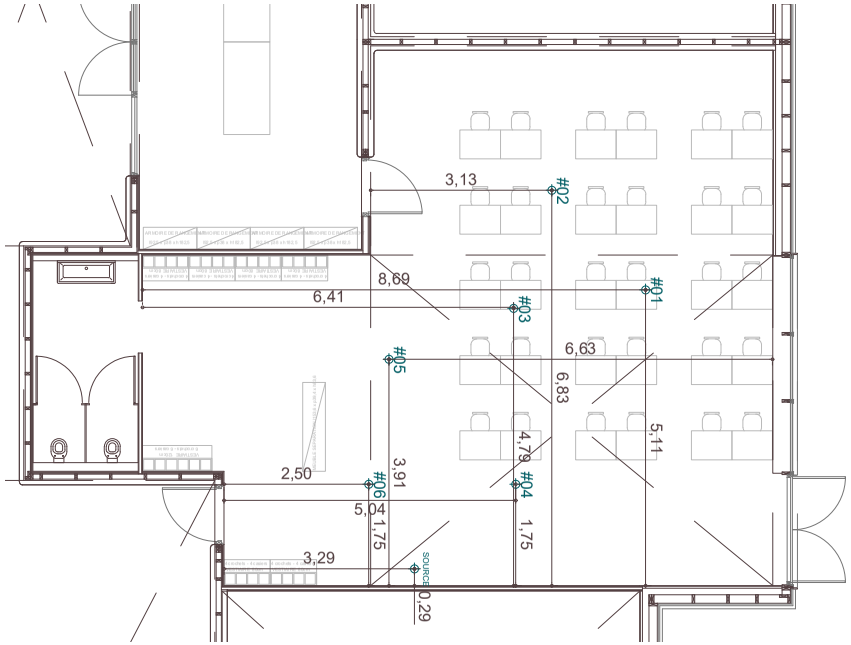
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.75**

L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 6

STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.86**

L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**



Points de mesure STI – Classe 4

Rapport STI 14/04/2022

Project : Classe 5 - Bouvron **Opérateur :** MMS

Description : Salle de classe meublée / Une personne pendant la mesure.

Full STI	**Moyenne arithmétique**	**0.75**
	Déviation standard σ	0.06
	Moyenne - σ	**0.69**

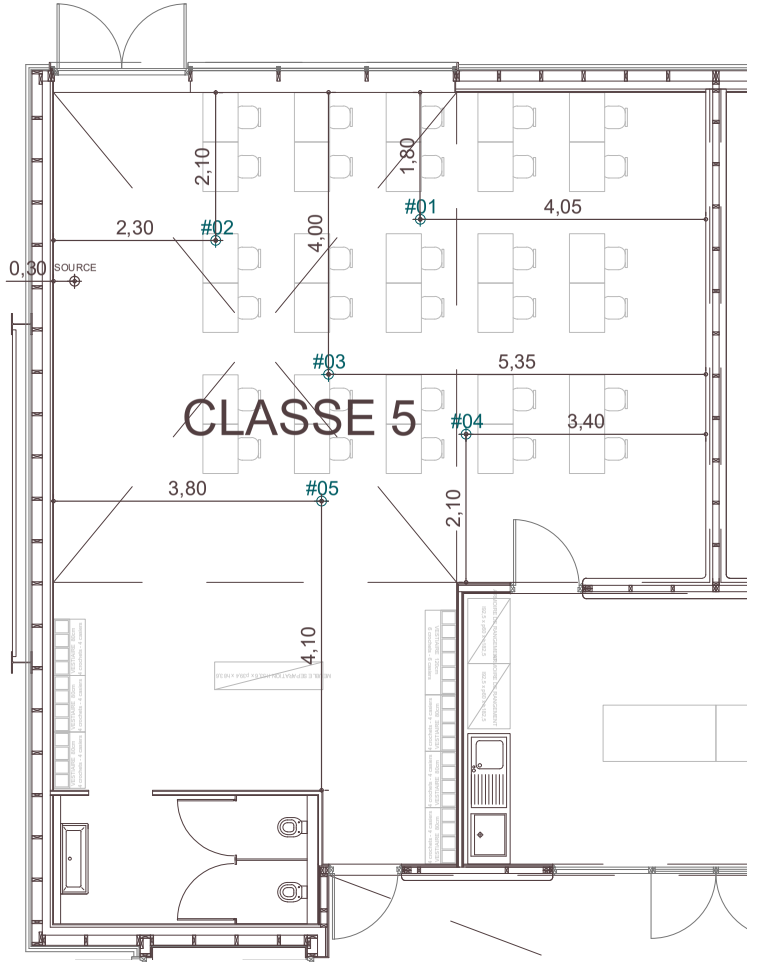
Position STI : Point de mesure 1
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.74**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 2
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.85**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 3
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.75**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 4
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.71**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 5
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.71**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**



Points de mesure STI – Classe 5

Rapport STI

Date : 27/10/2020

Project : Classe 6 - Bouvron **Opérateur :** MMS

Description : Salle de classe meublée / Une personne pendant la mesure.

Full STI	**Moyenne arithmétique**	**0.76**
	Déviation standard σ	0.06
	Moyenne - σ	**0.70**

Position STI : Point de mesure 1
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.75**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

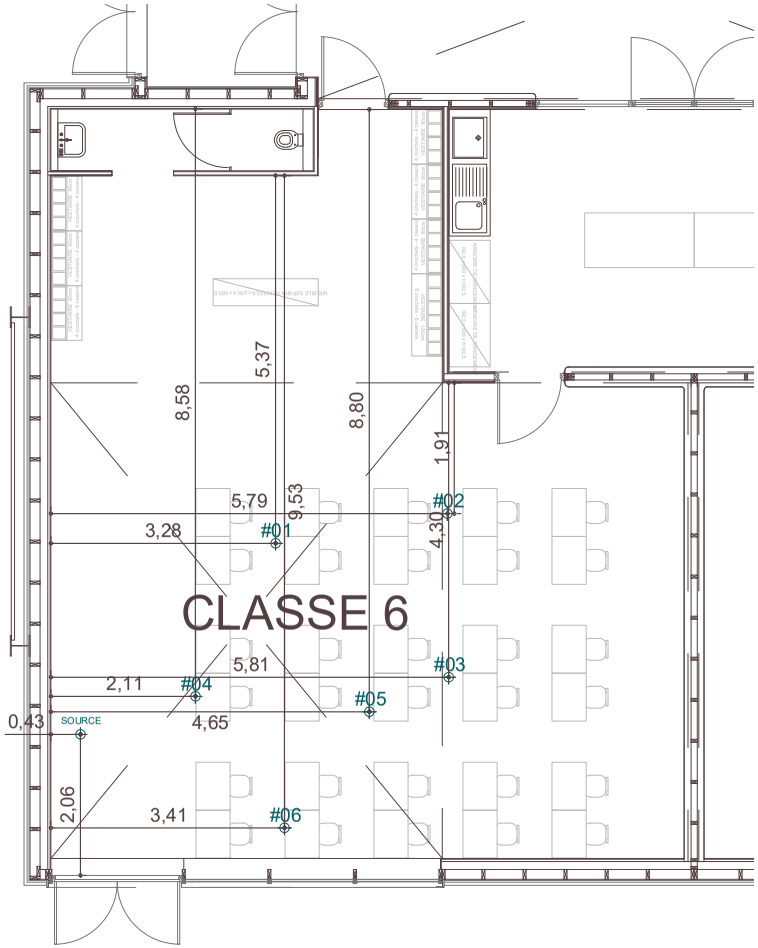
Position STI : Point de mesure 2
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.71**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 3
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.71**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 4
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.88**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 5
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.75**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 6
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.77**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**



Points de mesure STI – Classe 6

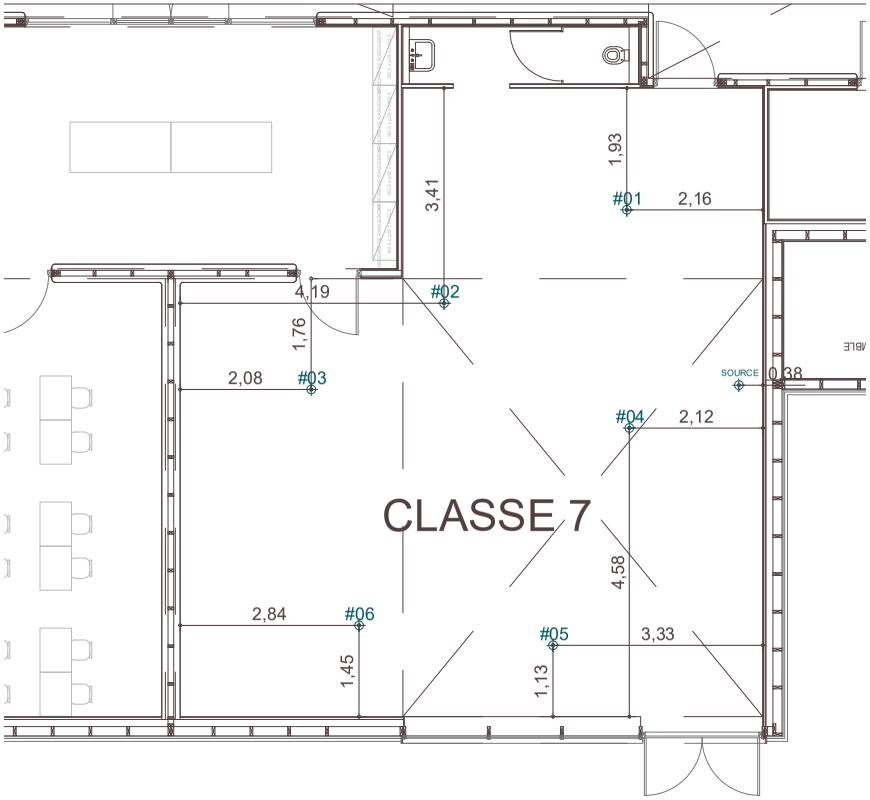
Rapport STI 17/08/2021

Project : Classe 7 - Bouvron **Opérateur :** MMS

Description : Salle de classe non meublée / Une personne pendant la mesure.

Full STI	**Moyenne arithmétique**	**0.64**
	Déviation standard σ	0.07
	Moyenne - σ	**0.56**

Position STI : Point de mesure 1	
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) :	**0.59**
L'échelle d'appréciation de STI :	**Moyen**
Position STI : Point de mesure 2	
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) :	**0.65**
L'échelle d'appréciation de STI :	**Bon**
Position STI : Point de mesure 3	
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) :	**0.62**
L'échelle d'appréciation de STI :	**Bon**
Position STI : Point de mesure 4	
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) :	**0.78**
L'échelle d'appréciation de STI :	**Excellent**
Position STI : Point de mesure 5	
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) :	**0.59**
L'échelle d'appréciation de STI :	**Moyen**
Position STI : Point de mesure 6	
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) :	**0.59**
L'échelle d'appréciation de STI :	**Moyen**



Points de mesure STI – Classe 7

Rapport STI

Date : 21/04/2021

Project : Classe 1 - Baulon **Opérateur :** MMS

Description : Salle de classe meublée / Une personne pendant la mesure.

Full STI	**Moyenne arithmétique**	**0.68**
	Déviation standard σ	0.03
	Moyenne - σ	**0.65**

Position STI : Point de mesure 1
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.70**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 2
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.72**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 3
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.69**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

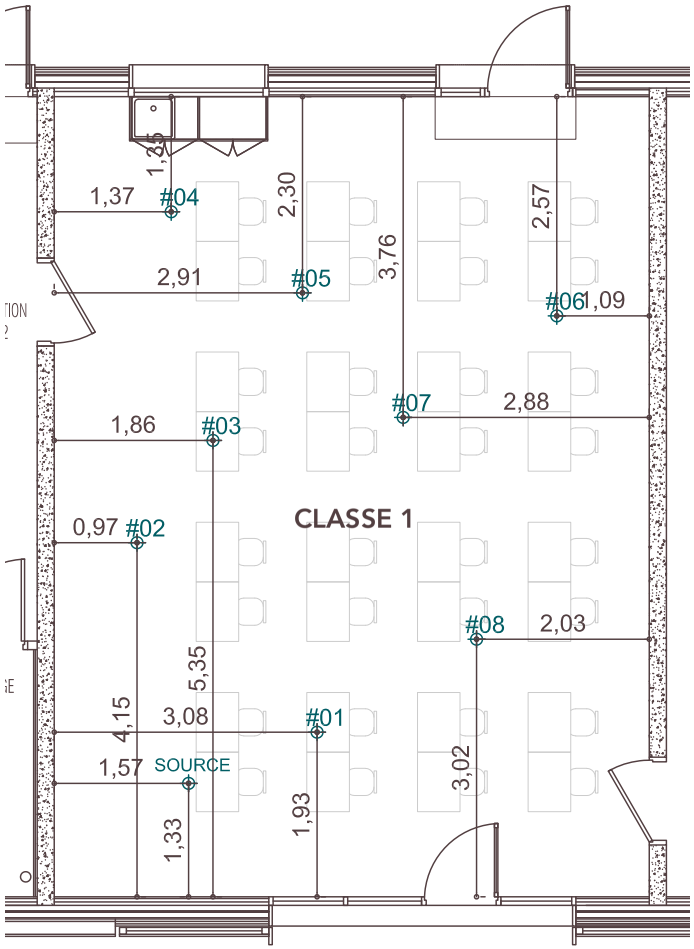
Position STI : Point de mesure 4
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.68**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 5
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.68**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 6
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.65**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 7
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.68**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 8
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.63**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**



Points de mesure STI – Classe 1

Rapport STI 21/04/2021

Project : Classe 2 - Baulon **Opérateur :** MMS

Description : Salle de classe meublée / Une personne pendant la mesure.

Full STI	**Moyenne arithmétique**	**0.79**
	Déviation standard σ	0.05
	Moyenne - σ	**0.73**

Position STI : Point de mesure 1
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.85**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

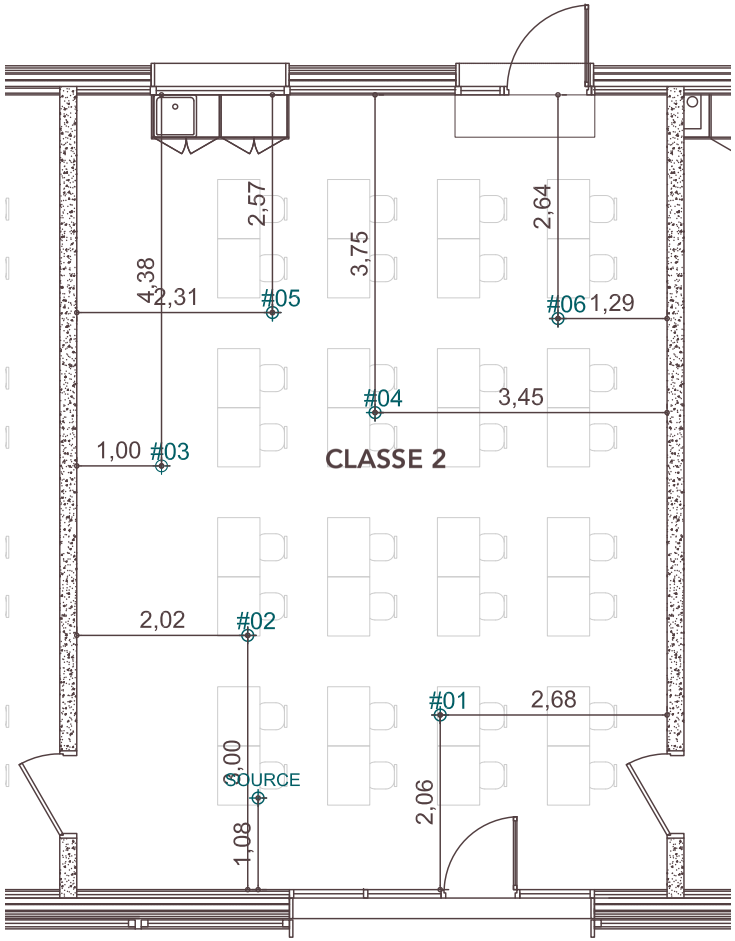
Position STI : Point de mesure 2
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.85**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 3
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.74**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 4
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.75**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 5
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.76**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 6
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.76**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**



Points de mesure STI – Classe 2

Rapport STI

Date : 04/03/2021 **Project :** Classe 1 - Fégréac **Opérateur :** MMS

Description : Salle de classe meublée / Une personne pendant la mesure.

Full STI	**Moyenne arithmétique**	**0.77**
	Déviation standard σ	0.08
	Moyenne - σ	**0.69**

Position STI : Point de mesure 1
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.92**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 2
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.84**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 3
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.78**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

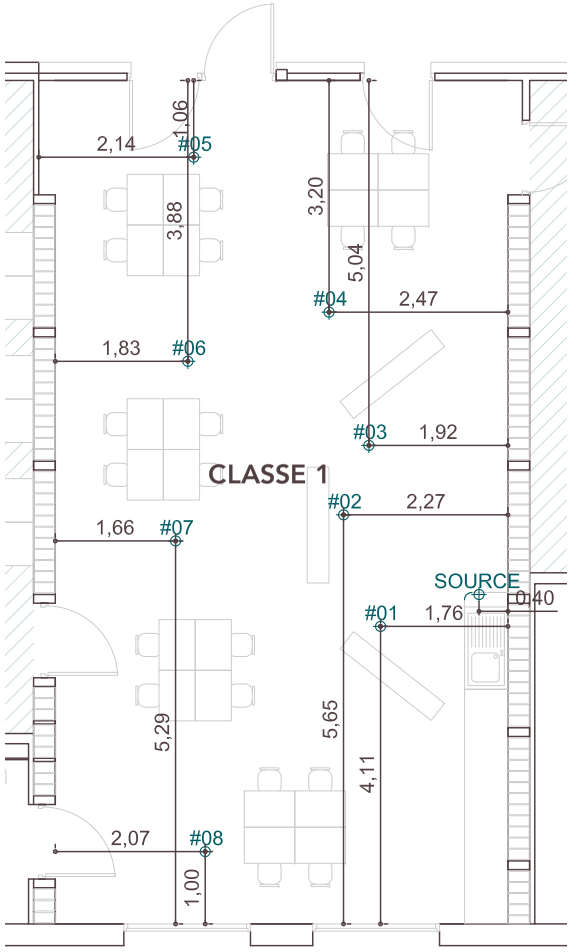
Position STI : Point de mesure 4
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.71**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 5
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.74**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 6
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.69**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 7
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.74**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 8
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.71**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**



Points de mesure STI – Classe 1

Rapport STI

Date : 22/04/2021

Project : Classe 2 - Fégréac **Opérateur :** MMS

Description : Salle de classe meublée / Une personne pendant la mesure.

Full STI	**Moyenne arithmétique**	**0.74**
	Déviation standard σ	0.04
	Moyenne - σ	**0.70**

Position STI : Point de mesure 1
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.82**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 2
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.76**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

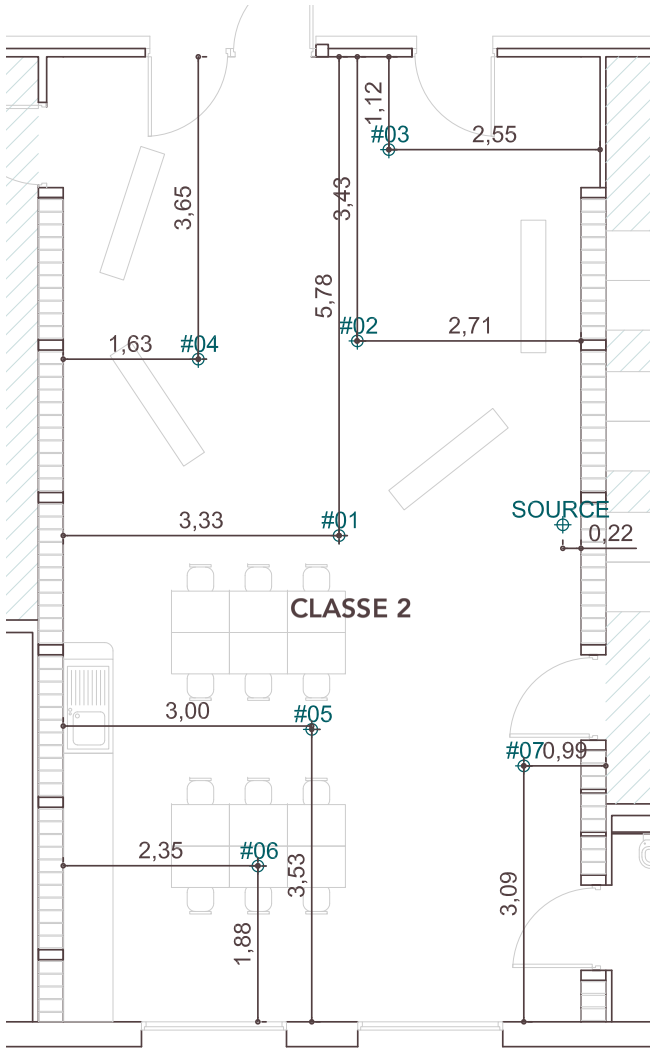
Position STI : Point de mesure 3
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.70**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 4
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.76**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 5
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.73**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 6
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.73**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 7
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.71**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**



Points de mesure STI – Classe 2

Rapport STI

Date : 22/04/2021

Project : Classe 3 - Fégréac **Opérateur :** MMS

Description : Salle de classe meublée / Une personne pendant la mesure.

Full STI	**Moyenne arithmétique**	**0.74**
	Déviation standard σ	0.05
	Moyenne - σ	**0.69**

Position STI : Point de mesure 1
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.83**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 2
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.75**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

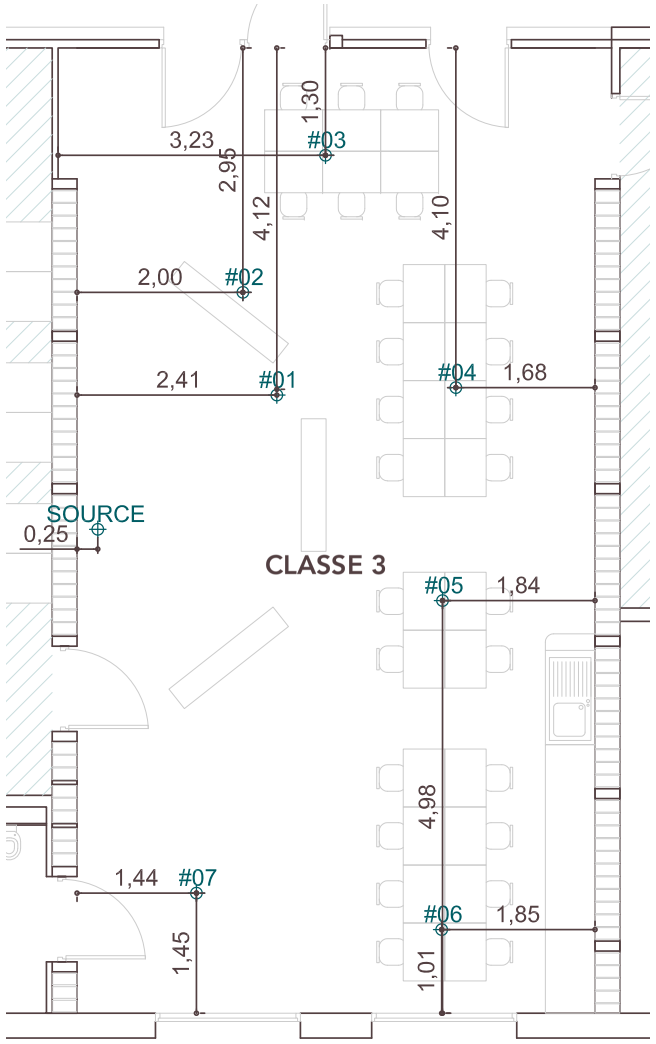
Position STI : Point de mesure 3
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.70**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 4
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.77**
L'échelle d'appréciation de STI : **Excellent**

Position STI : Point de mesure 5
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.72**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 6
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.73**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 7
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.69**
L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**



Points de mesure STI – Classe 3

Rapport STI

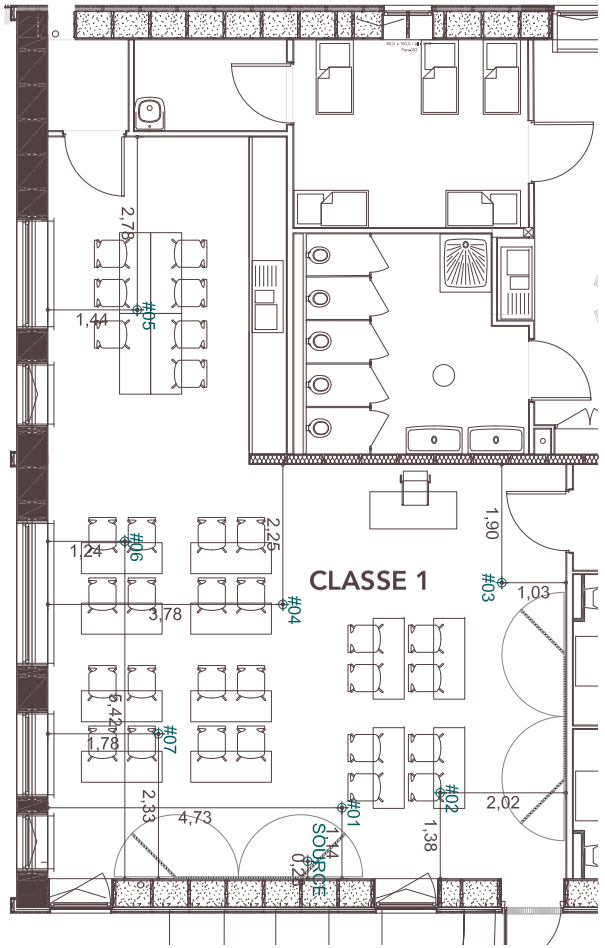
Date : 22/04/2021

Project : Classe 1 - Mouais **Opérateur :** MMS

Description : Salle de classe meublée / Une personne pendant la mesure.

Full STI	**Moyenne arithmétique**	**0.74**
	Déviation standard σ	0.10
	Moyenne - σ	**0.64**

Position STI : Point de mesure 1	
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) :	**0.93**
L'échelle d'appréciation de STI :	**Excellent**
Position STI : Point de mesure 2	
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) :	**0.67**
L'échelle d'appréciation de STI :	**Bon**
Position STI : Point de mesure 3	
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) :	**0.70**
L'échelle d'appréciation de STI :	**Bon**
Position STI : Point de mesure 4	
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) :	**0.80**
L'échelle d'appréciation de STI :	**Excellent**
Position STI : Point de mesure 5	
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) :	**0.66**
L'échelle d'appréciation de STI :	**Bon**
Position STI : Point de mesure 6	
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) :	**0.67**
L'échelle d'appréciation de STI :	**Bon**
Position STI : Point de mesure 7	
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) :	**0.74**
L'échelle d'appréciation de STI :	**Bon**



Points de mesure STI – Classe 1

Rapport STI

Date : 22/04/2021

Project : Classe 2 - Mouais **Opérateur :** MMS

Description : Salle de classe meublée / Une personne pendant la mesure.

Full STI	**Moyenne arithmétique**	**0.60**
	Déviation standard σ	0.08
	Moyenne - σ	**0.52**

Position STI : Point de mesure 1

STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.71**

L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 2

STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.61**

L'échelle d'appréciation de STI : **Bon**

Position STI : Point de mesure 3

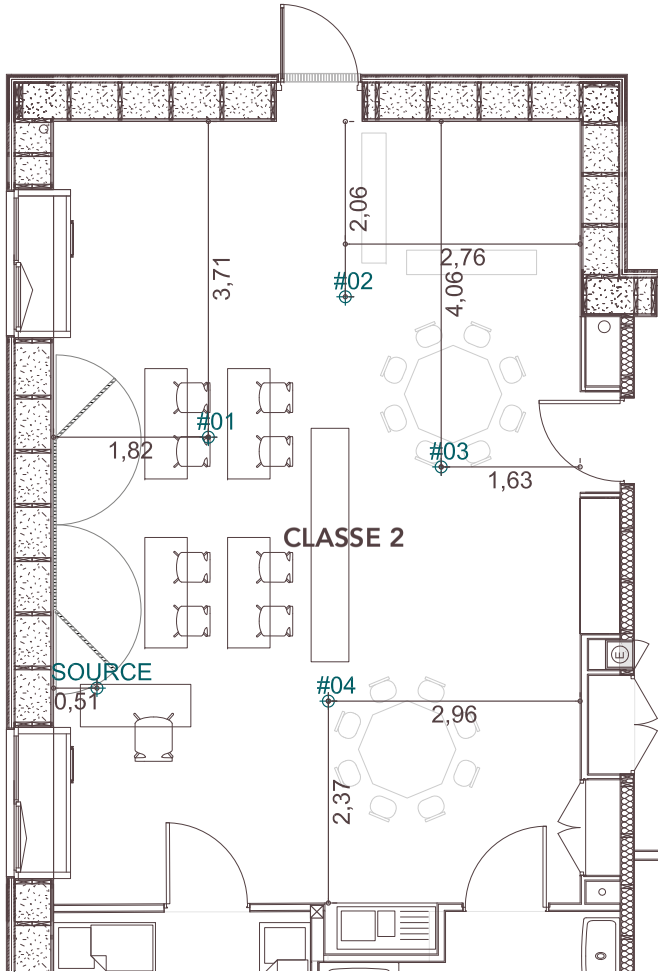
STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.51**

L'échelle d'appréciation de STI : **Moyen**

Position STI : Point de mesure 4

STI-CIS (Common Intelligibility Scale) : **0.58**

L'échelle d'appréciation de STI : **Moyen**



Points de mesure STI – Classe 2

3.6 Coefficient d'absorption in situ

3.6.1 Mur en bauge – École de Bouvron

Pièce mesurée	Élément mesuré	Vitesse du son (m/s)
Classe 7 pas meublée	Mur en terre (bauge) – Partie basse du mur avec finition	342.5630m/s
Classe 7 pas meublée	Mur en terre (bauge) – Partie haute du mur sans finition	344.3185m/s

Tableau 54 Informations sur la pièce mesurée, les parties du mur et la vitesse du son de la mesure (en fonction de la température, de l'humidité relative et de la pression atmosphérique de la pièce) - Bouvron.

Dans la partie basse du mur, nous avons mesuré l'absorption dans 11 points différents. À partir de ces 11 points nous calculons la moyenne des valeurs d'absorption en incidence normale (Figure 305).

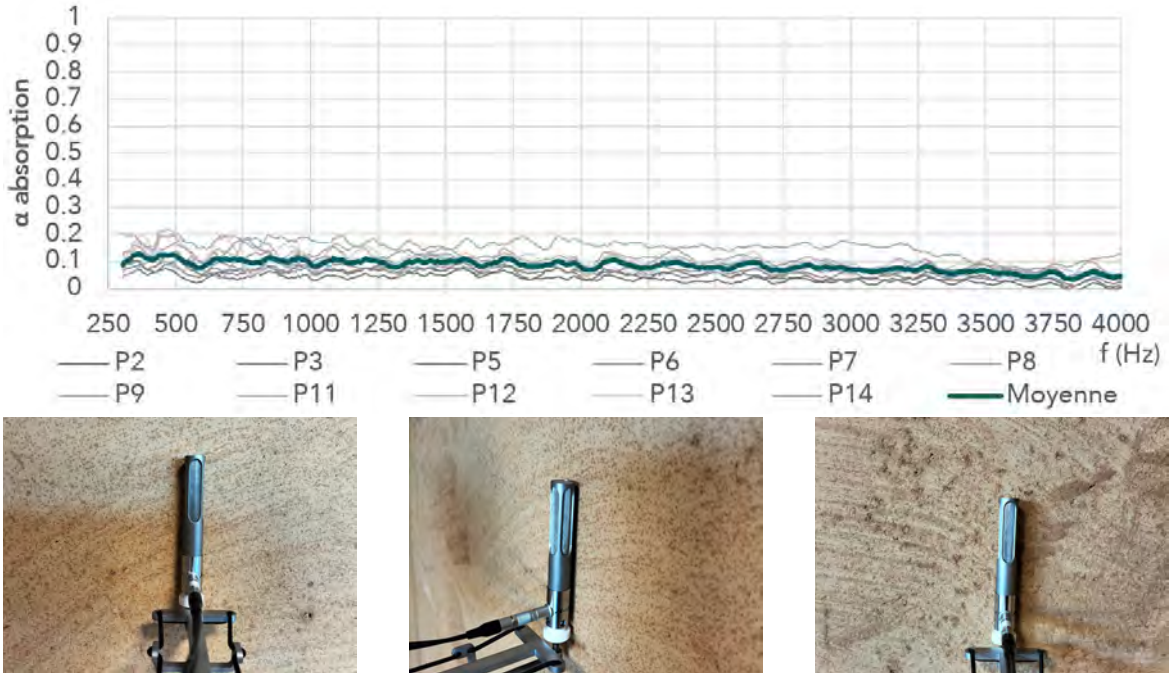


Figure 305 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique par fréquence et photographies de la mesure. Mur en bauge (partie basse) – Bouvron.

À partir des valeurs obtenus en incidence normal (in situ), et selon la procédure décrite à la partie 3.2.2.2.3.1, nous avons calculé les coefficients d'absorption en champ diffus (Figure 306).

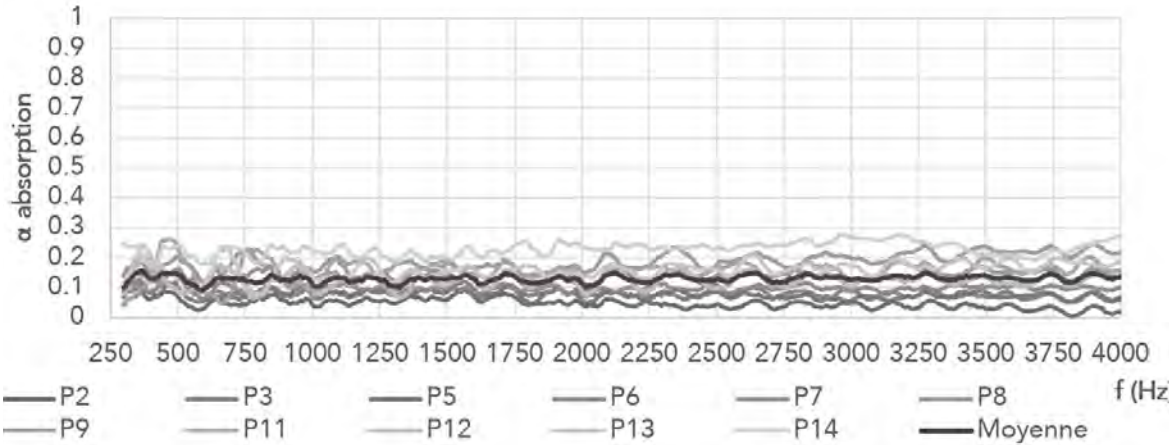


Figure 306 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus par fréquence. Mur bauge (partie basse) – Bouvron.

L'absorption en champs diffus est légèrement plus élevée qu'en incidence normale et surtout vers les hautes fréquences (Figure 307).

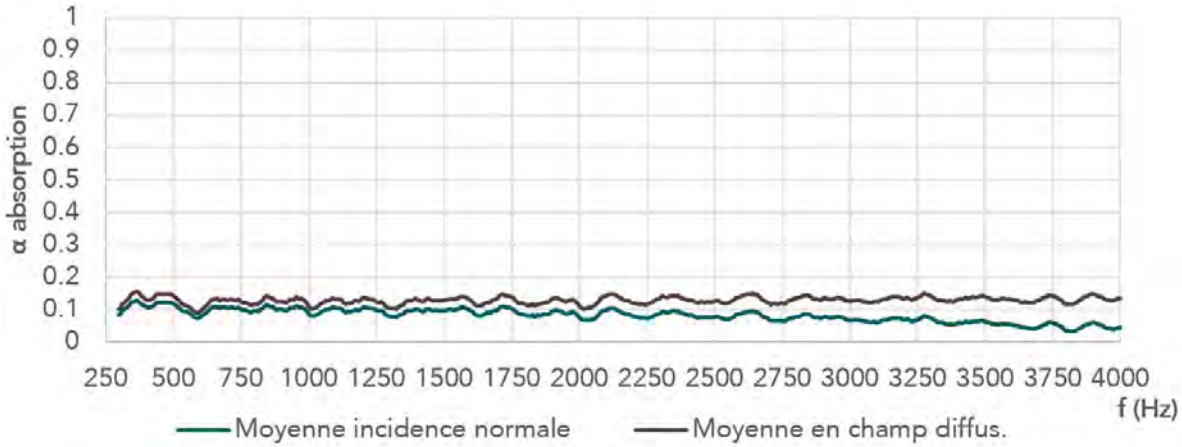


Figure 307 Comparatif entre la valeur moyenne d'absorption en incidence normale et en champs diffus. Mur en bauge (partie basse) – Bouvron.

Dans la partie haute du mur, nous avons mesuré l'absorption dans 8 points différents. À partir de ces 8 points nous calculons la moyenne des valeurs d'absorption en incidence normale (Figure 308).

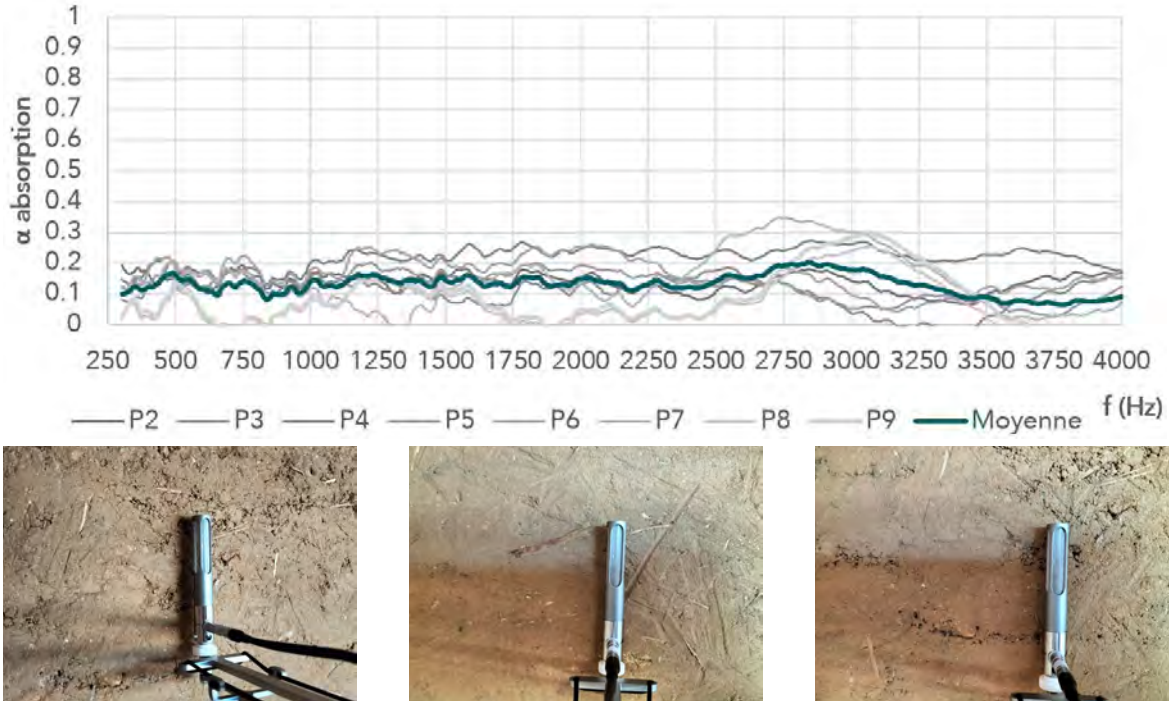


Figure 308 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique par fréquence et photographies de la mesure. Mur en bauge (partie basse) – Bouvron.

Selon le même procédé, nous avons calculé les coefficients d'absorption en champ diffus (Figure 309) et réalisé une comparaison entre l'absorption en incidence normale et celle calculée en champs diffuse (Figure 310).

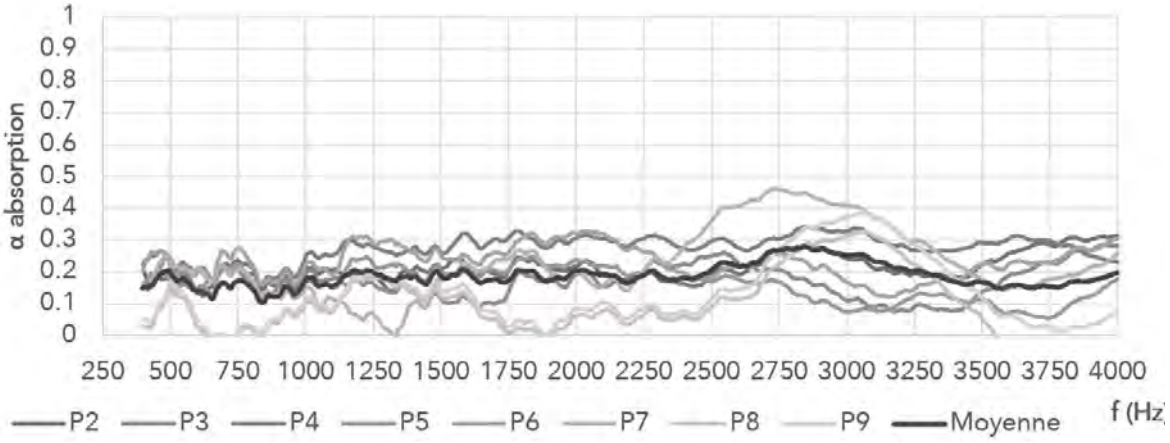


Figure 309 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus par fréquence. Mur en bauge (partie haute) – Bouvron.

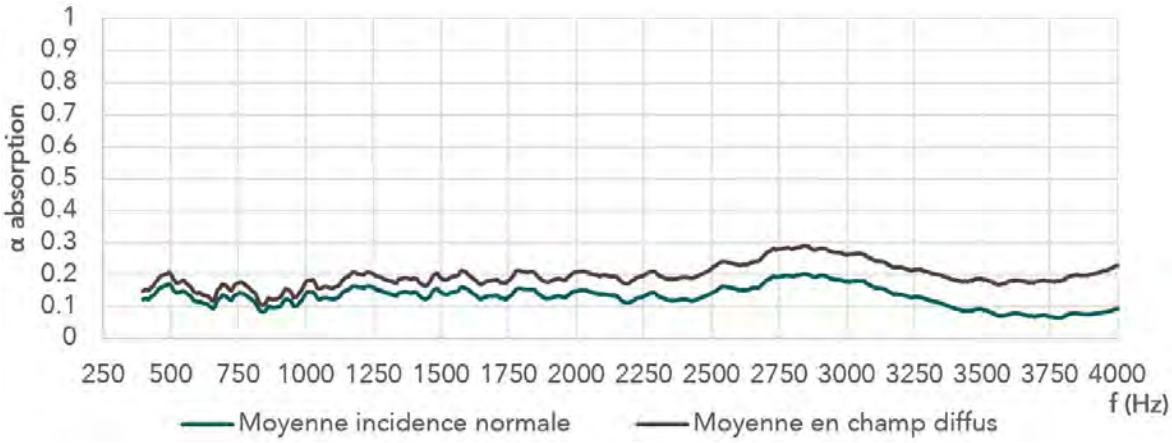


Figure 310 Comparatif entre la valeur moyenne d'absorption en incidence normale et en champs diffus. Mur en bauge (partie haute) – Bouvron.

3.6.2 Mur en torchis et terre allégée - École de Baulon

Pièce mesurée	Élément mesuré	Vitesse du son (m/s)
Classe 1 meublée	Mur en terre et chanvre (torchis)	342.3285m/s
Bibliothèque meublée	Mur en terre-chanvre (terre allégée)	342.6219m/s

Tableau 55 Informations sur la pièce mesurée, les parties du mur et la vitesse du son de la mesure (en fonction de la température, de l'humidité relative et de la pression atmosphérique de la pièce) – Baulon.

Pour le mur en torchis de la classe 1 de Baulon, nous avons mesuré l'absorption en incidence normale dans 13 points et calculé également la moyenne (Figure 311).

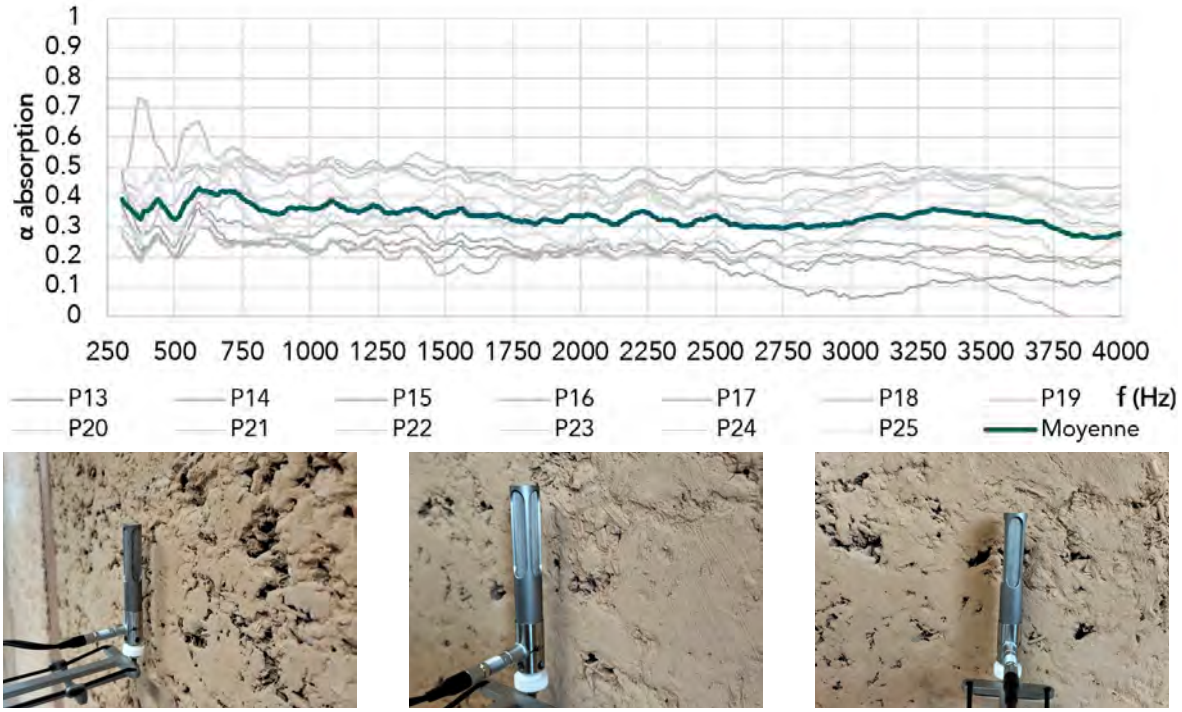


Figure 311 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique par fréquence et photographies de la mesure. Mur en terre et chanvre (torchis) – Baulon.

Selon le même procédé qu'à Bouvron, nous avons calculé les coefficients d'absorption en champ diffus (Figure 312) et réalisé le comparatif entre l'incidence nomrmale et le champ diffus (Figure 313).

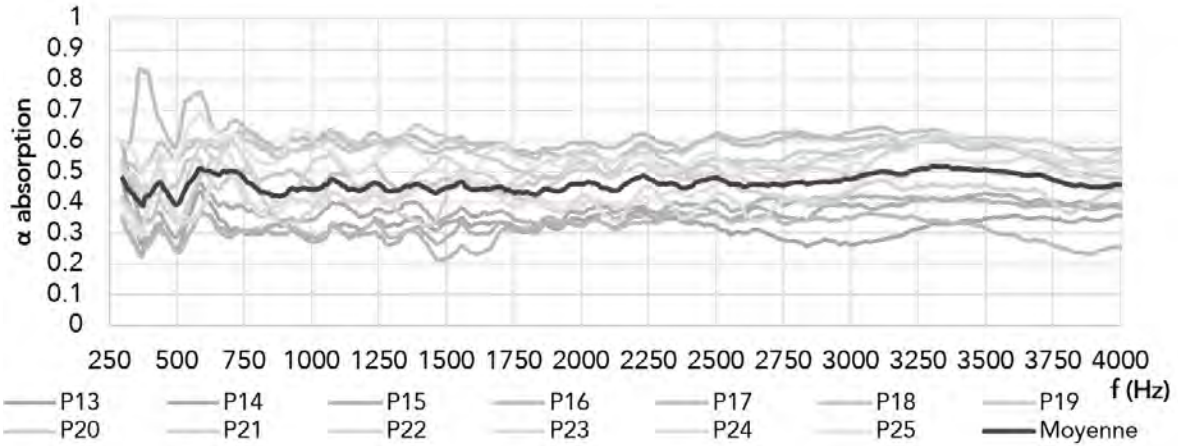


Figure 312 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus par fréquence. Mur en terre et chanvre (torchis) – Baulon.

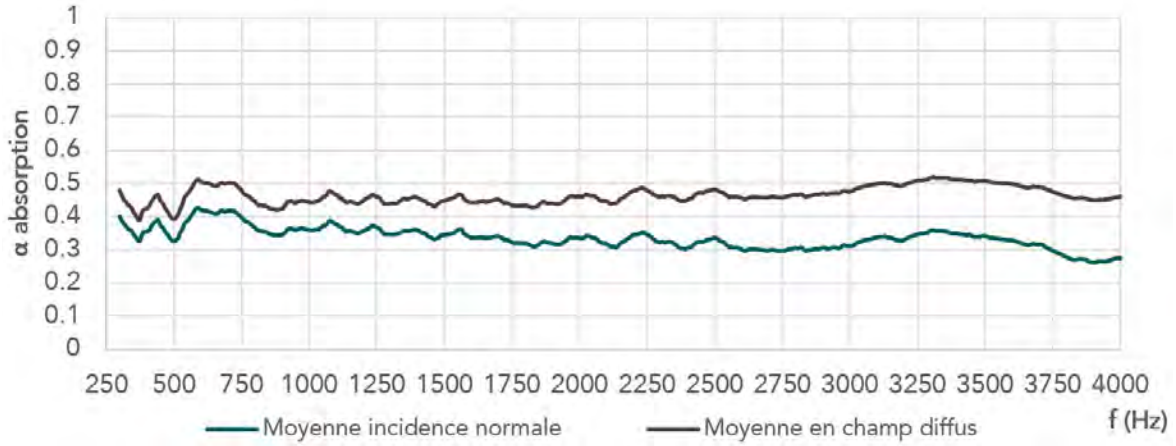


Figure 313 Comparatif entre la valeur moyenne d'absorption en incidence normale et en champs diffus. Mur en terre et chanvre (torchis) – Baulon.

Dans la bibliothèque nous avons mesuré l'absorption en incidence normale d'un témoin laissé apparent de mur en terre allégée. Nous avons mesuré l'absorption dans 4 points et calculé la moyenne (Figure 314).

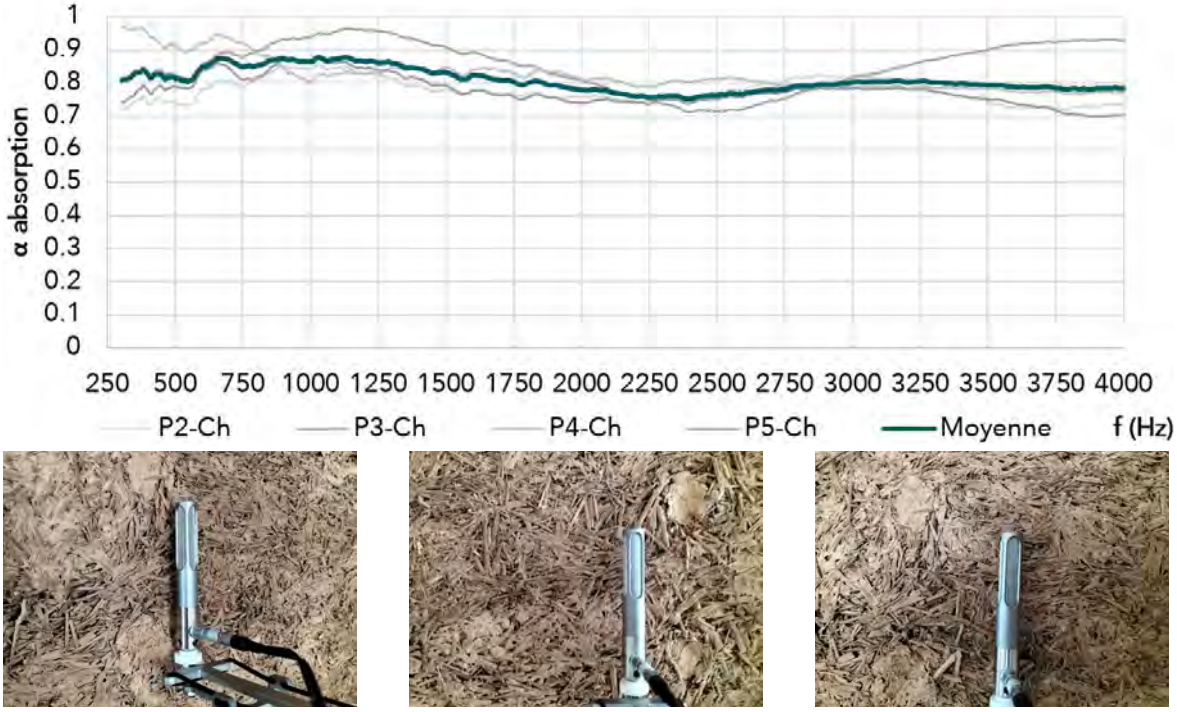


Figure 314 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique par fréquence et photographies de la mesure. Mur en terre et chanvre (terre allégée) – Baulon.

Nous avons calculé les coefficients d'absorption en champ diffus (Figure 315) et réalisé le comparatif entre l'incidence normale et le champ diffus (Figure 316).

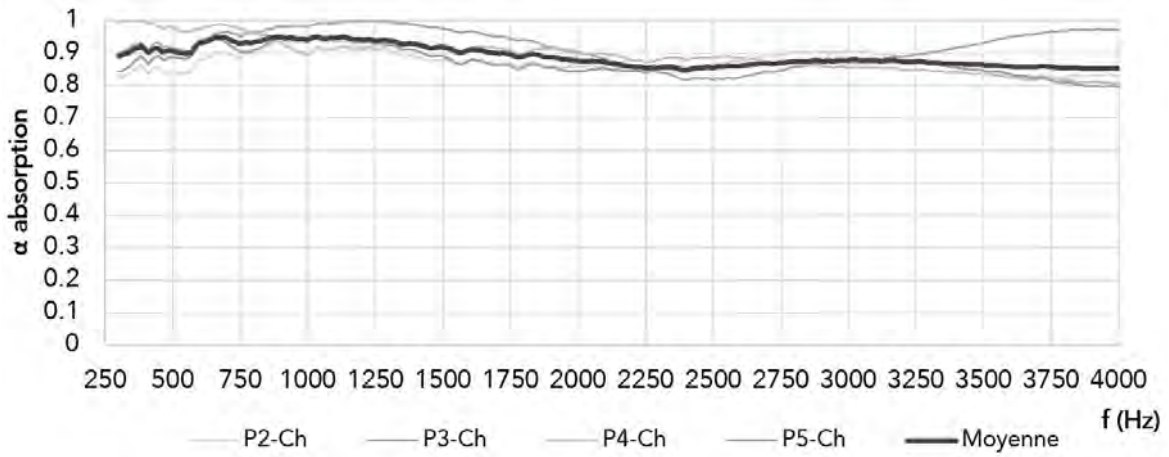


Figure 315 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus par fréquence. Mur en terre et chanvre (terre allégée) – Baulon.

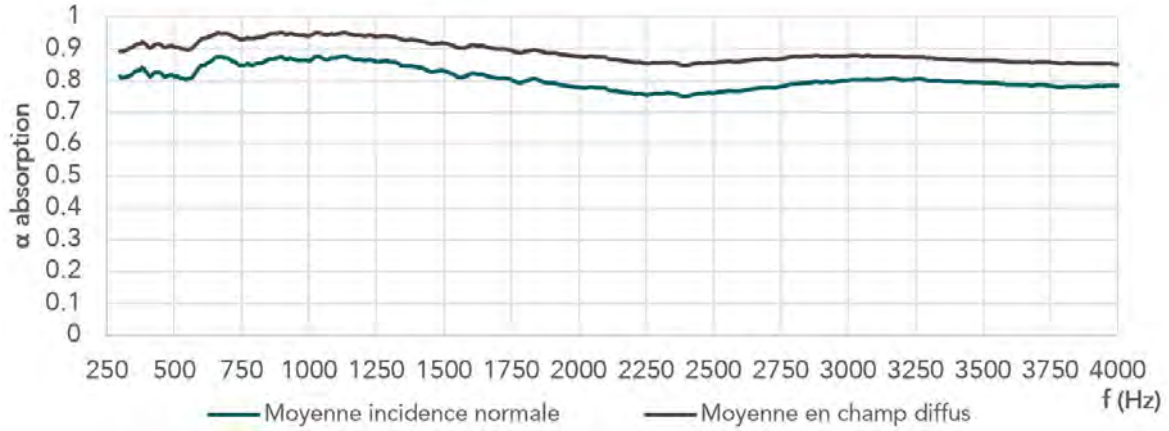


Figure 316 Comparatif entre la valeur moyenne d'absorption en incidence normale et en champs diffus. Mur en terre et chanvre (terre allégée) – Baulon.

3.6.3 Mur en Brique de Terre Comprimée (BTC) - École de Fégréac

Pièce mesurée	Élément mesuré	Vitesse du son (m/s)
Hall d'entrée	Mur en brique de terre crue stabilisé à la chaux (BTC).	342.3285m/s

Tableau 56 Informations sur la pièce mesurée, les parties du mur et la vitesse du son de la mesure (en fonction de la température, de l'humidité relative et de la pression atmosphérique de la pièce).

Pour calculer la moyenne du mur en BTC de Fégréac, nous avons réalisé 9 points de mesure sur les briques et 6 points sur les joints en incidence normale (Figure 317).

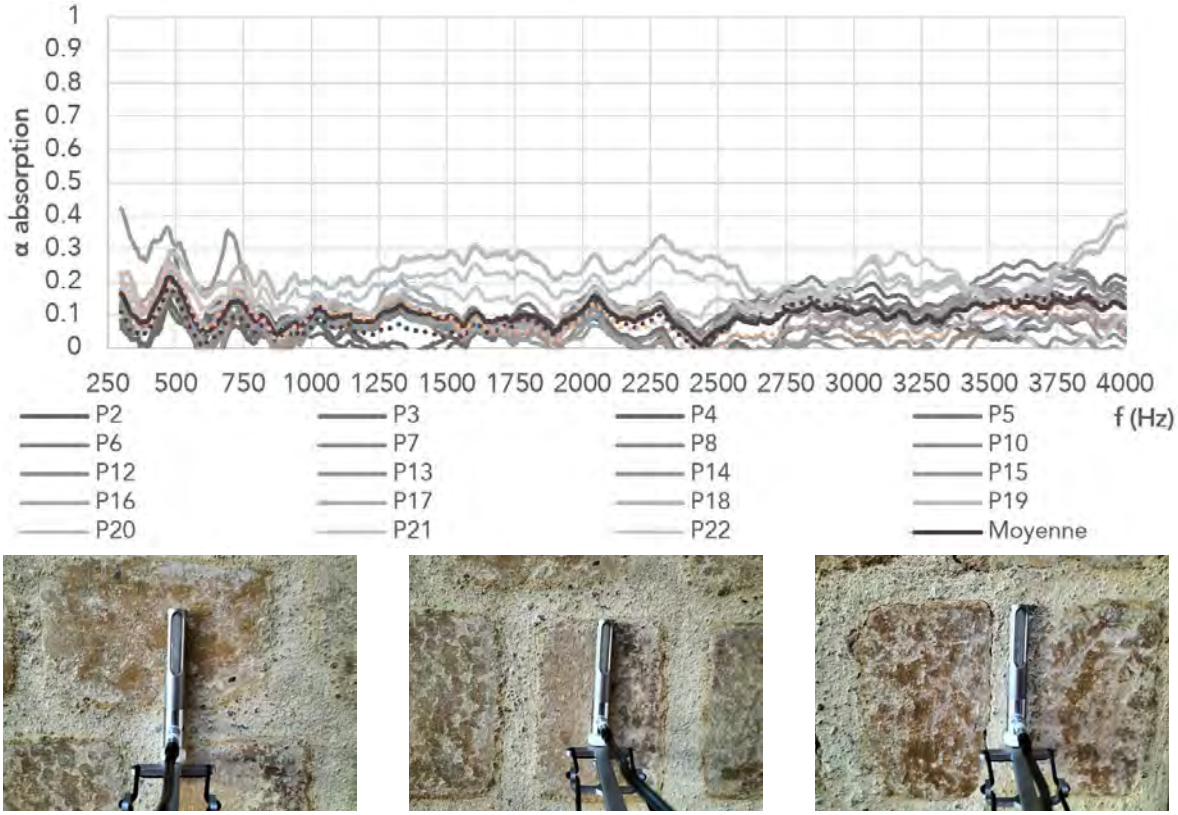


Figure 317 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique par fréquence et photographies de la mesure. Mur en brique de terre crue stabilisé à la chaux (BTC) - Fégréac.

Nous avons calculé les coefficients d'absorption en champ diffus (Figure 318) et réalisé le comparatif entre l'incidence nomarle et le champ diffus (Figure 319).

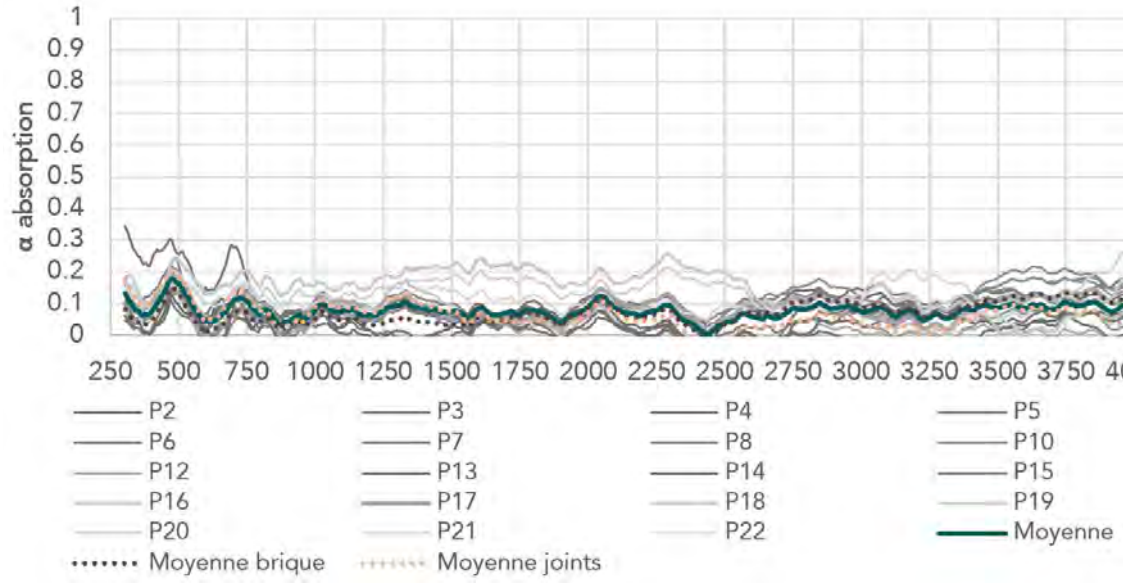


Figure 318 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus par fréquence. Mur en brique de terre crue stabilisé à la chaux (BTC) - Fégréac.

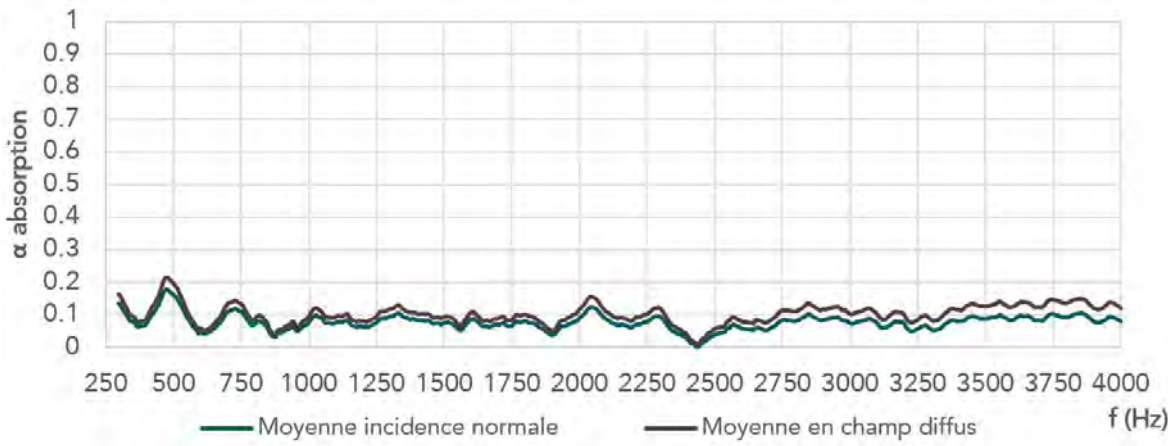


Figure 319 Comparatif entre la valeur moyenne d'absorption en incidence normale et en champs diffus Mur en brique de terre crue stabilisé à la chaux (BTC) - Fégréac.

3.6.4 Enduit en terre crue - École de Mouais

Pièce mesurée	Élément mesuré	Vitesse du son (m/s)
Classe 1	Enduit terre sur support terre-paille	344.2017m/s
Classe 2	Enduit terre sur bottes de paille	343.6760m/s

Tableau 57 Informations sur la pièce mesurée, les parties du mur et la vitesse du son de la mesure (en fonction de la température, de l'humidité relative et de la pression atmosphérique de la pièce).

Pour calculer la moyenne du coefficient d'absorption de l'enduit terre crue sur un support terre – paille de la classe 1, nous avons réalisé 5 points de mesure (Figure 320).

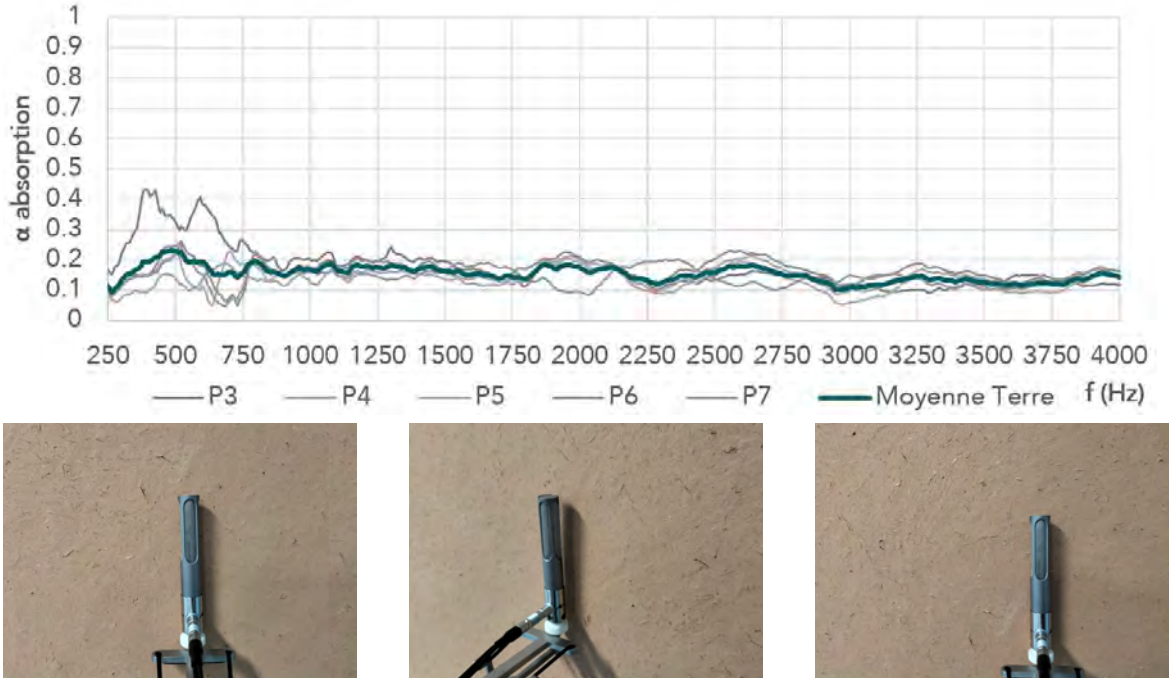


Figure 320 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique par fréquence et photographies de la mesure. Enduit terre sur support terre-paille – Mouais.

Comme pour les autres écoles, nous avons calculé les coefficients d'absorption en champ diffus (Figure 321) et réalisé le comparatif entre l'incidence normale et le champ diffus (Figure 322).

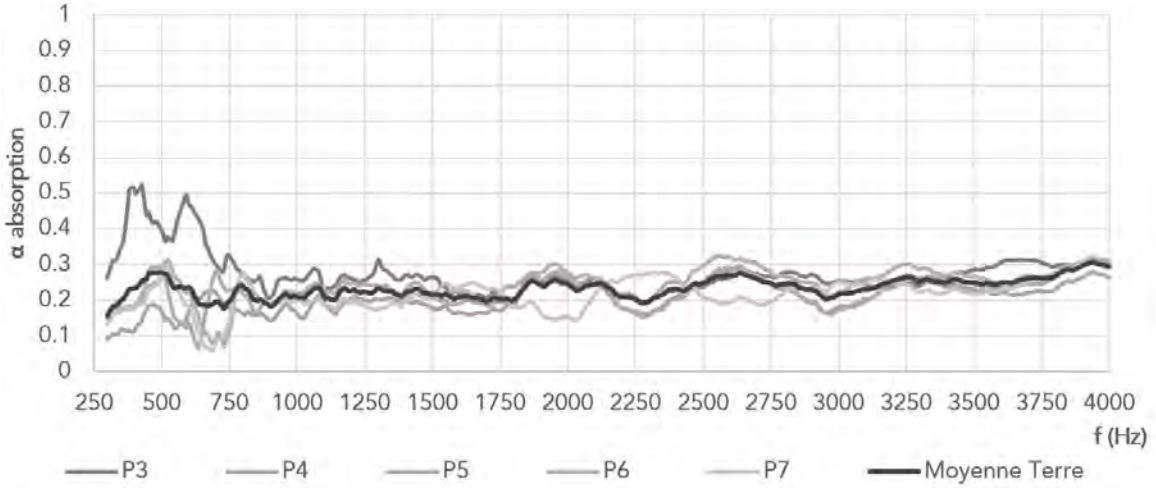


Figure 321 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus par fréquence. Enduit terre sur support terre-paille – Mouais

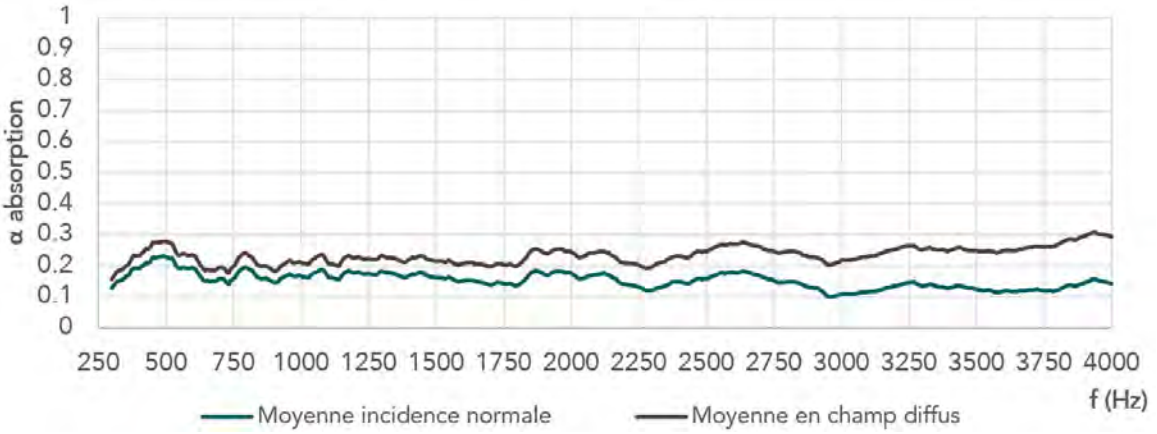


Figure 322 Comparatif entre la valeur moyenne d'absorption en incidence normale et en champs diffus Enduit terre sur support terre-paille – Mouais.

Dans la classe 2 de Mouais, nous avons réalisé un total de 11 points de mesure pour calculer la moyenne de l'enduit terre crue sur le support des bottes de pailles (Figure 323).

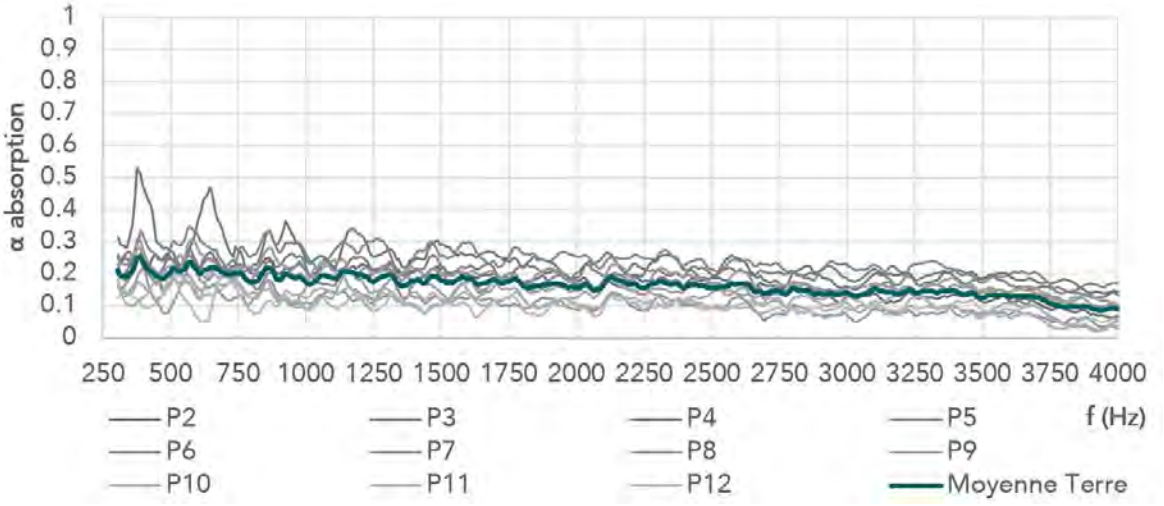


Figure 323 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique par fréquence et photographies de la mesure. Enduit terre sur bottes de paille – Mouais.

Nous avons calculé les coefficients d'absorption en champ diffus (Figure 324) et réalisé le comparatif entre l'incidence normale et le champ diffus (Figure 325).

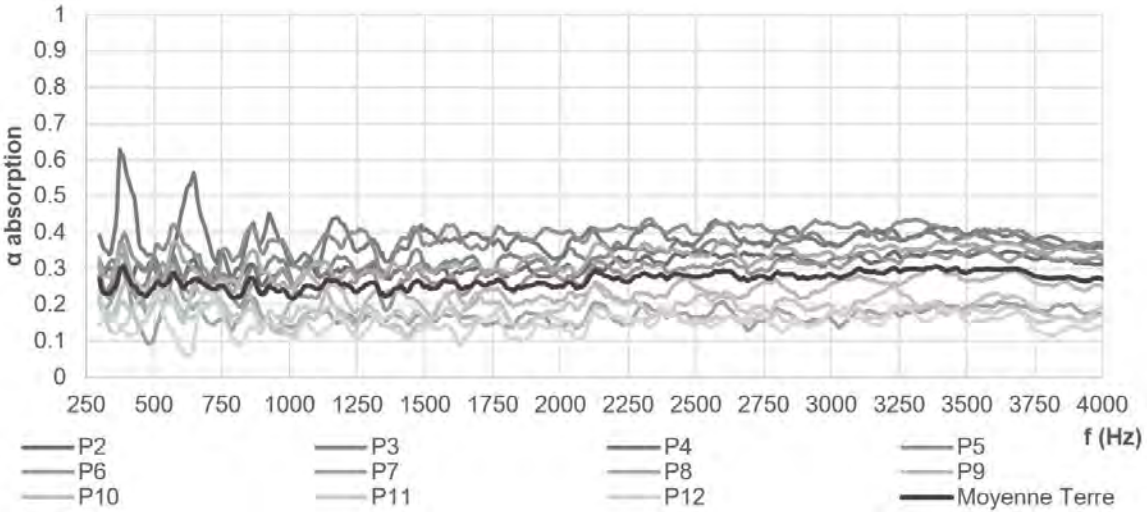


Figure 324 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus par fréquence. Enduit terre sur bottes de paille – Mouais.

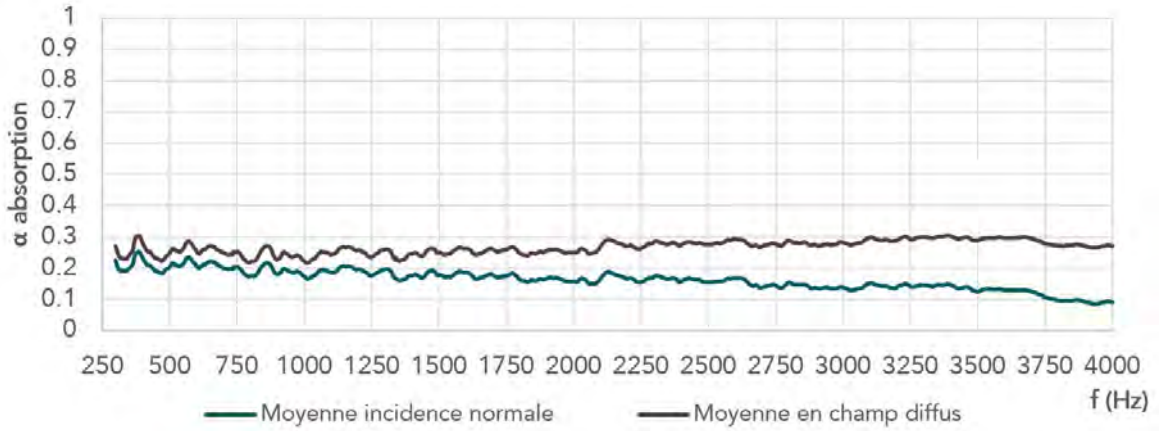
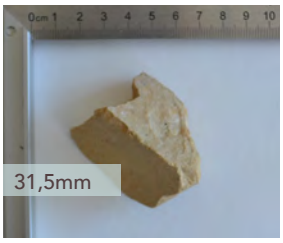


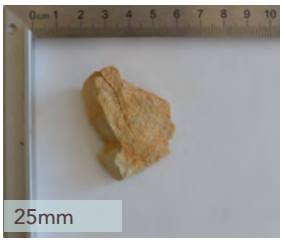
Figure 325 Comparatif entre la valeur moyenne d'absorption en incidence normale et en champs diffus . Enduit terre sur bottes de paille – Mouais.

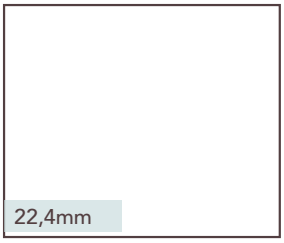
Annexe 4. Données du tube de Kundt

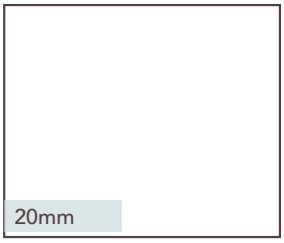
4.1 Granulométrie des terres des éprouvettes du tube de Kundt

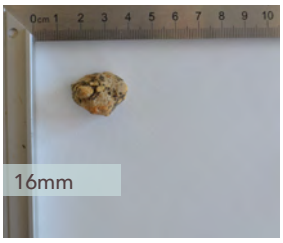
GRANULOMÉTRIE - TERRE 1 Baulon

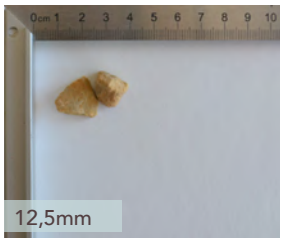


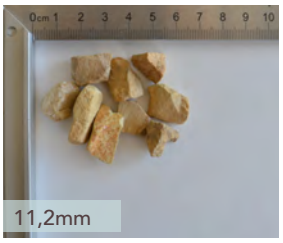


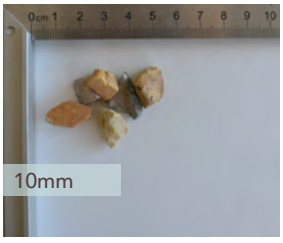


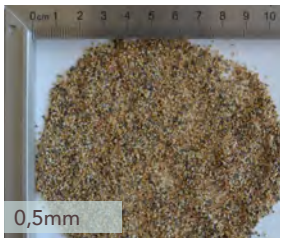


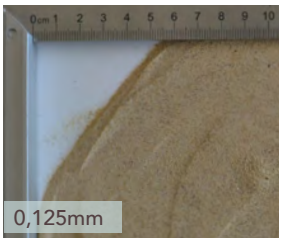


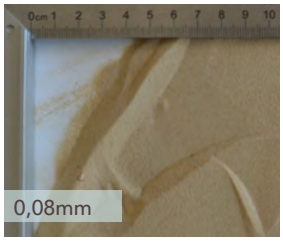


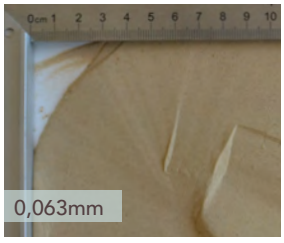








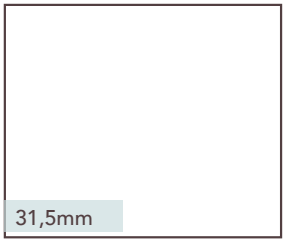




Ouverture tamis (mm)	Masse sèche (g)
40.000	0.00
31.500	73.10
25.000	23.80
22.400	0.00
20.000	0.00
16.000	6.40
14.000	27.20
12.500	4.30
11.200	23.00
10.000	9.10

Ouverture tamis (mm)	Masse sèche (g)
8.000	23.90
4.000	82.20
2.000	39.00
1.000	24.00
0.500	14.00
0.250	16.00
0.125	76.00
0.080	112.00
0.063	43.00
< 0.063	600.00

GRANULOMÉTRIE - TERRE 3 Baulon

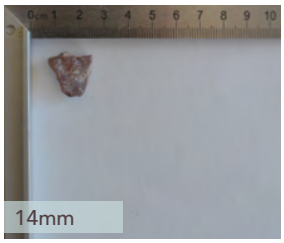

31,5mm

25mm

22,4mm

20mm

16mm


14mm

12,5mm

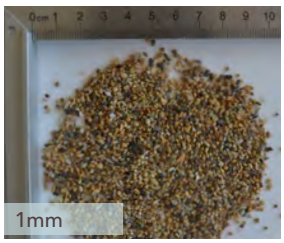
11,2mm

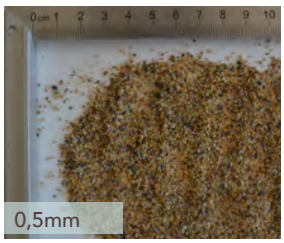
10mm

8mm

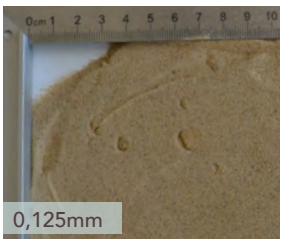
4mm

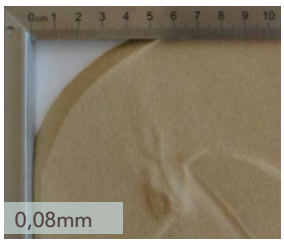
2mm

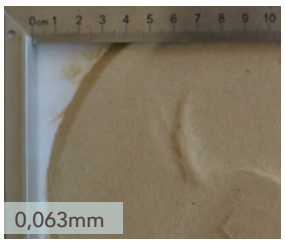

1mm


0,5mm

0,25mm


0,125mm

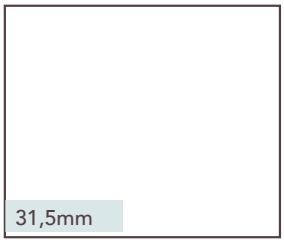

0,08mm

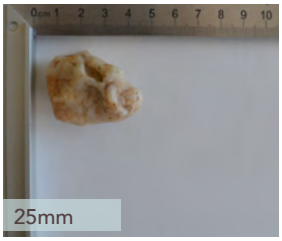

0,063mm

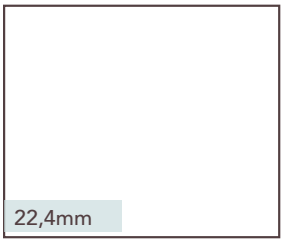
Ouverture tamis (mm)	Masse sèche (g)
40.000	0.00
31.500	0.00
25.000	80.30
22.400	50.50
20.000	55.40
16.000	48.50
14.000	3.10
12.500	12.70
11.200	9.20
10.000	14.60

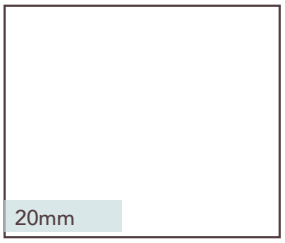
Ouverture tamis (mm)	Masse sèche (g)
8.000	24.80
4.000	78.00
2.000	33.00
1.000	15.00
0.500	14.00
0.250	15.00
0.125	86.00
0.080	82.00
0.063	42.00
< 0.063	535.00

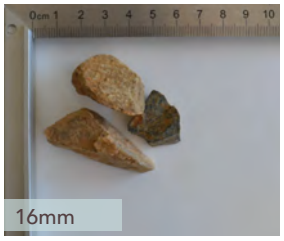
GRANULOMÉTRIE - TERRE 2 Bouvron

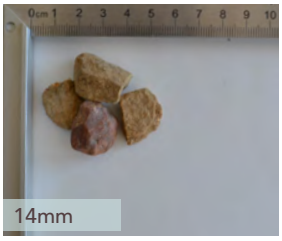


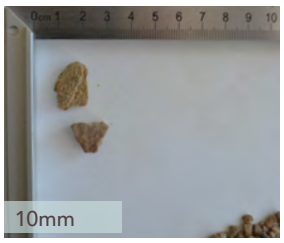


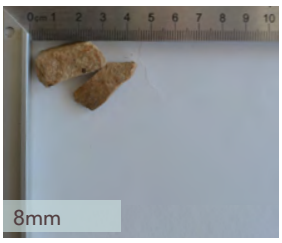


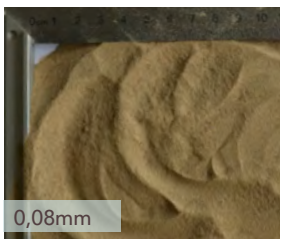












Ouverture tamis (mm)	Masse sèche (g)
40.000	0.00
31.500	0.00
25.000	33.00
22.400	0.00
20.000	0.00
16.000	30
14.000	19
12.500	8.1
11.200	3.1
10.000	18.16

Ouverture tamis (mm)	Masse sèche (g)
8.000	27.6
4.000	86.76
2.000	123.96
1.000	92.64
0.500	76.56
0.250	276
0.125	67.2
0.080	8.52
0.063	6.56
< 0.063	319.76

4.2 Diffraction et fluorescence des rayons X des terres des éprouvettes du tube de Kundt

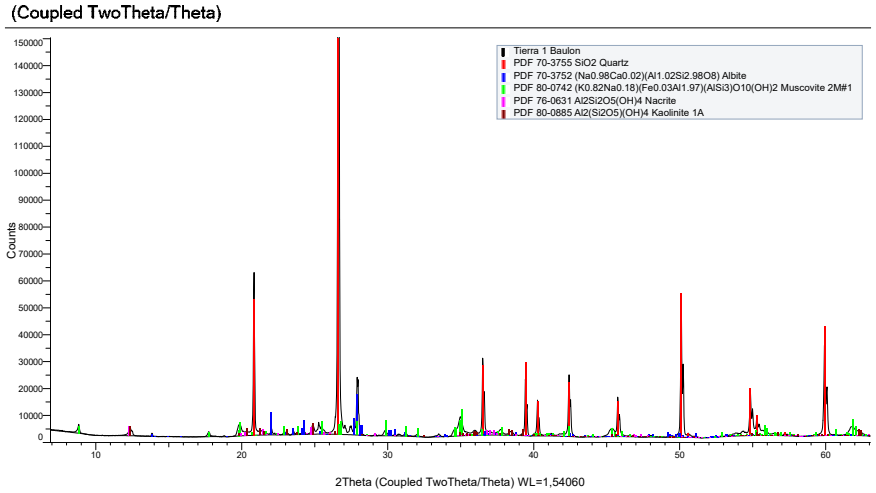


Figure 326 Diffraction des rayons X. Terre 1 - Baulon

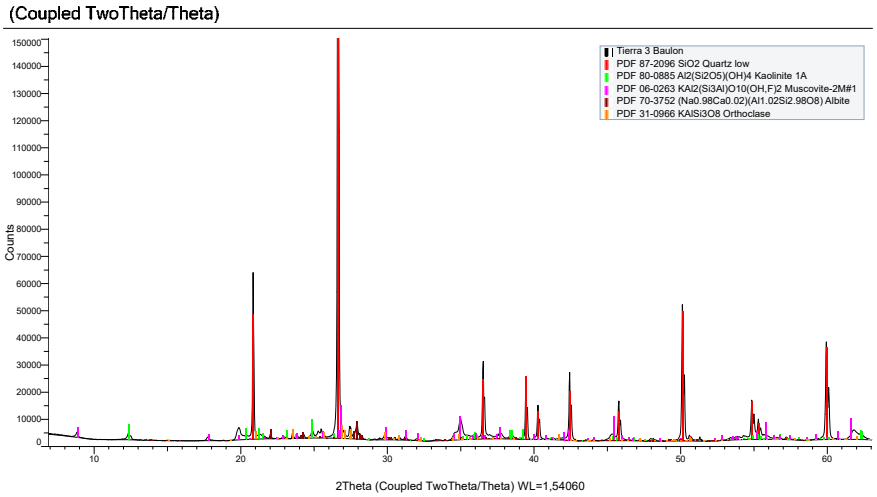


Figure 327 Diffraction des rayons X. Terre 3 – Baulon

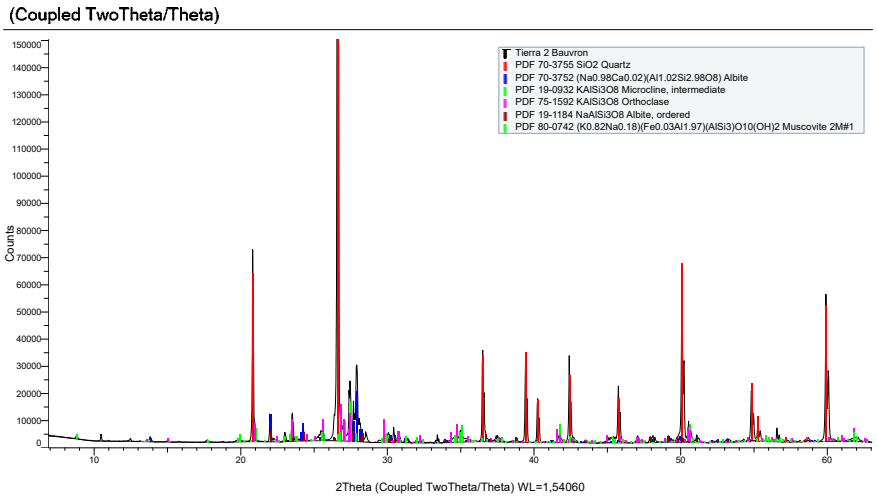


Figure 328 Diffraction des rayons X. Terre 2 – Bouvron

4.3 Densités éprouvettes

		CHANVRE							
		C-5%		C-15%		C-25%		C-50%	
		Densité	Écart type	Densité	Écart type	Densité	Écart type	Densité	Écart type
T1	N	1444.89	28.74	1087.80	15.80	807.23	37.45	**419.86**	**25.67**
	G	1397.47	46.26	1056.93	14.69				
	L	**1495.81**	**71.50**	1087.18	31.38				
T2	N	1440.10	29.22	922.80	7.38				
	G	1379.06	45.91						
	L	1436.53	50.04						
T3	N	1450.88	62.11	1026.29	29.41	614.72	20.41	439.47	16.19
	G	1399.09	31.95	1029.22	82.80				
	L	1441.29	14.54	1065.71	38.31				

Tableau 58 Densités moyennes (kg/m³) et écarts types des éprouvettes avec du chanvre.

		PAILLE							
		C-5%		C-15%		C-25%		C-50%	
		Densité	Écart type	Densité	Écart type	Densité	Écart type	Densité	Écart type
T1	N	**1515.05**	**35.99**	1095.61	23.38	882.35	40.07	**361.28**	**19.44**
	G	1502.83	17.26	1028.05	48.67	867.69	36.44		
	L	1534.03	19.05	1152.66	29.49	881.86	47.83		
T2	N	1463.13	21.48	915.09	25.42				
	G	1447.06	26.62						
	L	1514.98	28.01						
T3	N	1454.68	21.25	1179.56	29.87	880.31	61.60	434.11	20.44
	G	1454.69	6.95	1165.05	23.09	874.53	55.03		
	L	1500.37	18.81	1221.43	5.55	882.15	22.07		

Tableau 59 Densités moyennes (kg/m³) et écarts types des éprouvettes avec de la paille.

		LIN					
		C-5%		C-15%		C-25%	
		Densité	Écart type	Densité	Écart type	Densité	Écart type
T1	N	1367.77	16.88	1003.13	39.88	635.34	35.59
	G	1371.45	26.17	983.97	33.19		
	L	1421.52	32.92	1081.46	52.01		
T2	N	1412.80	15.99	853.43	85.71		
	G	1358.95	19.70				
	L	1401.40	27.44				
T3	N	**1507.84**	**19.98**	1079.47	6.22	**663.09**	**44.22**
	G	1493.62	41.23	1038.62	31.76		
	L	1485.75	25.79	1079.11	34.10		

Tableau 60 Densités moyennes (kg/m³) et écarts types des éprouvettes avec du lin.

4.4 Mesures du tube de Kundt

4.4.1 Terre 1 - Chanvre

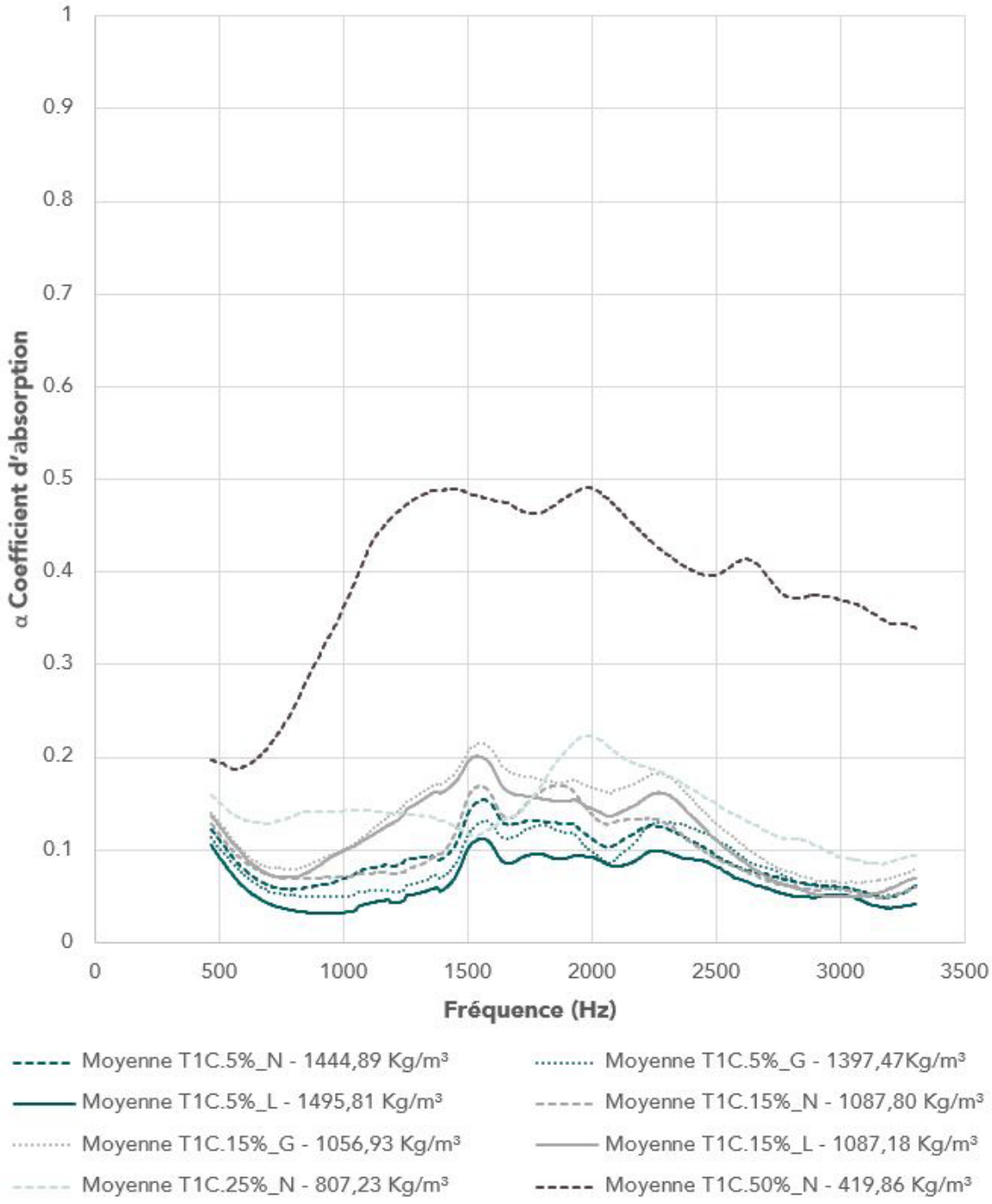
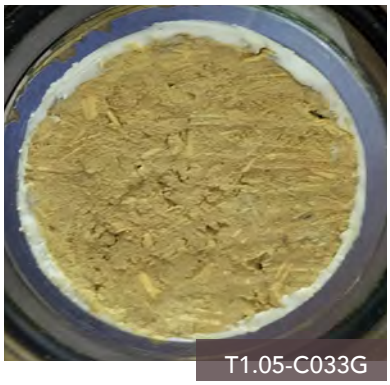
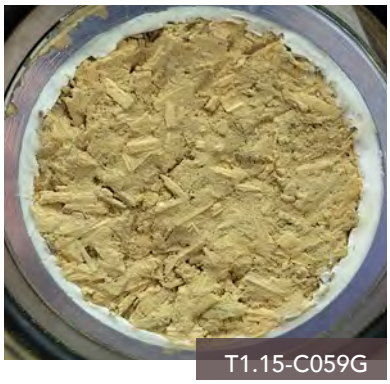


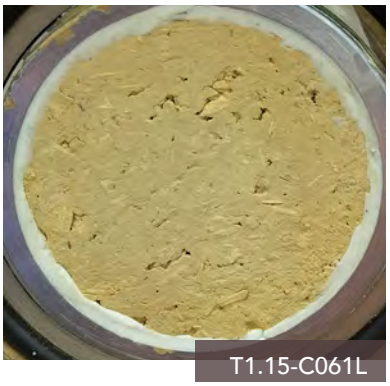
Figure 329 Coefficient d'absorption - Terre 1 - Chanvre

Terre 1 Baulon - 5% Chanvre



Terre 1 Baulon - 15% Chanvre





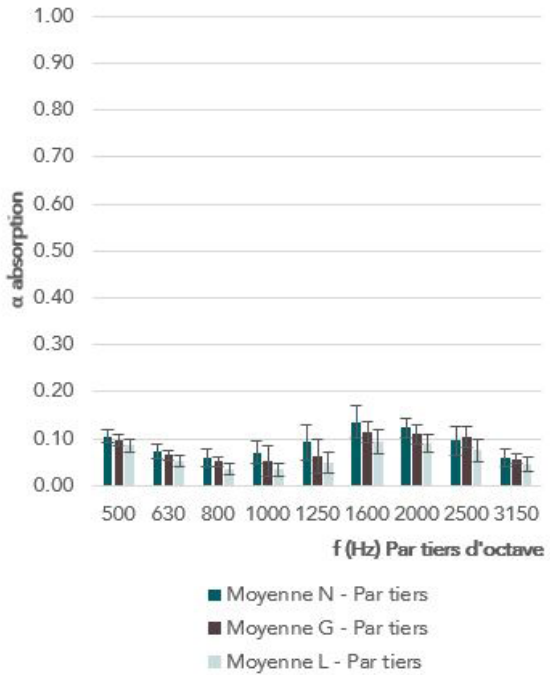
Terre 1 Baulon - 25% Chanvre

Terre 1 Baulon - 50% Chanvre

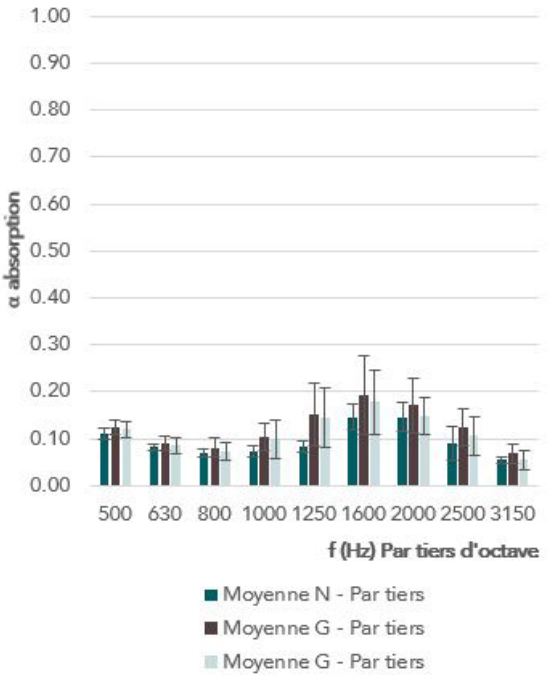
Figure 330 Exemple des échantillons, Terre 1- Chanvre

4.4.1.1 Terre 1 – Chanvre – Par tiers d'octave

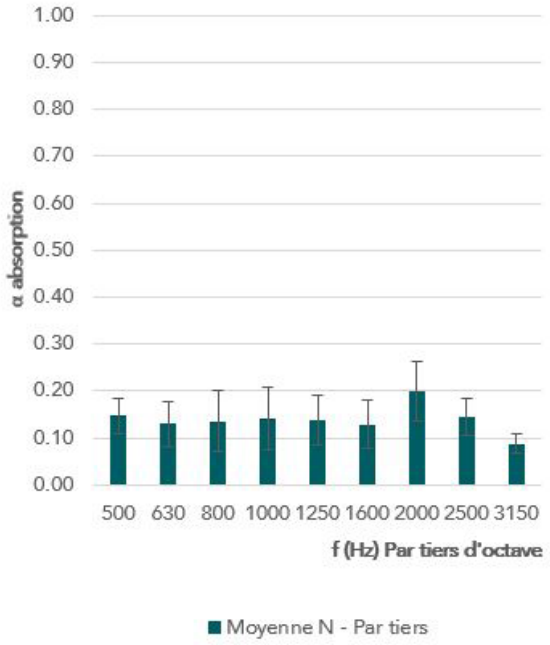
Terre 1 – 5% Chanvre : Par tiers d'octave



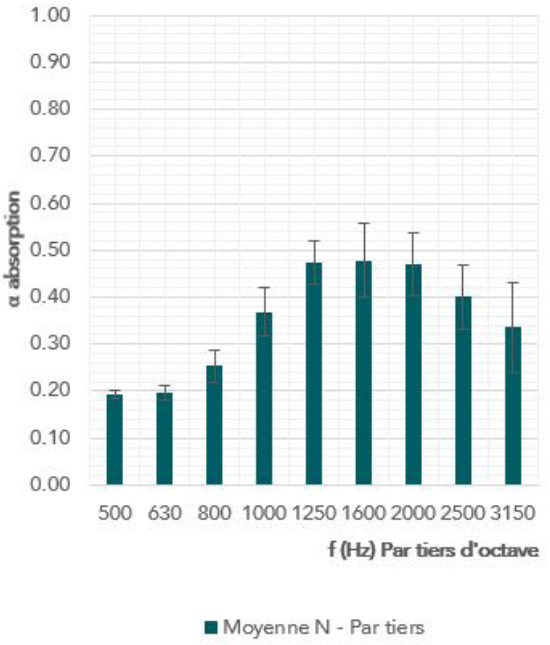
Terre 1 – 15% Chanvre : Par tiers d'octave



Terre 1 – 25% Chanvre : Par tiers d'octave



Terre 1 – 50% Chanvre : Par tiers d'octave



** Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les mesures des échantillons d'un même mélange et avec la même finition (normale, grattée et lisse).*

4.4.2 Terre 1 - Paille

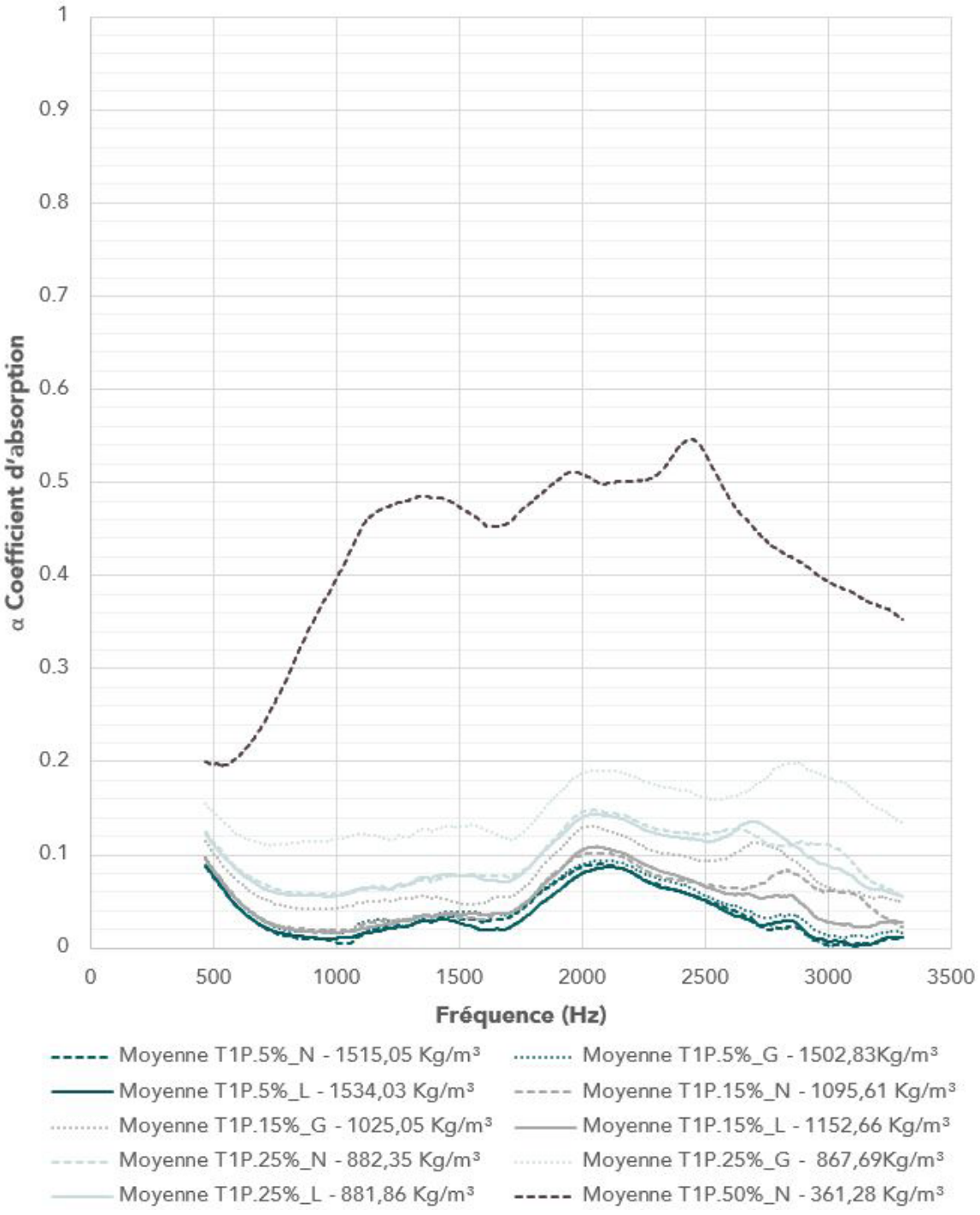


Figure 331 Coefficient d'absorption - Terre 1- Paille

Terre 1 Baulon - 5% Paille

Terre 1 Baulon - 15% Paille

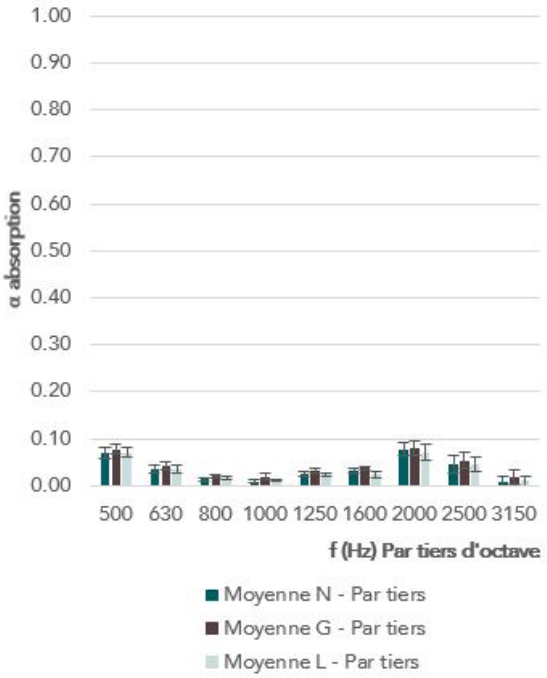
Terre 1 Baulon - 25% Paille

Terre 1 Baulon - 50% Chanvre

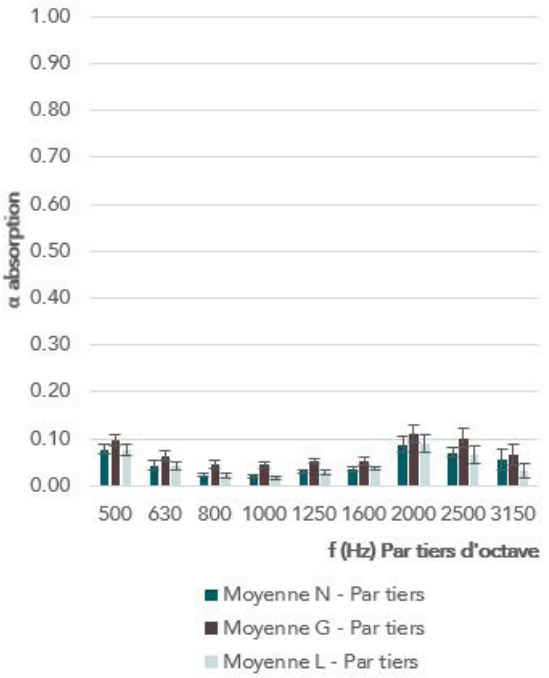
Figure 332 Exemple des échantillons, Terre 1- Paille

4.4.2.1 Terre 1 – Paille – Par tiers d'octave

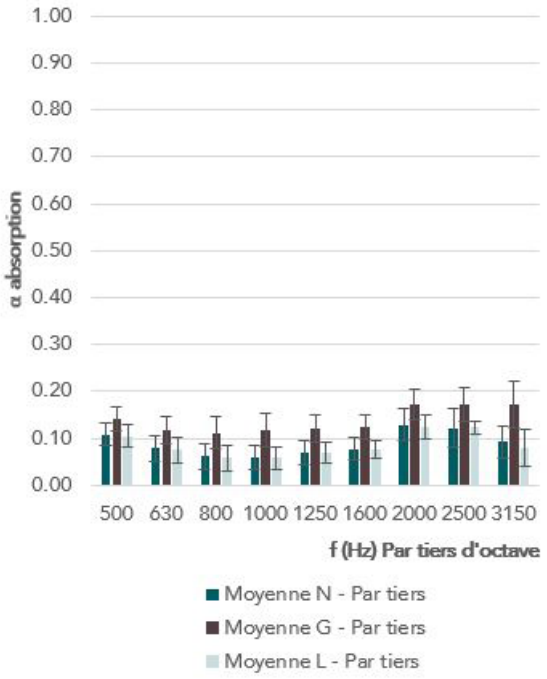
Terre 1 – 5% Paille : Par tiers d'octave



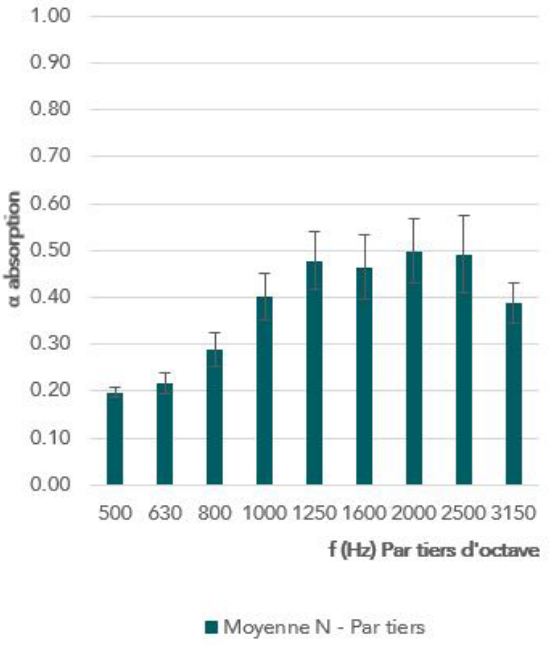
Terre 1 – 15% Paille : Par tiers d'octave



Terre 1 – 25% Paille : Par tiers d'octave



Terre 1 – 50% Paille : Par tiers d'octave



** Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les mesures des échantillons d'un même mélange et avec la même finition (normale, grattée et lisse).*

4.4.3 Terre 1 - Lin

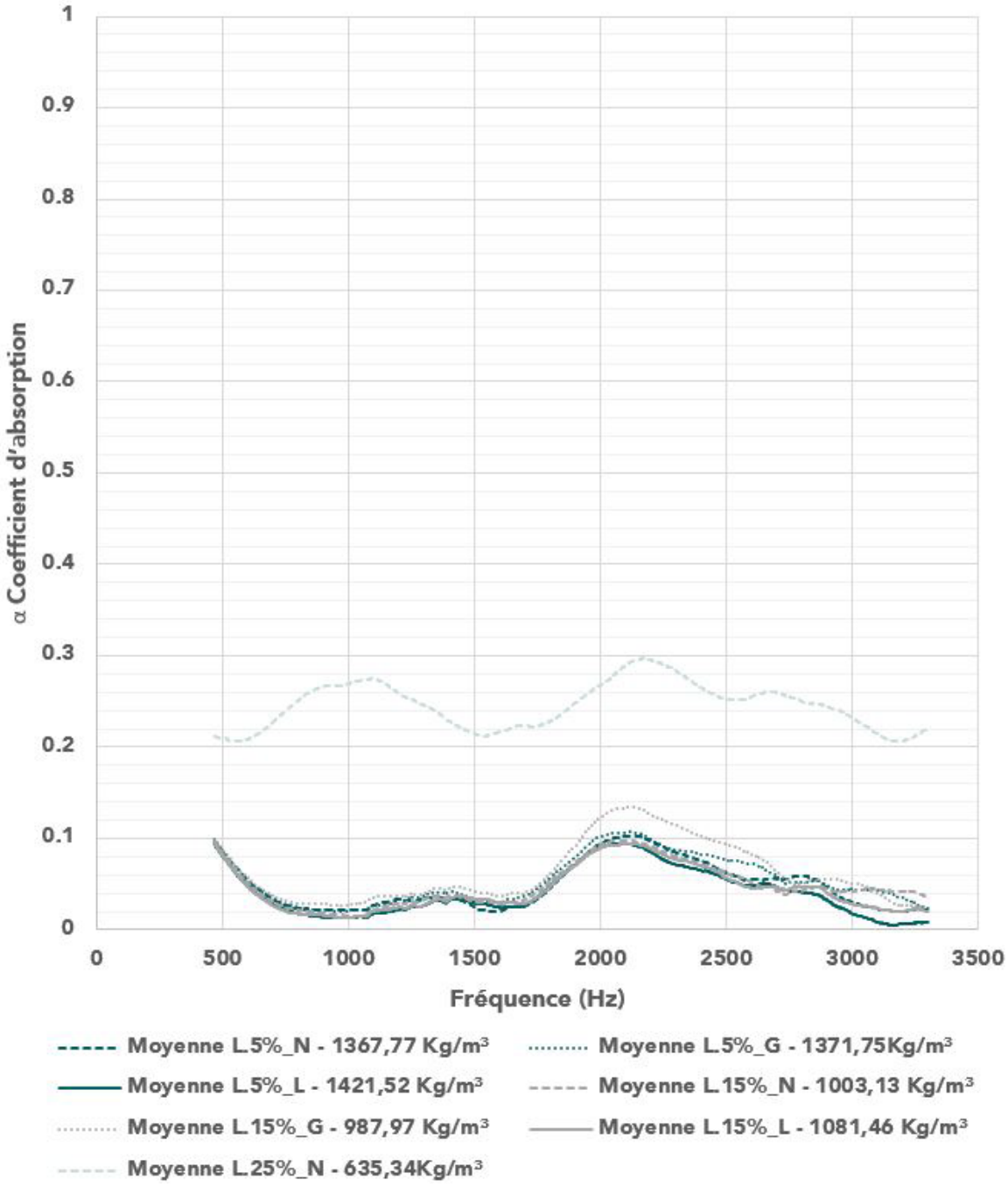


Figure 333 Coefficient d'absorption - Terre 1- Lin

Terre 1 Baulon - 5% Lin

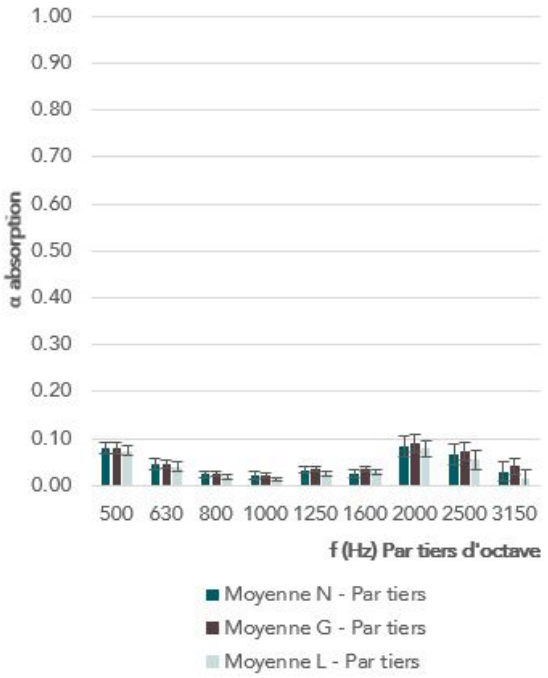
Terre 1 Baulon - 15% Lin

Terre 1 Baulon - 25% Lin

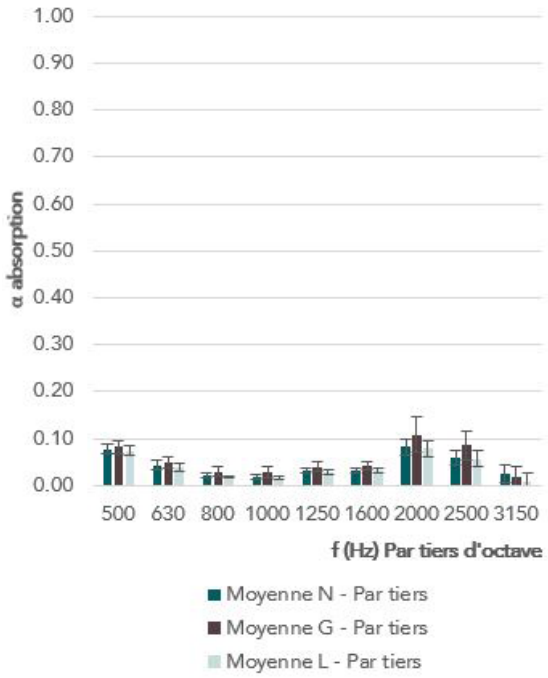
Figure 334 Exemple des échantillons, Terre 1- Lin

4.4.3.1 Terre 1 – Lin – Par tiers d'octave

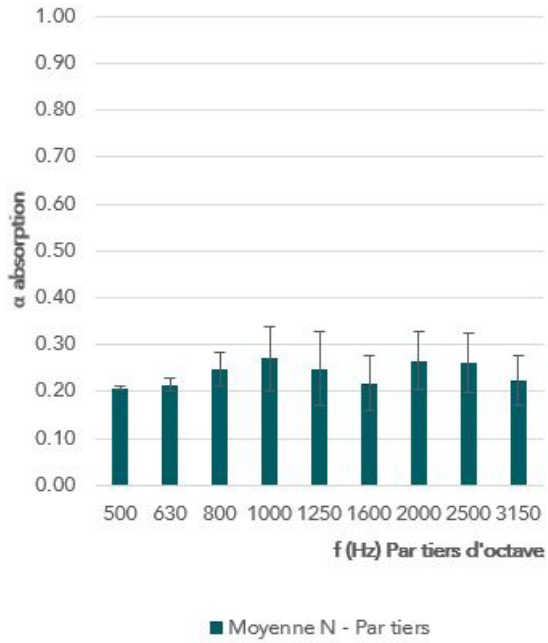
Terre 1 – 5% Lin : Par tiers d'octave



Terre 1 – 15% Lin : Par tiers d'octave



Terre 1 – 25% Lin : Par tiers d'octave



** Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les mesures des échantillons d'un même mélange et avec la même finition (normale, grattée et lisse).*

4.4.4 Terre 2 - Chanvre

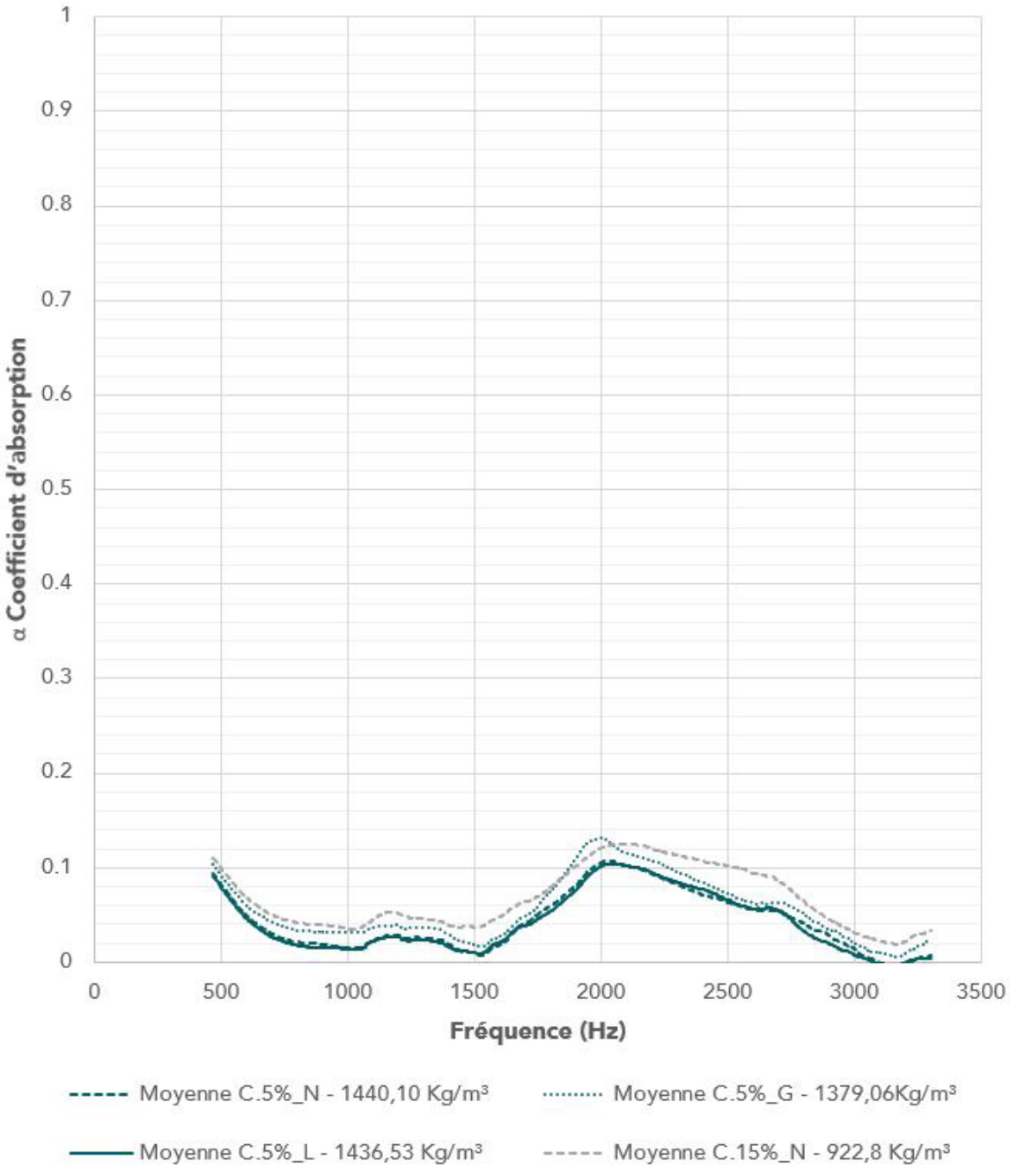
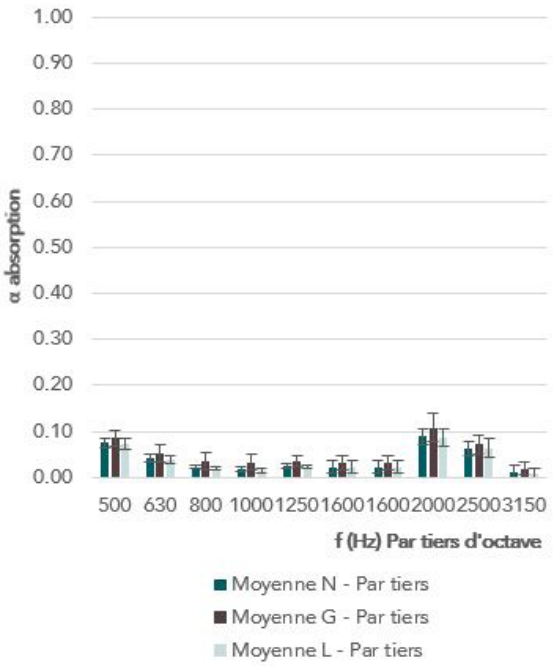


Figure 335 Coefficient d'absorption - Terre 2 – Chanvre

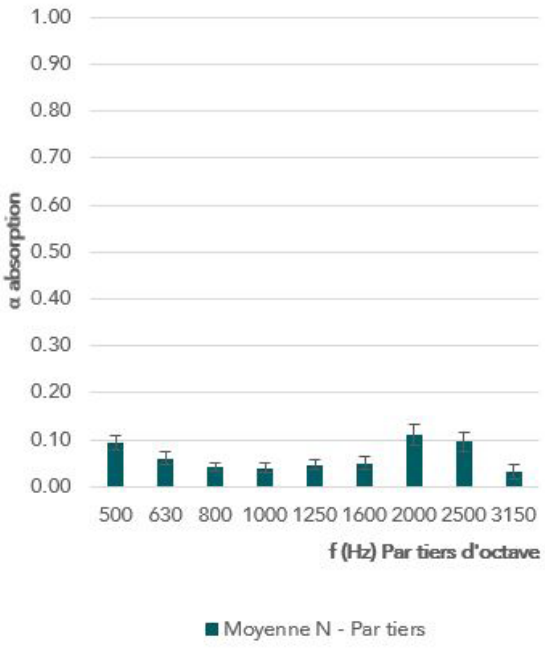
Figure 336 Exemple des échantillons, Terre 2 – Chanvre

4.4.4.1 Terre 2 – Chanvre – Par tiers d'octave

Terre 2 – 5% Chanvre : Par tiers d'octave



Terre 2 – 15% Chanvre : Par tiers d'octave



** Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les mesures des échantillons d'un même mélange et avec la même finition (normale, grattée et lisse).*

4.4.5 Terre 2 - Paille

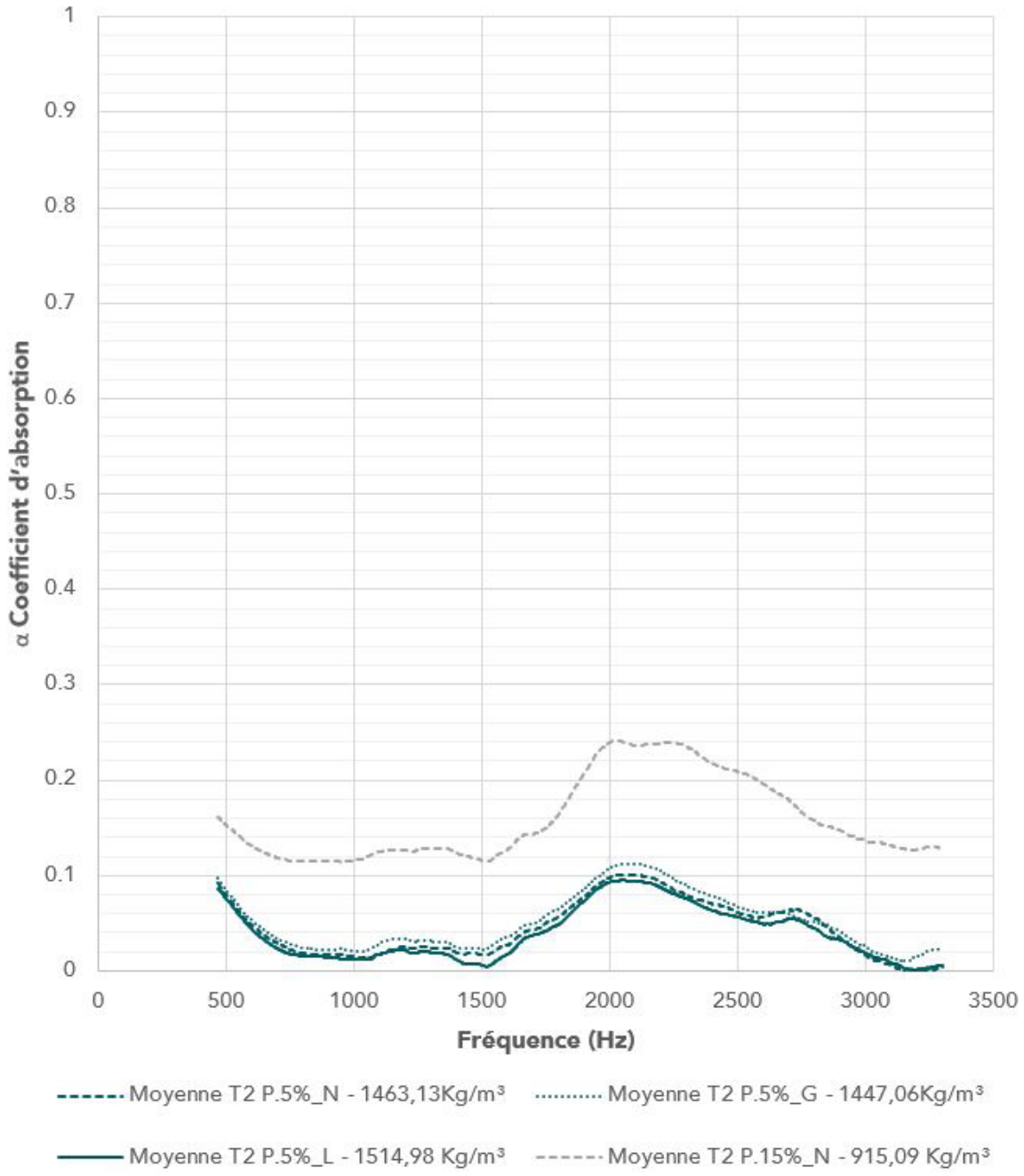


Figure 337 Coefficient d'absorption - Terre 2 – Paille

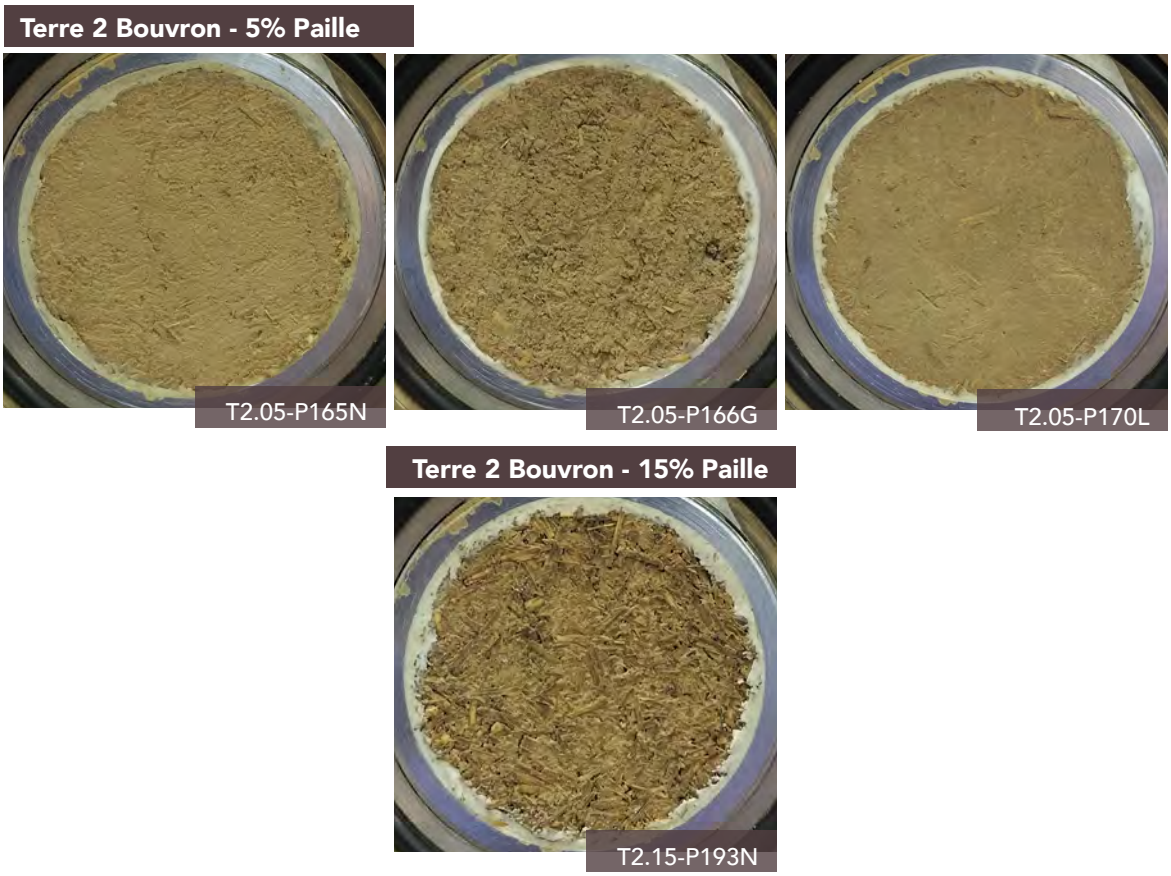
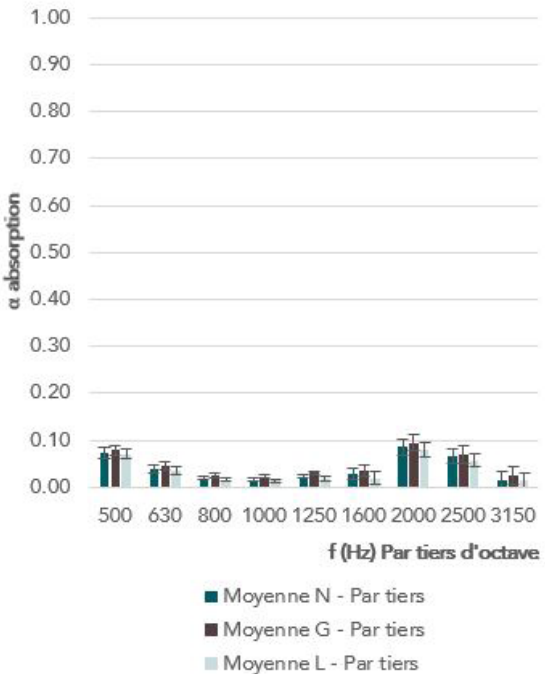


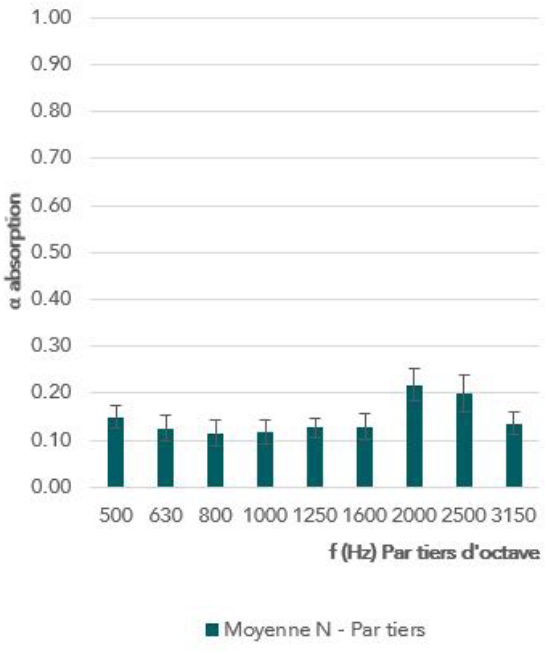
Figure 338 Exemple des échantillons, Terre 2 – Paille.

4.4.5.1 Terre 2 – Paille – Par tiers d'octave

Terre 2 – 5% Paille : Par tiers d'octave



Terre 2 – 15% Paille : Par tiers d'octave



** Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les mesures des échantillons d'un même mélange et avec la même finition (normale, grattée et lisse).*

4.4.6 Terre 2 - Lin

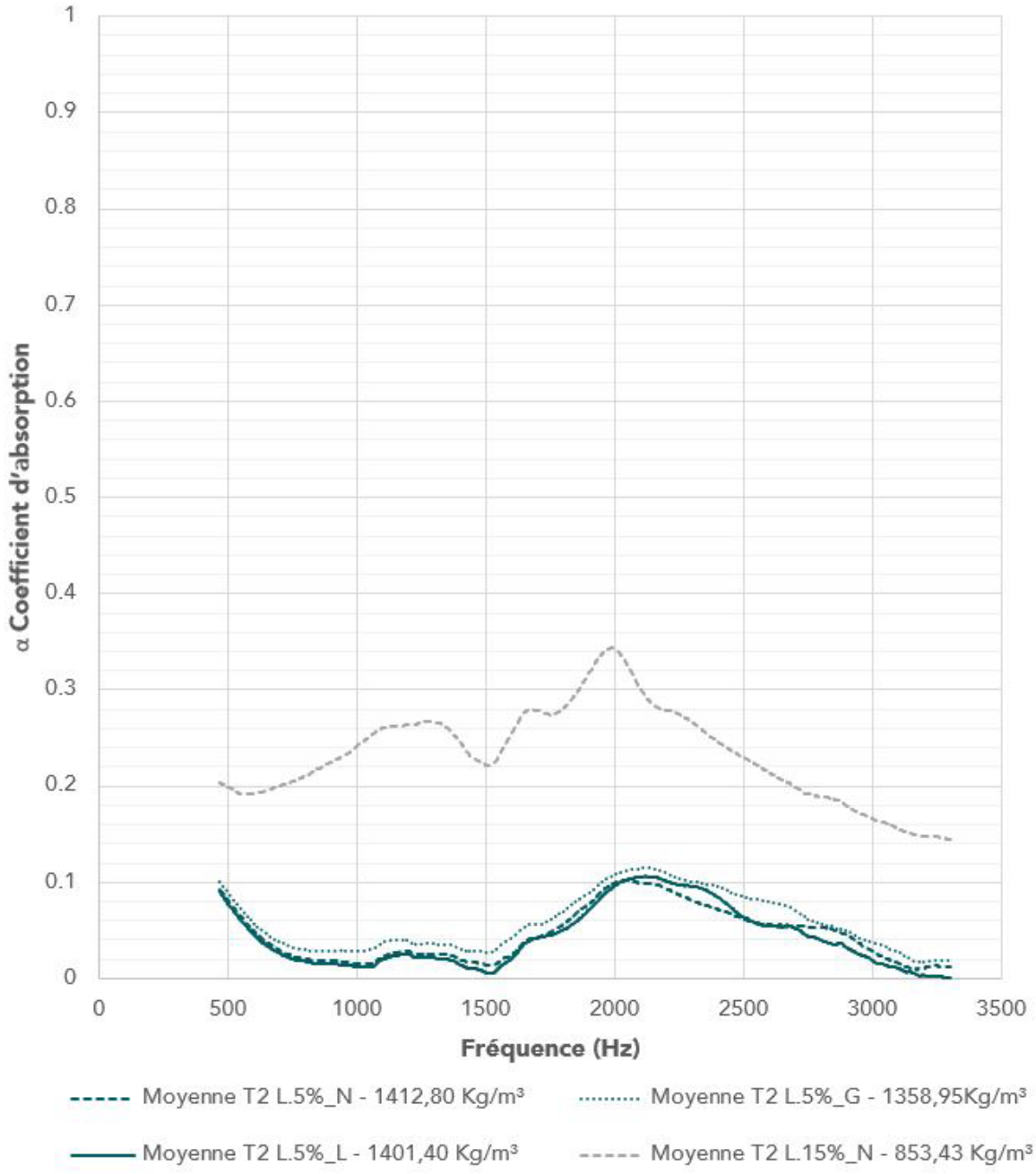


Figure 339 Coefficient d'absorption - Terre 2 - Lin

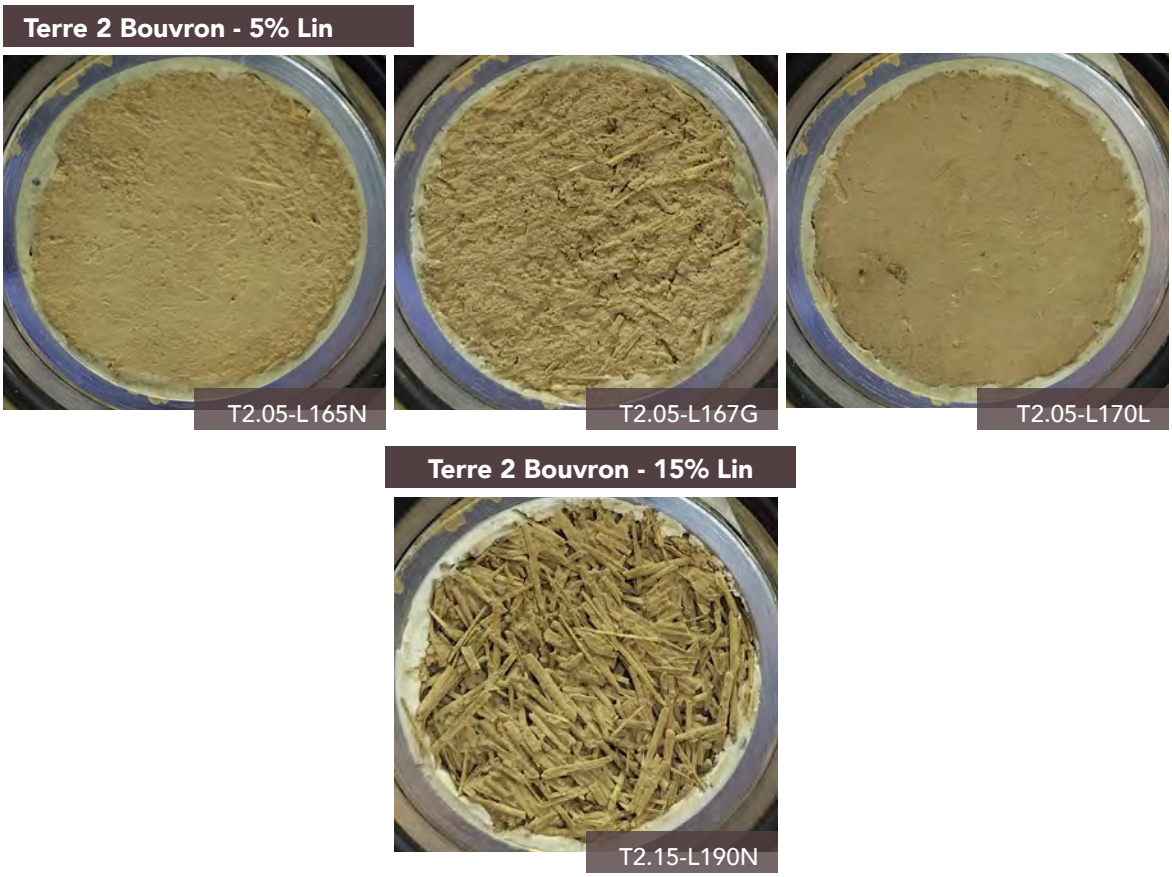
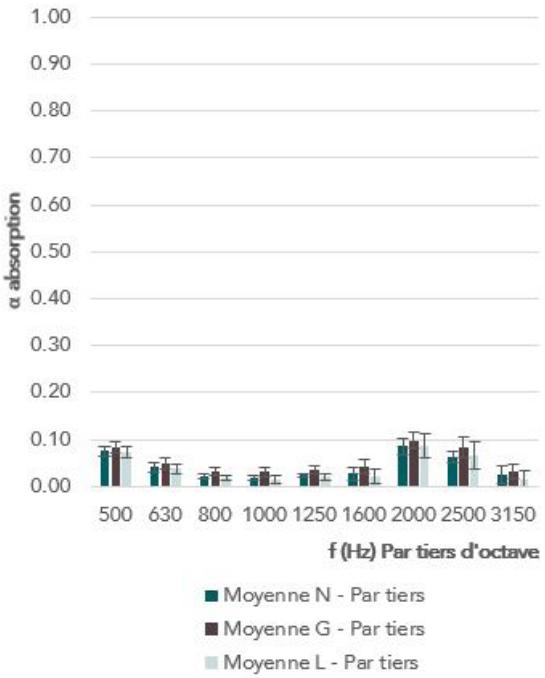


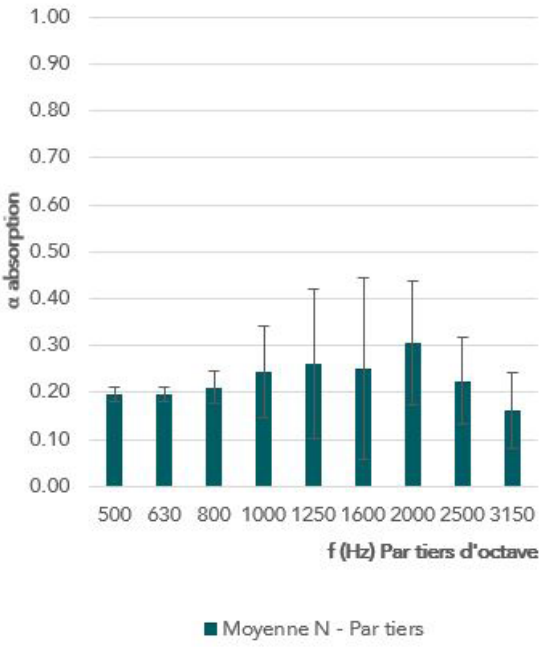
Figure 340 Exemple des échantillons, Terre 2 – Lin.

4.4.6.1 Terre 2 – Lin – Par tiers d'octave

Terre 2 – 5% Lin : Par tiers d'octave



Terre 2 – 15% Lin : Par tiers d'octave



** Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les mesures des échantillons d'un même mélange et avec la même finition (normale, grattée et lisse).*

4.4.7 Terre 3 - Chanvre

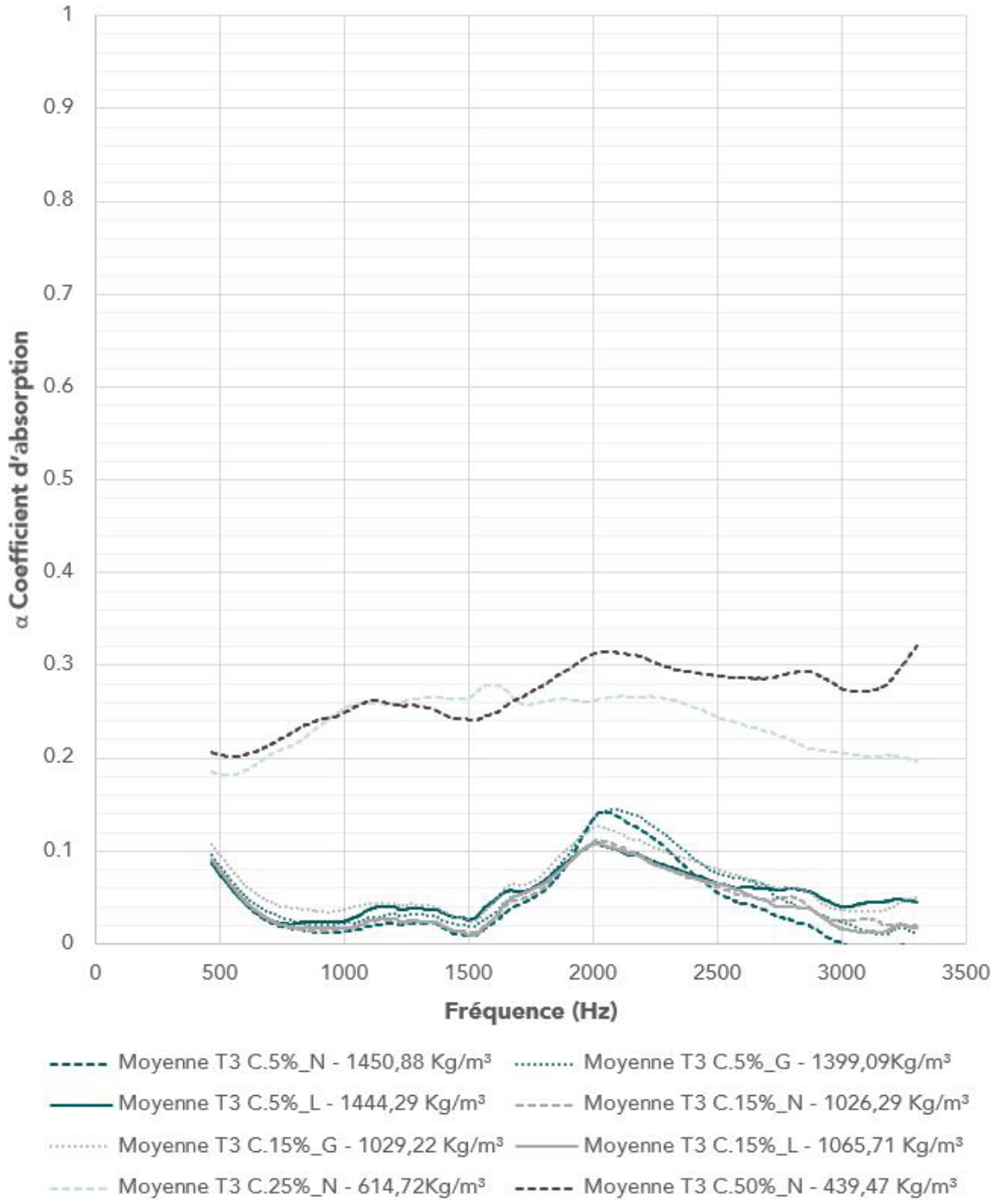
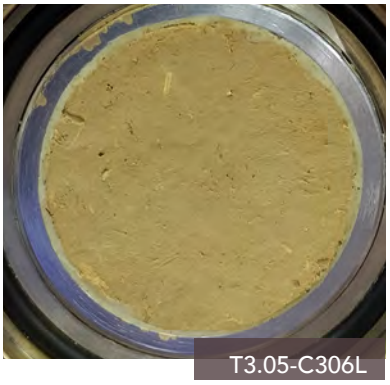
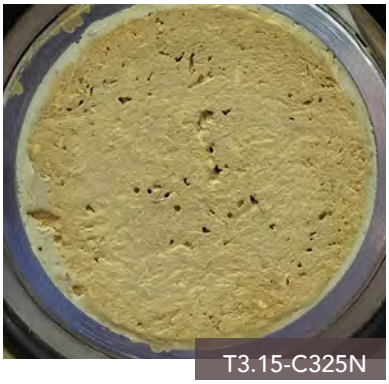


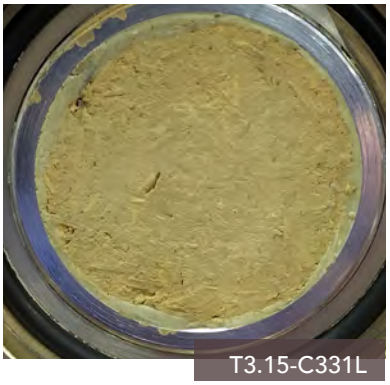
Figure 341 Coefficient d'absorption - Terre 3 - Chanvre

Terre 3 Baulon - 5% Chanvre



Terre 3 Baulon - 15% Chanvre





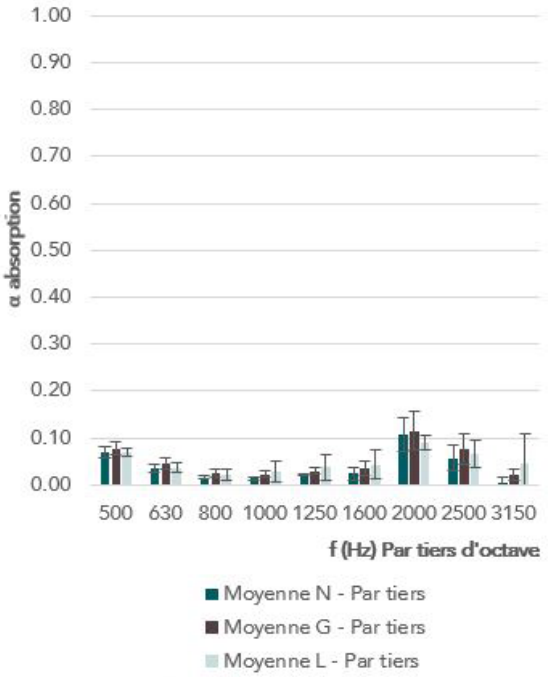
Terre 3 Baulon - 25% Chanvre

Terre 3 Baulon - 50% Chanvre

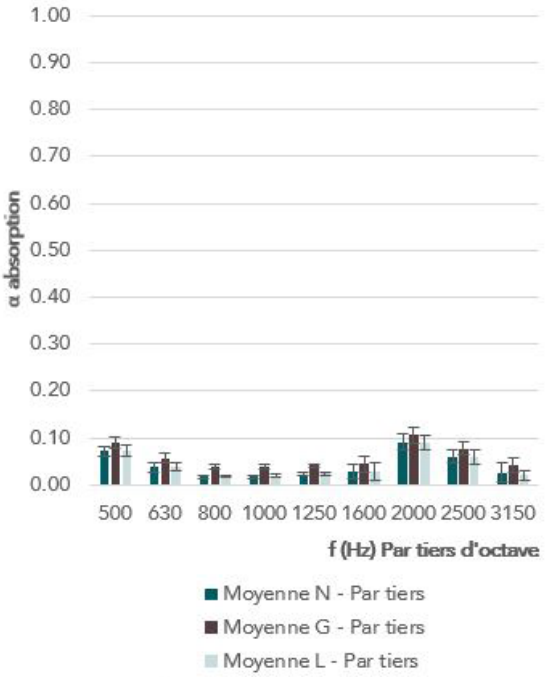
Figure 342 Exemple des échantillons, Terre 3 – Chanvre.

4.4.7.1 Terre 3 – Chanvre – Par tiers d'octave

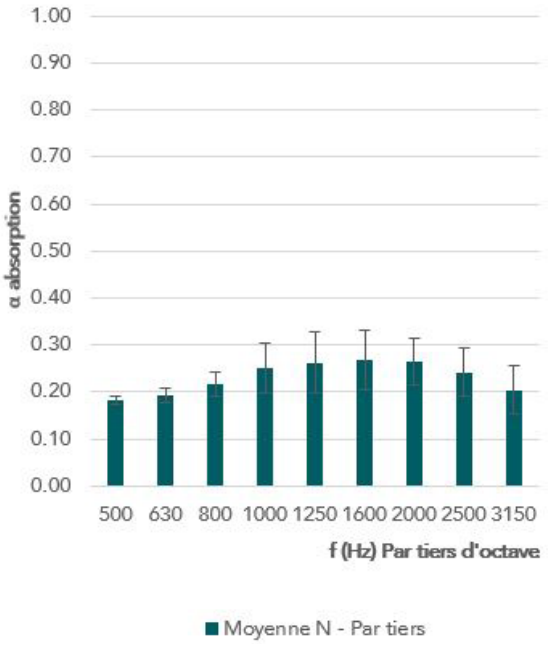
Terre 3 – 5% Chanvre : Par tiers d'octave



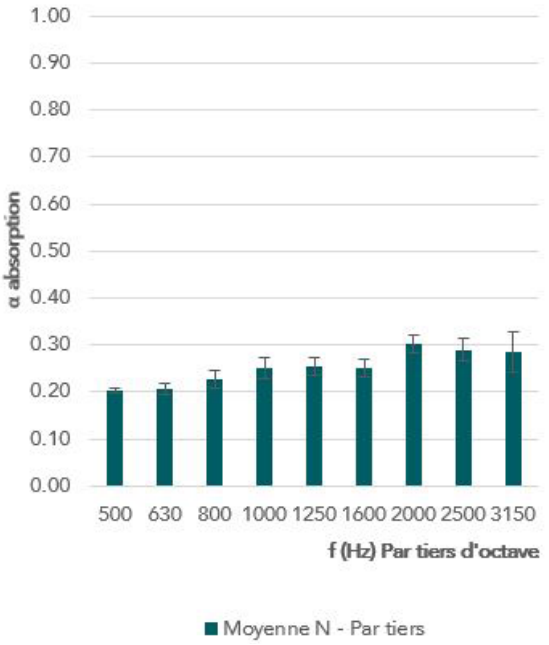
Terre 3 – 15% Chanvre : Par tiers d'octave



Terre 3 – 25% Chanvre : Par tiers d'octave



Terre 3 – 50% Chanvre : Par tiers d'octave



** Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les mesures des échantillons d'un même mélange et avec la même finition (normale, grattée et lisse).*

4.4.8 Terre 3 - Paille

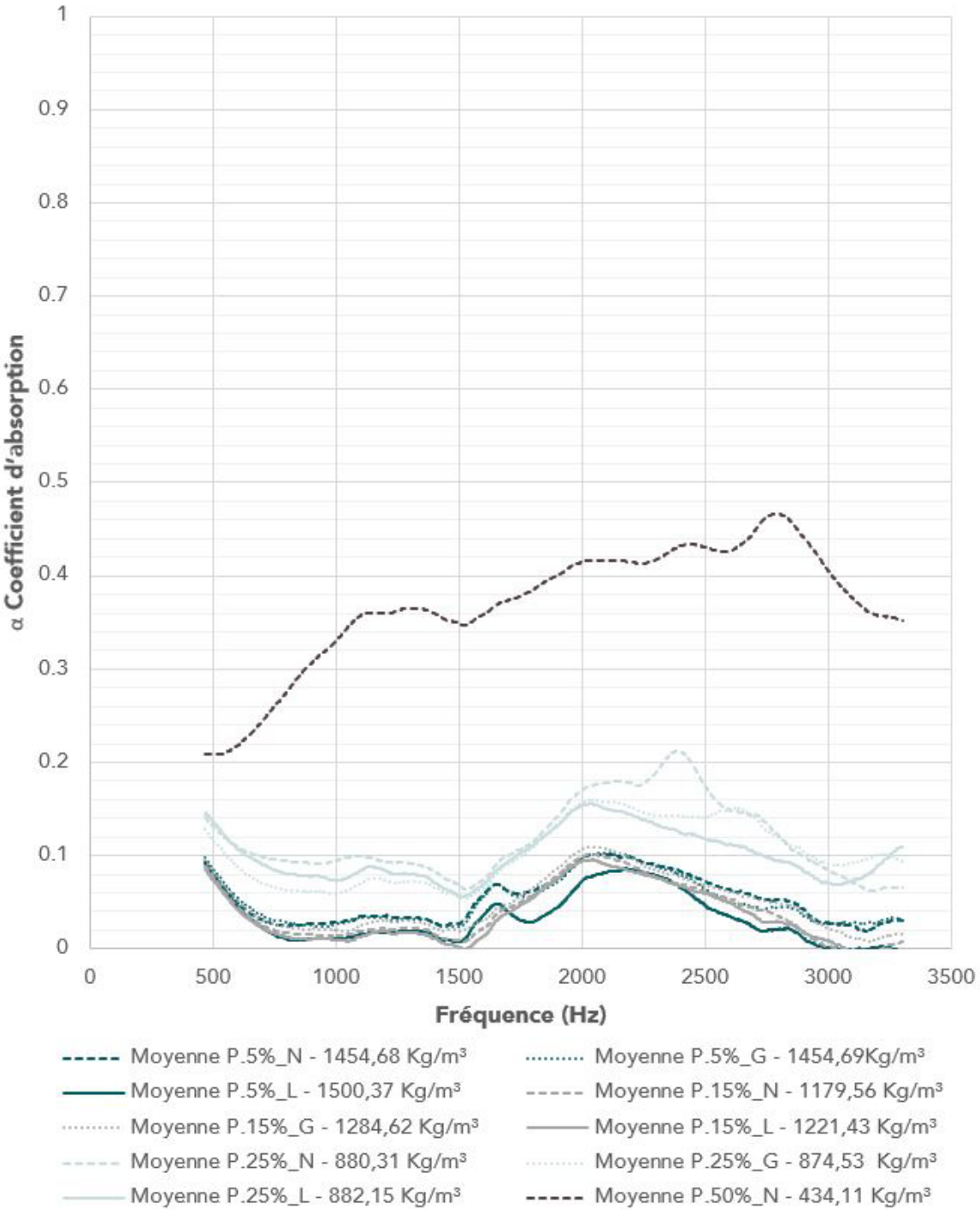
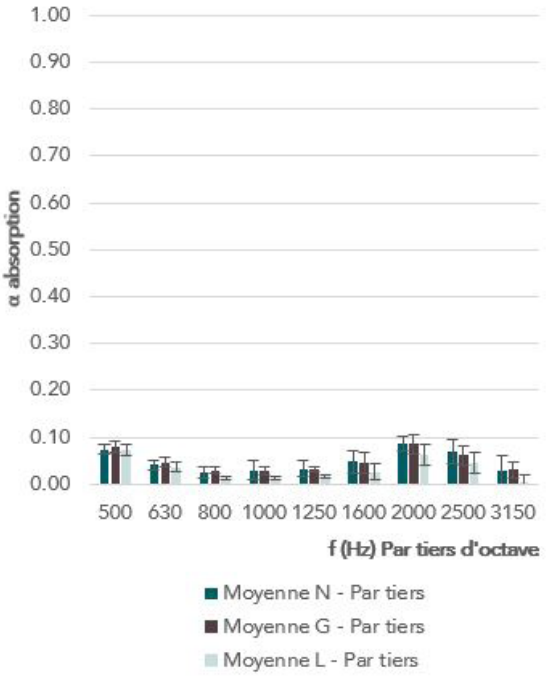


Figure 343 Coefficient d'absorption - Terre 3 – Paille.

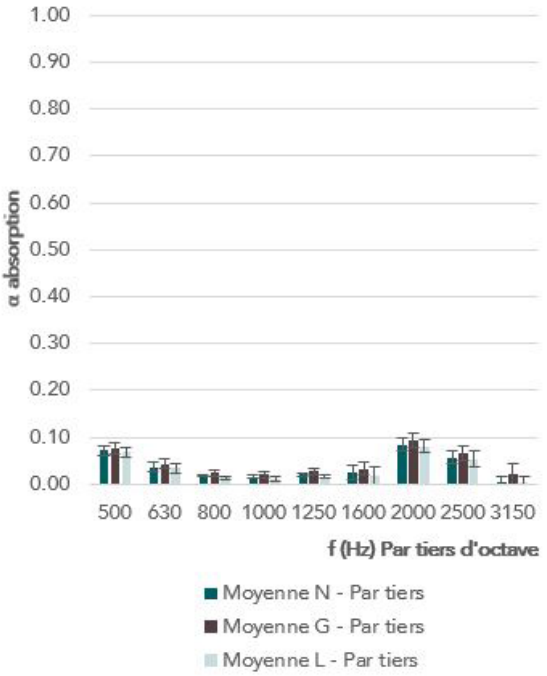
Figure 344 Exemple des échantillons, Terre 3 – Paille.

4.4.8.1Terre 3 – Paille – Par tiers d'octave

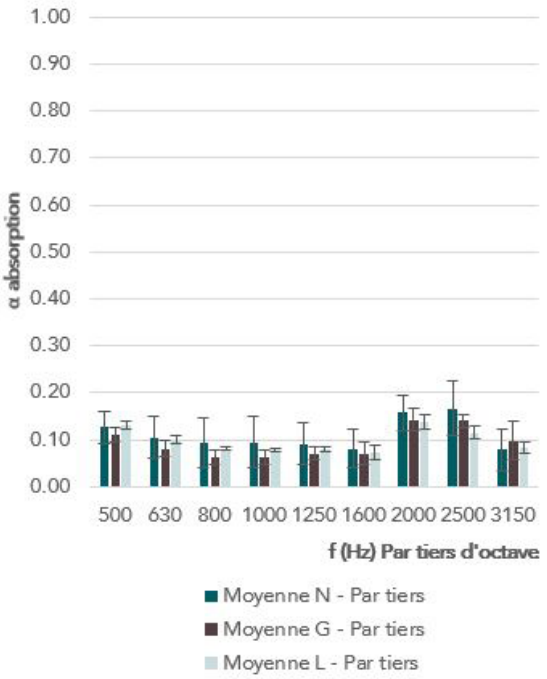
Terre 3 – 5% Paille : Par tiers d'octave



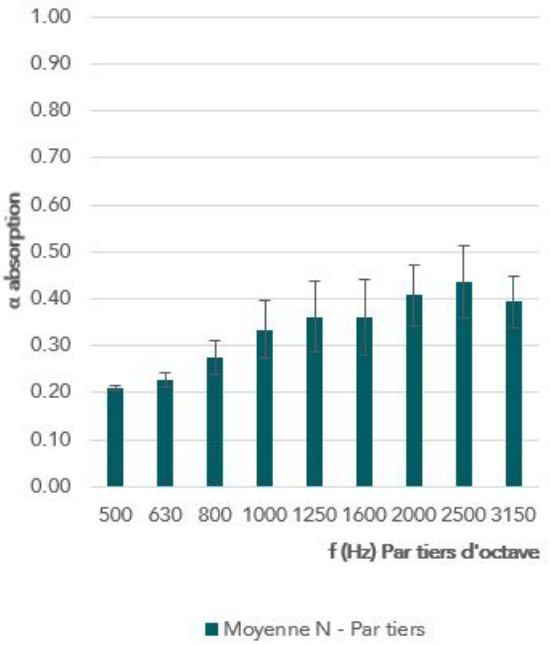
Terre 3 – 15% Paille : Par tiers d'octave



Terre 3 – 25% Paille : Par tiers d'octave



Terre 3 – 50% Paille : Par tiers d'octave



** Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les mesures des échantillons d'un même mélange et avec la même finition (normale, grattée et lisse).*

4.4.9 Terre 3 - Lin

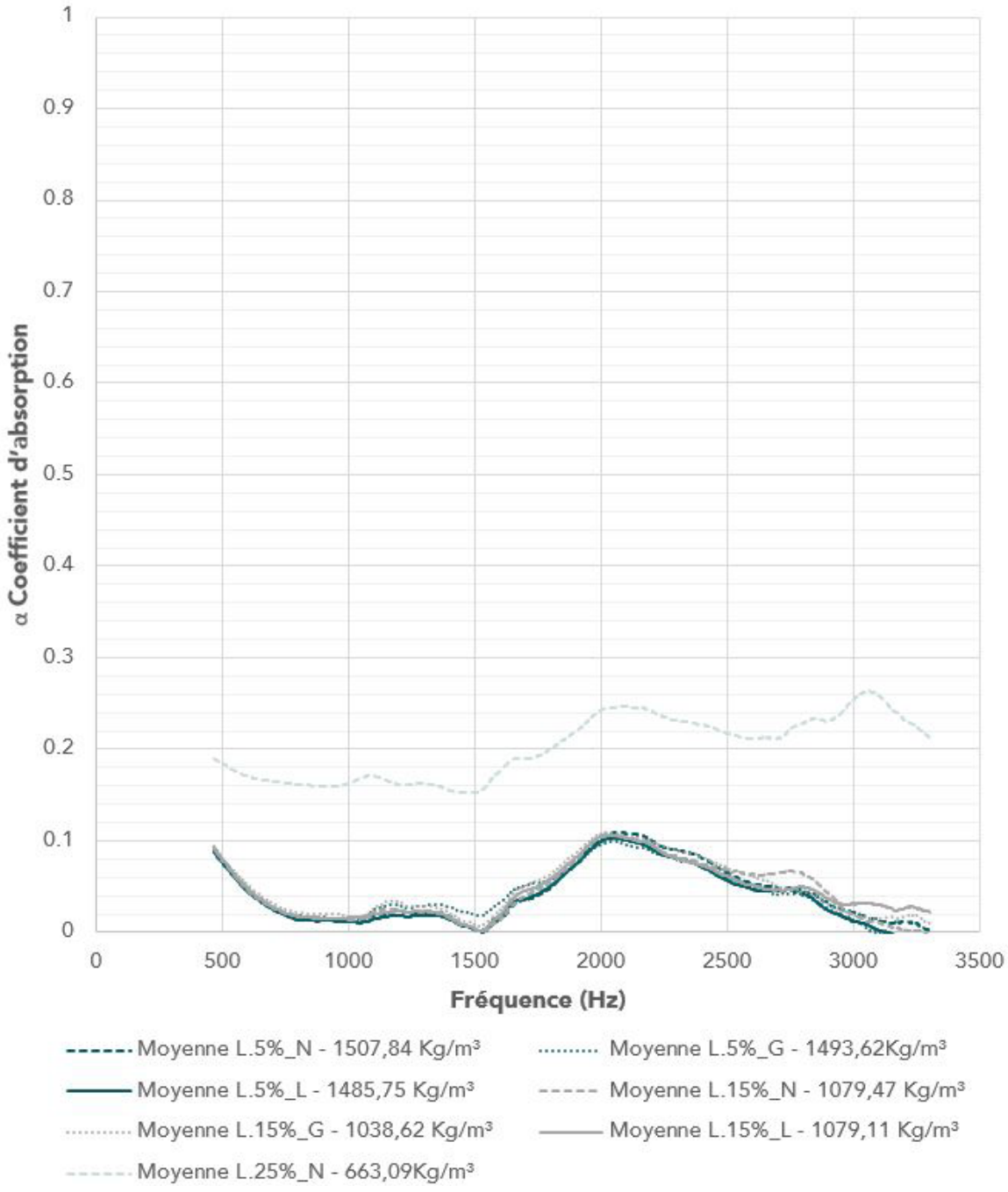
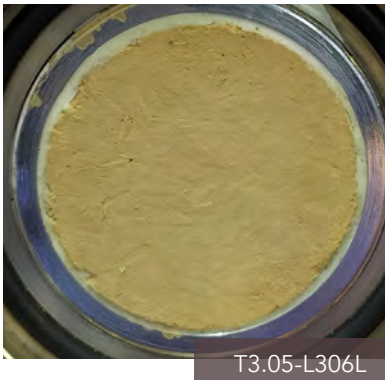


Figure 345 Coefficient d'absorption - Terre 3 – Lin

Terre 3 Baulon - 5% Lin

T3.05-L300N

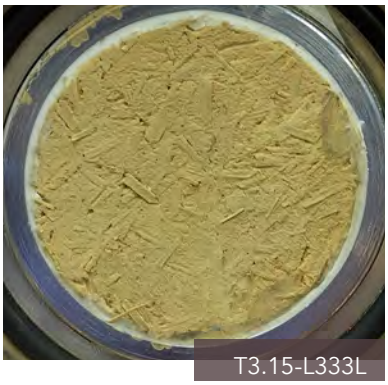
T3.05-L303G


T3.05-L306L

Terre 3 Baulon - 15% Lin

T3.15-L327N

T3.15-L330G


T3.15-L333L

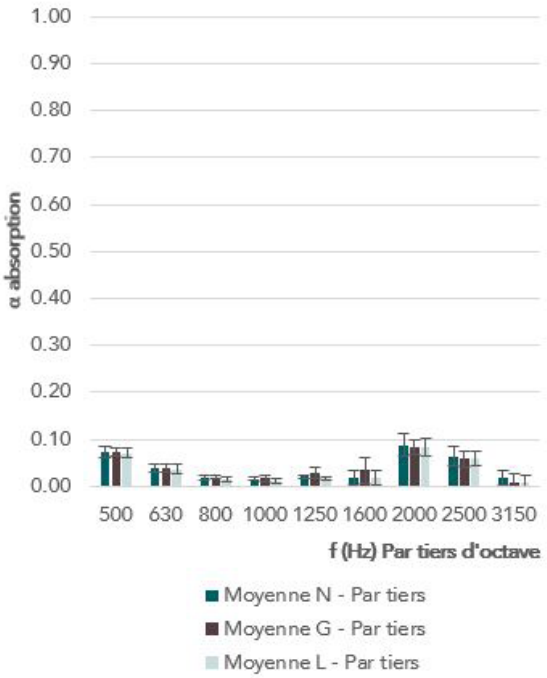
Terre 3 Baulon - 25% Lin

T3.25-L352N

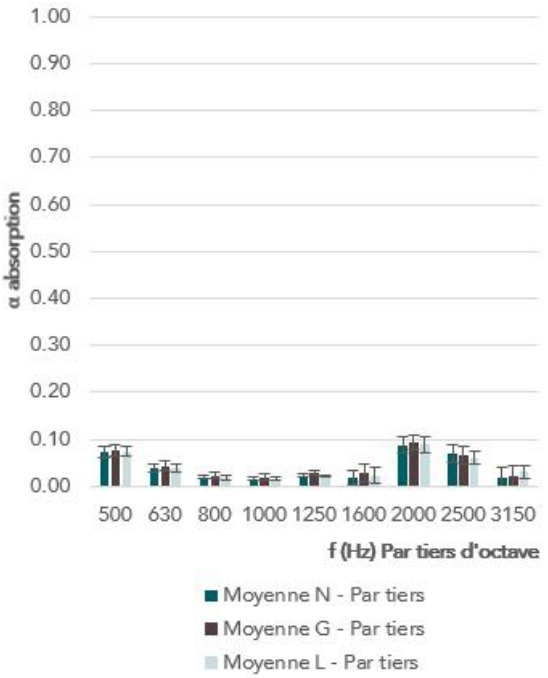
Figure 346 Exemple des échantillons, Terre 3- Lin

4.4.9.1 Terre 3 – Lin – Par tiers d'octave

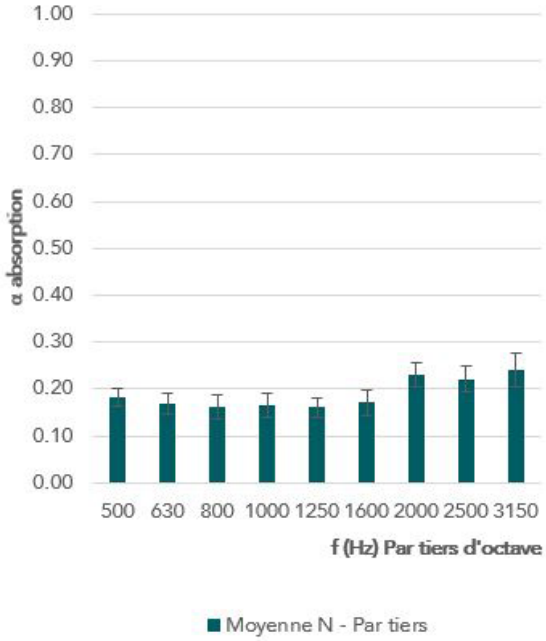
Terre 3 – 5% Lin : Par tiers d'octave



Terre 3 – 15% Lin : Par tiers d'octave



Terre 3 – 25% Lin : Par tiers d'octave



** Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les mesures des échantillons d'un même mélange et avec la même finition (normale, grattée et lisse).*

4.5 Présentation des résultats – Exemple

INFORMATION ÉPROUVETTE **REF :** P058

DATE DE RÉALISATION D'ÉPROUVETTE Oct. 2021

NOM TERRE : Terre 1 **LIEU :** Baulon

TYPE DE FIBRE : Paille **% DE FIBRE :** 15%

EPAISSEUR : 1mm **FINITION :** Gratté

ABSORPTION ACOUSTIQUES - Tube de Kundt **DATE :** 15/12/2021

POIDS CHAMBRE CLIMATIQUE D'ÉPROUVETTE (20°C - 60% HR) : 25.53 gr

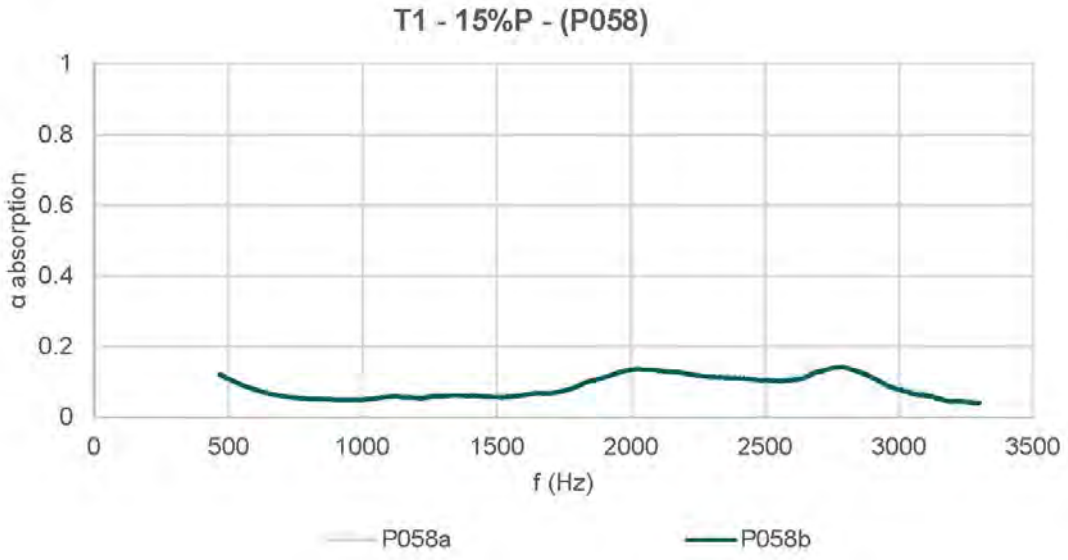
DENSITÉ ÉPROUVETTE APRÈS CHAMBRE CLIMATIQUE 976.72 kg/m³

CONDITIONS DE MESURE

PRESSION ATMOSPHÉRIQUE HPa 1015.50

HUMIDITÉ RELATIVE (% HR) : 43.00% **TEMPÉRATURE (°C) :** 23.50

Données :

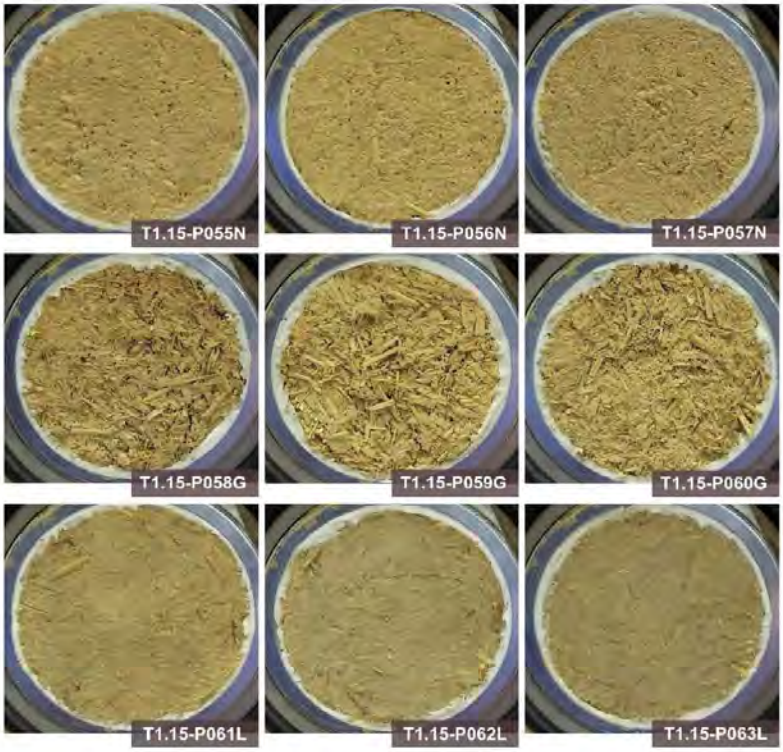


INFORMATION ÉPROUVETTE REF : **T1.15P**

DATE DE RÉALISATION D'ÉPROUVETTE : Oct. 2021

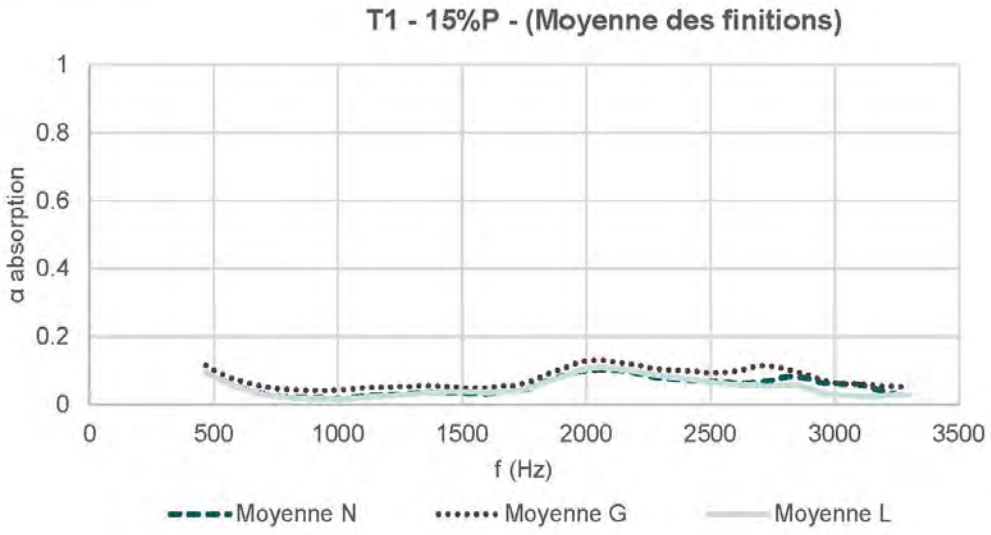
NOM TERRE : Terre 1 **LIEU :** Baulon

TYPE DE FIBRE : Paille **% DE FIBRE : 15% DENSITÉ MOYENNE ÉPROUVETTES** 1092.11 kg/m³



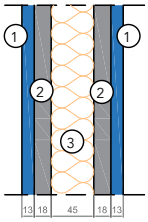
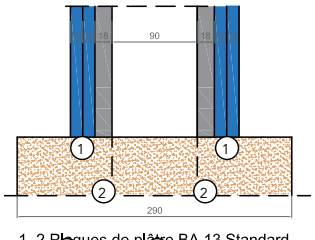
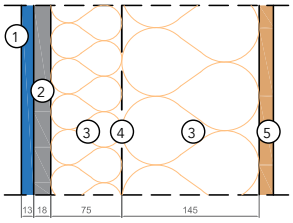
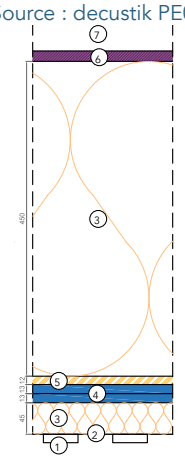
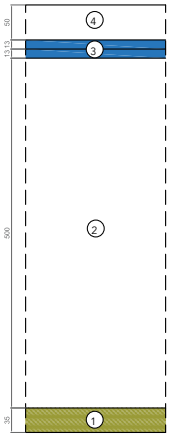
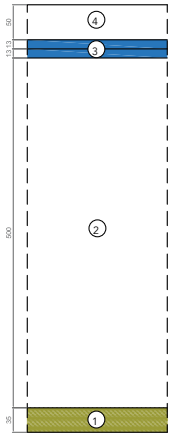
ABSORPTION ACOUSTIQUES - Tube de Kundt

Données (Moyennes) :



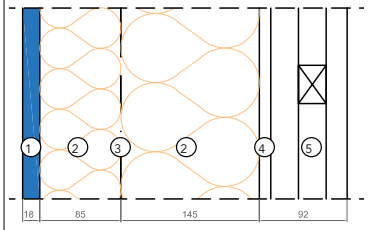
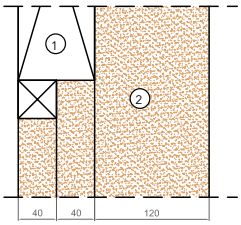
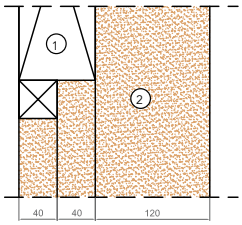
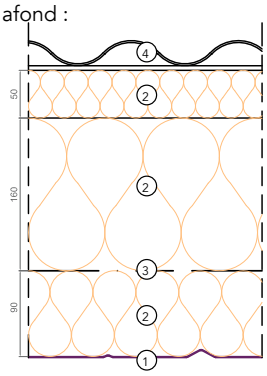
Annexe 5. Données utilisées sur CATT- Acoustic

5.1 Coefficients d'absorption des surfaces de la classe 7 de l'école de Bouvron

<table>
<tr><td colspan="3">Typologie des parois :</td></tr>
<tr>
<td>Mur de façade :
 
1. BA 13 Standard Plâtre
2. Fourrure 18mm (guide métallique)
3. Isolation laine de roche
Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) :
<125 250 500 1000 2000 4000>
<18 15 08 06 06 06>
Source : CATT Acoustic (Plaster)</td>
<td>Mur séparatif en terre crue :
 
1. 2 Plaques de plâtre BA 13 Standard
2. Fourrure 18mm (guide métallique)
3. Ossature bois
4. Bauge (mur en terre crue)
Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) :
<125 250 500 1000 2000 4000>
Partie supérieure :<18 15 08 06 06 06>
Source : CATT Acoustic (Plaster)
Partie inférieure : < 08 09 11 10 09 05>
Source : Mesures in situ</td>
<td>Mur séparatif en placo :
 
1. BA 13 Standard Plâtre
2. Fourrure 18mm (guide métallique)
3. Isolation laine de roche
4. Pare-vapeur
5. Bardage
Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) :
<125 250 500 1000 2000 4000>
<18 15 08 06 06 06>
Source : CATT Acoustic (Plaster)</td>
</tr>
<tr><td colspan="3">Typologie des plafonds :</td></tr>
<tr>
<td>Plafond 1 :
Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) :
<125 250 500 1000 2000 4000>
<60 50 50 65 85 90>
Source : decustik PE023
  </td>
<td>Plafond 2 :
Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) :
<125 250 500 1000 2000 4000>
<35 35 50 60 75 90>
Source : Knauf – Organic 35mm
  </td>
<td>Plafond 3 :
Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) :
<125 250 500 1000 2000 4000>
<30 75 90 80 90 85>
Source : Rockfon Royal- A:20/200
  </td>
</tr>
</table>

Autres surfaces :		
Sol (Linoléum sur chape) : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 02 02 03 03 04 04 >** Source : CATT Acoustic (Linoléum)	Double vitrage avec profil métallique : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 20 10 08 06 04 02 >** Source : CATT Acoustic (Window10)	Porte intérieur (en bois) : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 14 10 06 08 10 10 >** Source : CATT Acoustic (Wooden door)
Liège sur placo : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 18 15 07 08 13 27 >** Source : CATT Acoustic (Plaster) + Mesure in situ	Radiateur en métal : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 10 10 06 06 06 06 >**	Tableau blanc : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 20 18 20 08 04 15 >** Source : AKUSTIKVERSTAN

5.2 Coefficients d'absorption des surfaces de la classe 2 de l'école de Baulon

Typologie des parois :		
Mur de façade :  1. Doublage plaque de plâtre BA18 2. Isolant laine de verre 3. Pare-vapeur 4. Pare-pluie 5. Bardage Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **<18 15 08 06 06 06>** Source : CATT Acoustic (Plaster)	Mur séparatif en terre crue :  1. Ossature 2. Terre Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **<40 40 46 45 46 49>** Source : Mesure in situ	Mur séparatif en placo :  1. Ossature 2. Terre Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **<18 15 08 06 06 06>** Source : Mesure in situ
Typologie des plafonds :		Mobilier fixe :
Plafond :  1. Plateau Hacierba 1.450.90 BH 75/100 RAL 9010 pleins et perforés 2. Isolation 3. Par-vapeur 4. Bac acier	Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **<40 100 100 100 94 82>** Source : Guide des systèmes thermiques et acoustiques Arval® p.72	Évier: Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 10 10 06 06 04 04 >**

Autres surfaces :		
Sol (Linoléum sur chape) : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 02 02 03 03 04 04 >** Source : CATT Acoustic (Linoléum)	Double vitrage avec profil métallique : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 20 10 08 06 04 02 >** Source : CATT Acoustic (Window10)	Porte intérieur (en bois) : Coefficient d'absorption (par fréquence d'octave) : <125 250 500 1000 2000 4000> **< 14 10 06 08 10 10 >** Source : CATT Acoustic (Wooden door)

PROJET DE RECHERCHE SUR LA PERCEPTION DES AMBIANCES INTERIEURES DES ECOLES

Nous avions entamé ce projet début 2020 et… patatras !

En lien avec le thème de recherche de Marta Miranda Santos, nous commençons un travail avec les élèves qui durera plusieurs semaines, jusqu'aux vacances de février, au minimum.

Vous découvrirez ces activités au fur et à mesure de leur déroulement. Elles auront aussi pour but d'alimenter le travail de recherche, de l'affiner.

Au-delà de la thèse, nous attendons aussi un retour sur les différents espaces et leur ambiance, ce qui peut conditionner notre façon de travailler.

Aussi, nous souhaitons que votre participation soit la plus massive possible. Plus les données sont nombreuses, plus les études et conclusions sont fiables.

Annexe 6. Enquête dans les établissements scolaires

6.1 Documents explicatifs – Questionnaires parents

Octobre 2020

Madame, Monsieur,

Dans le cadre de ma thèse doctorat, au laboratoire de recherche du CRENAU à l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, sur la perception des ambiances intérieures des écoles ayant utilisé des matériaux écologiques et mis en place une démarche de conception singulière, nous souhaiterions vous solliciter pour répondre à un questionnaire. Ces renseignements permettront d'améliorer les connaissances sur la perception de l'environnement dans l'école et fournir des pistes d'analyses aux acteurs et professionnels en charge de cette question.

Certaines questions peuvent paraître un peu éloignées du sujet mais toutes les questions choisies peuvent avoir une influence sur la perception subjective d'un individu et sont, par conséquent, nécessaires à l'analyse de la perception dans l'école.

Le temps estimé pour remplir le questionnaire est de 15 minutes. Merci, dans la mesure du possible, de fournir les réponses à ce questionnaire dès que possible et de préférence avant les vacances scolaires d'octobre (16 octobre 2020). Il est indispensable que vous répondiez à toutes les questions le plus spontanément et sincèrement possible. Il n'y a pas de bonnes et mauvaises réponses.

Afin de pouvoir établir des liens entre les réponses et les activités réalisées en classe avec les élèves, dans un premier temps les questionnaires ne seront pas anonymes. En revanche, une fois le lien établi toutes les données seront rendues anonymes. Cependant, les enseignants n'auront à aucun moment accès à vos réponses, par conséquent nous vous prions de retourner le questionnaire rempli dans l'enveloppe dans laquelle vous l'avez reçu. Je tiens également à signaler qu'une fois que la thèse sera soutenue (en principe en 2022) les données collectées seront à leur tour détruites et seules l'analyse et les conclusions seront exposées dans la thèse.

Dans le cadre du même projet de recherche, une série d'ateliers sera réalisée avec les élèves des classes suivantes pour quantifier et qualifier aussi la perception de l'école et de la classe des enfants :

- Classe 3 Maternelle (Grande section) de Mme Frappesauce
- Classe 4 Maternelle (Grande section) de Mme Rojouan
- Classe 5 de CP de M Paitel et Mme Catalan
- Classe 6 de CE1 de Mme Conraux

Les résultats des différents ateliers seront exposés à la fin d'année pendant la journée de l'école.

Nous vous remercions d'avance pour votre collaboration et votre participation.

Bien cordialement
Marta Miranda Santos,
Laboratoire AAU UMR CNRS 1563, équipe CRENAU
ENSA de Nantes 6 Quai François Mitterrand
BP 16202 - 44262 Nantes CEDEX 2

Octobre 2020

Il est indispensable que vous répondiez à toutes les questions le plus spontanément et sincèrement possible. Il n'y a pas de bonnes et ou de mauvaises réponses.

Merci encore pour votre aide et votre collaboration.

<u>Quelques aides pour remplir le questionnaire</u>

- Les questions marquées avec * ont plusieurs réponses possibles. Par exemple :

5.7 Connaissez-vous les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement* ?

☐ pierre	☐ parpaing	☐ béton armé
☐ brique cuite	☐ structure bois plus isolation	☐ bottes de paille
☐ terre crue	☐ je ne sais pas	☐ autre :

En revanche les questions sans * ont uniquement une réponse possible. Par exemple :

5.3 Votre logement est (type d'habitat) :

☐ maison individuelle avec murs mitoyens	☐ habitat collectif de moins de 6 logements	☐ habitat collectif de plus de 6 logements
☐ maison individuelle isolée	☐ autre :	

Si c'est un habitat collectif à quel étage habitez-vous ?

Dans les questions « *3.8 Les **finitions** de votre logement sont principalement* :* » et « *3.9 Les **finitions** dans la chambre de votre enfant sont principalement* :* », le mot « **finitions** » fait référence au dernier matériau utilisé sur le mur, celui avec lequel vous êtes en contact.

Les questions sur l'école et la classe de votre enfant, n'ont pas pour but de juger la qualité de l'enseignement ou les relations humaines que vous pouvez avoir avec les enseignants ou personnel de l'école. Vous trouverez de façon récurrente la phrase « *du point de vue de votre ressenti* » car ce travail vise à étudier et approfondir les connaissances de la perception humaine.

Dans le cas où vous avez plusieurs enfants dans l'école ou que vous avez reçu plusieurs enveloppes avec des questionnaires, je tiens à signaler que dans les questions « *5.4 Quels mots utilise couramment **votre enfant** pour exprimer sa perception (du point de vue de son ressenti) de l'école ?* » et « *6.4 Quels mots utilise couramment **votre enfant** pour exprimer sa perception (du point de vue de son ressenti) de sa classe ?* », les mots « votre enfant » font référence uniquement au nom de votre enfant que vous avez trouvez écrit dans l'enveloppe dans laquelle vous avez trouvez ce questionnaire.

Octobre 2020

Vous êtes en train de participer à une recherche en cours où tout commentaire ou contribution sont bienvenus. À ce propos, n'hésitez pas à nous faire part de vos impressions sur le questionnaire que vous venez de remplir si vous le souhaitez. Par exemple, des questions que vous n'avez pas comprises, des questionnements que vous avez eus sur la pertinence de certaines questions ou des questions que vous auriez trouvé intéressantes, etc.

Merci de votre collaboration et participation.

Bien cordialement

Marta Miranda Santos

<u>Vos commentaires et suggestions</u> :

6.2 Questionnaire à destination des travailleurs des écoles – Général

1. IDENTITÉ DE L'INTERVIEWÉ (travailleur de l'école) Sexe: ☐ F ☐ M Âge

1.2 La langue principale utilisée à la maison est : ☐ Français ☐ Autre :

2. VOTRE TRAVAIL A L'ÉCOLE

2.1 Quel est votre travail à l'école ?

☐ P.E. ☐ ATSEM ☐ EVS ☐ SCU ☐ ENTRETIEN

☐ autre :

2.2 Quelle situation professionnelle avez-vous à l'école?

☐ plein temps ☐ temps partiel ☐ autre :

2.3 Depuis quand êtes vous à l'école (année scolaire) ?

2.4 Si vous étiez dans une autre école auparavant, précisez quelle école ainsi que la ville?

2.5 Dans quel bâtiment travaillez-vous principalement ?

☐ bâtiment maternelle ☐ bâtiment élémentaire ☐ autre :

2.6 Par rapport aux tâches développées dans votre travail, êtes vous d'accord avec les affirmations suivantes?

	Pas du tout d'accord	Plutôt pas d'accord	Plutôt d'accord	Tout-à-fait d'accord
Le travail développé a besoin d'un haut niveau de concentration	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4
Le travail développé exige des tâches mentales ou manuelles très complexes	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4
Le déroulement habituel de la tâche exige du silence	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4
Autre :	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4

2.7 Comment priorisez-vous les différents environnements nommés ci-dessous pour le bon déroulement de votre travail :

	pas du tout important	légèrement important	très important	extrêmement important
Environnement climatique : thermique	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4
Environnement lumineux : éclairage	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4
Environnement sonore : acoustique	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4
Environnement spacial: aménagements	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4

2.6 Quel est le besoin le plus important pour le bon déroulement de vos tâches ?

3. VOTRE LOGEMENT

3.1 Votre logement est situé :

☐ dans le bourg de ville /village ☐ en périphérie ville /village ☐ en campagne

☐ autre :

3.2 Autour de votre logement il y a* :

☐ des immeubles ☐ des maisons individuelles ☐ des commerces

☐ des rues ☐ des espaces verts (parc) ☐ des voies ferrées

☐ des routes ☐ des champs ☐ la fôret

☐ autre :

3.3 Au premier plan (le plus proche) de la fenêtre de votre chambre, il y a (une seule réponse possible) :

☐ Cour intérieure ☐ Esplanade ☐ Jardin

☐ Espace vert (Parc) ☐ Rue ☐ Champs

☐ Route ☐ Fenêtre de toit (velux) ☐ Fôret

☐ Pas de fenêtre ☐ autre :

3.4 Votre logement est (type d'habitat) :

☐ maison individuelle avec murs mitoyens ☐ habitat collectif de moins de 6 logements ☐ habitat collectif de plus de 6 logements

☐ maison individuelle isolée ☐ autre :

Si c'est un habitat collectif à quel étage habitez-vous ?

3.5 Depuis combien de temps vivez-vous dans ce logement ?

3.6 Vous êtes : ☐ propriétaire ☐ locataire ☐ autre :

3.7 Nombre total de personnes vivant en permanence dans le logement (préciser nombre d'adultes et nombre d'enfants) :

nombre d'adultes nombre d'enfants et jeunes

3.8 Connaissez-vous l'année de construction de votre logement ?

** Ces questions ont plusieurs réponses possibles*

3.9 Connaissez-vous les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement* ?

☐ pierre ☐ parpaing ☐ béton armé

☐ brique cuite ☐ structure bois plus isolation ☐ bottes de paille

☐ terre crue ☐ je ne sais pas ☐ autre :

3.10 Les finitions intérieures des murs et sols de votre logement sont principalement* :

☐ peinture / papier peint ☐ carrelage ☐ lambris bois

☐ maçonnerie apparente ☐ moquette ☐ enduit ciment

☐ enduit chaux ☐ enduit plâtre ☐ enduit terre crue

☐ parquet ☐ lino ☐ tapisserie

☐ je ne sais pas ☐ autre :

3.11 L'ambiance de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) :

	très désagréable	assez désagréable	un peu désagréable	un peu agréable	assez agréable	très agréable
Visuellement (forme, couleurs, architecture...)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
Les distributions des espaces et les circulations (aménagements)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La taille des espaces	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La lumière naturelle	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
L'éclairage	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La thermique (température)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La thermique (humidité)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
Sonore (acoustique)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6

4. AUTRES QUESTIONS

4.1 Moyen de transport utilisé quotidiennement* ?

☐ voiture ☐ transport collectif (tram) ☐ transport collectif (bus)

☐ transport collectif (train) ☐ vélo ☐ à pieds

☐ autre :

4.2 Quel transport utilisez-vous pour aller à l'école* ?

☐ voiture ☐ transport collectif (tram) ☐ transport collectif (bus)

☐ transport collectif (train) ☐ vélo ☐ à pieds

☐ autre :

5. L'ÉCOLE

Toutes les questions concernent le bâtiment et l'espace construit.

5.1 Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entré à l'école ?

5.2 Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'école ?

1. 2. 3.

4. 5.

5.3 Quelle est votre impression générale de l'école? Que ressentez-vous ? Tentez de le décrire brièvement (du point de vue de votre ressenti).

5.4 L'ambiance de l'école vous paraît (du point de vue de votre ressenti) :

	très désagréable	assez désagréable	un peu désagréable	un peu agréable	assez agréable	très agréable
Visuellement (forme, couleurs, architecture...)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
Les distributions des espaces et les circulations (aménagements)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La taille des espaces	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La lumière naturelle	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
L'éclairage	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La thermique (température)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
La thermique (humidité)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6
Sonore (acoustique)	☐ 1	☐ 2	☐ 3	☐ 4	☐ 5	☐ 6

5.5 De tous les éléments signalés dans la question précédente (question 5.4) quel est le plus remarquable pour vous dans l'école (une seule réponse possible)?

- ☐ Le visuel
- ☐ Les distributions (aménagement)
- ☐ La taille des espaces
- ☐ La lumière naturelle
- ☐ L'éclairage
- ☐ La thermique (température)
- ☐ La thermique (humidité)
- ☐ Sonore (acoustique)
- ☐ autre :

5.6 Comment pensez-vous que nous pourrions rendre l'école plus agréable pour les enfants et les adultes ?

6. LA CLASSE (si vous êtes enseignant ou ATSEM)
Toutes les questions concernent le bâtiment et l'espace construit.

6.1 Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entré à la classe ?

6.2 L'ambiance de la classe vous paraît (du point de vue de votre ressenti) :

	très désagréable	assez désagréable	un peu désagréable	un peu agréable	assez agréable	très agréable
Visuellement (forme, couleurs, architecture...)	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6
Les distributions des espaces et les circulations (aménagements)	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6
La taille des espaces	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6
La lumière naturelle	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6
L'éclairage	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6
La thermique (température)	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6
La thermique (humidité)	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6
Sonore (acoustique)	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6

6.3 De tous les éléments signalés dans la question précédente (question 6.2) quel est le plus remarquable pour vous dans la classe (une seule réponse possible)?

- ☐ Le visuel
- ☐ Les distributions (aménagement)
- ☐ La taille des espaces
- ☐ La lumière naturelle
- ☐ L'éclairage
- ☐ La thermique (température)
- ☐ La thermique (humidité)
- ☐ Sonore (acoustique)
- ☐ autre :

6.4 Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à la classe ?

1. 2. 3.
4. 5.

6.5 Quelle est votre impression générale de lq classe? Que ressentez-vous ? Tentez de le décrire brièvement (du point de vue de votre ressenti).

6.6 Comment pensez-vous que nous pourrions rendre la classe plus agréable pour les enfants et les adultes ?

6.3 Questionnaire à destination des travailleurs des écoles – Ambiance sonore

7. AU TRAVAIL (ambiance sonore)
7.1 De façon générale (fenêtres fermées) êtes-vous dérangé par le bruit pendant votre travail ?

pas du tout	légèrement	beaucoup	extrêmement
☐1	☐2	☐3	☐4

7.2 Énumérez les 3 activités principales de votre travail :

1)
2)
3)

7.3 Pour les activités de la question précédente 7.2, désignez les sources de bruit qui vous gênent le plus pour développer votre activité ainsi que leur fréquence et leur volume sonore.

ACTIVITÉ 1	Fréquence de la source				Volume sonore						Je suis ..... gêné			
	jamais	rarement	souvent	en permanence	très faible	assez faible	peu faible	peu fort	assez fort	très fort	pas du tout	légèrement	très	extrêmement
Bruits extérieurs	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits générés par les usagers	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits générés par les activités de l'école	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits des installations	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits produits par les équipements de travail	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits produits par l'acoustique du bâtiment (Surfaces réfléchissantes, etc.)	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Autre:	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4

ACTIVITÉ 2	Fréquence de la source				Volume sonore						Je suis ..... gêné			
	jamais	rarement	souvent	en permanence	très faible	assez faible	peu faible	peu fort	assez fort	très fort	pas du tout	légèrement	très	extrêmement
Bruits extérieurs	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits générés par les usagers	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits générés par les activités de l'école	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits des installations	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits produits par les équipements de travail	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits produits par l'acoustique du bâtiment (Surfaces réfléchissantes, etc.)	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Autre:	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4

ACTIVITÉ 3	Fréquence de la source				Volume sonore						Je suis ..... gêné			
	jamais	rarement	souvent	en permanence	très faible	assez faible	peu faible	peu fort	assez fort	très fort	pas du tout	légèrement	très	extrêmement
Bruits extérieurs	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits générés par les usagers	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits générés par les activités de l'école	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits des installations	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits produits par les équipements de travail	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits produits par l'acoustique du bâtiment (Surfaces réfléchissantes, etc.)	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Autre:	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4

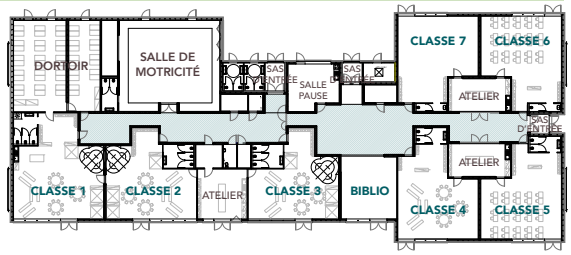
8. DANS LA CLASSE (si vous êtes enseignent ou ATSEM)

8.1 Désignez les sources de bruit qui vous gênent le plus pour développer votre activité de transmission de la parole dans la classe ainsi que leur fréquence et leur volume sonore.

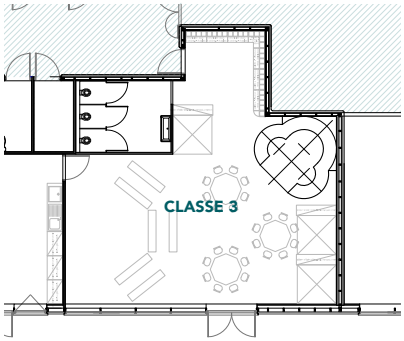
TRANSMISSION DE LA PAROLE	Fréquence de la source (présence)				Volume sonore						Je suis ..... gêné			
	jamais	rarement	souvent	en permanence	très faible	assez faible	peu faible	peu fort	assez fort	très fort	pas du tout	légèrement	très	extrêmement
Bruits extérieurs	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits générés par les usagers	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits générés par les activités de l'école	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits des installations	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits produits par les équipements de travail	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Bruits produits par l'acoustique du bâtiment (Surfaces réfléchissantes, etc.)	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4
Autre:	☐1	☐2	☐3	☐4	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6	☐1	☐2	☐3	☐4

8.2 Pourriez-vous marquer sur la carte (avec une croix X) le lieu du bâtiment maternelle de l'école, du point de vue de son environnement sonore, que vous trouvez particulièrement **agréable** et pourquoi ?

Pourriez-vous également marquer sur la carte (avec un point ●) le lieu du bâtiment maternelle de l'école, du point vue de son environnement sonore, que vous trouvez particulièrement **désagréable** et pourquoi ?



8.3 Au sein de votre **classe** à quel endroit votre message est-il le mieux entendu ?
Marquez sur la carte le lieu de la classe ainsi que la direction de votre parole avec la symbolique suivante : ●→



Pourriez-vous marquer sur la carte (avec une croix X) le lieu de votre **classe**, du point de vue de son environnement sonore, que vous trouvez particulièrement **agréable** et pourquoi ?

Pourriez-vous également marquer sur la carte (avec un point ●) le lieu de votre **classe**, du point vue de son environnement sonore, que vous trouvez particulièrement **désagréable** et pourquoi ?

8.4 Par rapport à l'**acoustique** de l'**école** et de votre **classe** avez-vous remarqué un **effet particulier** ? Si oui, quoi ? Si non, pourquoi ?

L'école :

La classe :

8.5 Pensez-vous que l'**école** et votre **classe** a une **bonne acoustique** (vous avez un bon ressenti) ? Si oui, pourquoi ? Si non, porquoi ?

L'école :

La classe :

8.6 La classe est bien **isolée** des **bruits extérieurs** du bâtiment (du trafic, de la rue, etc.) ? Si oui, pourquoi ? Si non, porquoi ?

8.7 La classe est bien **isolée** des **bruits intérieurs**, externes à votre classe ? Si oui, pourquoi ? Si non, porquoi ?

8.8 Êtes-vous obligé de **forcer la voix** ? Si oui, dans quelles situations ?

8.9 Percevez-vous un **effet de réverbération** (écho) dans votre classe ? Si oui, comment le décririez-vous ?

9. SENSIBILITÉ AU BRUIT Sexe: ☐ F ☐ M Âge :

9.1 Essayez de vous imaginer dans chaque situation énumérée et répondez sans prendre trop de temps de réflexion pour évaluer votre niveau d'accord avec la phrase.

	tout à fait en désaccord	assez en désaccord	un peu en désaccord	un peu d'accord	assez d'accord	tout à fait d'accord
Je suis facilement réveillé par le bruit	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6
Je m'habitue à la plupart des bruits sans trop de difficulté	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6
J'ai du mal à me détendre dans un endroit bruyant	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6
Je suis bon pour me concentrer, peu importe ce qu'il se passe autour de moi	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6
Je m'énerve contre les gens qui font du bruit et qui m'empêchent de m'endormir ou de travailler	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6
Je suis sensible au bruit	☐1	☐2	☐3	☐4	☐5	☐6

10. L'AMBIANCE SONORE ET LA TERRE CRUE

10.1 Pensez-vous que la présence de la terre crue contribue positivement à votre perception du lieu en général et de l'ambiance sonore en particulier (du point de vue de votre ressenti)? Si oui, comment expliqueriez vous cela ? Si non, pourquoi ?

L'ambiance générale :

L'ambiance sonore :

MERCI BEAUCOUP POUR VOTRE PARTICIPATION !

6.4 Définition du lexique employé

SOURCES DES BRUITS

Bruits extérieurs : Bruits provenant de l'extérieur du bâtiment (de la rue, du trafic, le bruit de voisinage, etc.).

Bruits générés par les usagers : Conversations entre élèves, collègues, déplacements dans les couloirs, récréations, activités dans les locaux voisins, etc. au-delà des activités que vous êtes en train de réaliser.

Bruits générés par les activités de l'école : À l'intérieur de votre classe ou lieu de travail.

- Les élèves : travaux de groupe, demandes diverses, discussions, jeux, cris, etc.
- Les enseignants : qui donnent cours, qui rappellent à l'ordre, qui discutent, etc.

Bruits des installations : Installations du bâtiment comme la ventilation, le chauffage, l'alarme incendie, etc.

Bruits produits par les équipements de travail : Des équipements comme des imprimantes, ordinateurs, téléphones, sonneries, ventilateurs des ordinateurs, du frigo, bruit strident des chaises, chutes d'objets, manipulation de matériel, etc.

Bruits produits par l'acoustique du bâtiment (surfaces réfléchissantes, etc.) : Réverbération et présence d'écho, etc.

FRÉQUENCE DE LA SOURCE

Jamais : Inexistante, à aucun moment.

Rarement : Peu souvent. Aléatoire et inespéré dans un moment de la journée ou pendant l'activité ou le travail que vous réalisez.

Souvent : Fréquemment, un grand nombre de fois dans la journée ou pendant l'activité ou le travail que vous réalisez.

En permanence : Constante et continue dans le temps.

VOLUME SONORE

Très faible : Imperceptible à votre oreille.

Assez faible : J'ai besoin de me concentrer pendant plusieurs secondes pour l'entendre.

Peu faible : Je l'entends mais je ne me sens pas perturbé plus que ça et je peux continuer avec mon travail ou activité.

Peu fort : Je l'entends et même si je peux continuer avec mon travail ou activité à certains moments j'arrive à perdre la concentration ou le fil de la tâche que je suis en train de développer.

Assez fort : Je l'entends clairement et parfois mon message arrive à être masqué et je me vois dans l'obligation de forcer la voix. Quand je réalise des tâches individuellement, j'ai du mal à me concentrer.

Très fort : Le volume m'empêche complètement de m'entendre, je dois arrêter mon travail et parfois, je dois me boucher les oreilles.

JE SUIS ..... GÊNÉ

...pas du tout ... : Je peux continuer mon activité ou travail sans perturbation ni aucune gêne ressentie.

... légèrement ... : Je peux continuer mon activité ou travail.

... très ... : Je peux continuer mon activité ou travail mais de manière très perturbée et en m'arrêtant sans cesse. À certains moments je dois reprendre une partie de mon travail.

... extrêmement... : Je ne peux pas continuer mon activité ou travail. Je me vois dans l'obligation de l'arrêter complétement.

6.5 Questionnaire à destination des acteurs du projet

6.5.1 Informations générales du projet

Ce questionnaire cherche à recopiler les informations générals du projet.

1. DESCRIPTIF DU PROJET

1.1 Intitulé du projet :

1.2 Type d'équipement

- école primaire
- école maternelle et primaire
- multi accueil
- autre:

1.3 Type d'établissement et catégorie

- Type R
- Catégorie 1 (à partir de 1501 personnes)
- Catégorie 2 (de 701 à 1501 personnes)
- Catégorie 3 (de 301 à 700 personnes)
- Catégorie 4 (jusqu'à 300 personnes)
- Catégorie 5 (Maternelle 100 / Elémentaire 300)
- autre:

1.4 L'équipement est-il de domaine public ou privé ?

- public
- privé
- autre

1.5 Type de construction

- Neuf
- Réhabilitation
- Neuf et réhabilitation
- autre

1.6 Type de la commande

- Procédure adaptée
- Concours
- Sans procédure ni concours
- autre

1.7 Date de début de chantier

1.8 Date de fin de chantier

1.9 Date de livraison

1.10 Surface utile (en m²)

1.11 Prix HT (préciser le prix total uniquement du bâtiment dans lequel il y a eu de la terre et sans prendre en compte l'aménagement extérieur)

1.12 Prix HT du lot terre

2. LOCALISATION

2.1 Adresse (nom et numéro de la rue, code postal et ville)

2.2 Région

2.3 Département

2.4 Coordonées GPS

3. ACTEURS DU PROJET

3.1 Qui est la maîtrise d'ouvrage ?

3.2 Parmi les organismes suivants lesquels ont fait partie de la maîtrise d'ouvrage :

- Bureau géotechnique
- Assistance maîtrise d'ouvrage
- Programmiste
- Bureau de contrôle
- PCI (Procès de Conception Intégrale)
- Coordinateur SPS (Sécurité Protection Santé)
- OPC (Ordonnancement Pilotage Coordination
- autre :

3.3 Qui est la maîtrise d'œuvre?

3.4 Parmi les organismes suivants lesquels ont fait partie de la maîtrise d'œuvre :

- Architecte
- Bureau d'étude thermique
- Bureau d'étude fluides :
- Bureau d'étude structure :
- Bureau d'étude acoustique :
- Economiste
- Paysagiste :
- Bureau d'étude de cuisine professionnelle:
- Bureau d'étude de VRD (Voirie et Réseaux Divers)
- OPC (Ordonnancement Pilotage Coordination)
- autre :

3.5 Entreprise du lot terre crue - Coordonnées

3.6 Entreprise de VRD (Voirie et Réseaux Divers) - Coordonnées

3.7 Bureau acoustique - Coordonnées

3.8 Utilisateurs

6.5.2 La maîtrise d'ouvrage

Ce questionnaire cherche avoir un peu plus d'information des démarches suivies par la maîtrise d'ouvrage ainsi que faire résortir les atous et les points de vigilence de l'intégration de la terre crue au projet.

1. LA TERRE CRUE

1.1 Quel intervenant a choisi d'utiliser la terre crue ?

- maîtrise d'ouvrage
- maîtrise d'oeuvre
- usagers
- autre :

1.2 Si le choix de la terre crue est de votre fait, quelle était la raison / la motivation principale du choix de celle-ci ?

1.3 Pouvez-vous énumérer vos expériences / projets avec la terre crue? En précisant le type de bâtiment (maison, écoles, etc.) et sa localisation (adresse).

2. ASPECTS OPÉRATIONNELS

2.1 L'utilisation de la terre crue dans le projet a-t-elle supposé des adaptations ou contraintes particulières au niveau réglementaire?

- oui (si oui continuer avec les questions 2.2 et 2.3)
- non (vous pouvez continuer directement sur la question 2.4)
- je ne sais pas
- autre :

2.2 Sur quelle réglementation l'utilisation de la terre crue a-t-elle comporté des adaptations ou contraintes particulières?

- Réglementation thermique
- Réglementation sismique (structure)
- Réglementation acoustique
- Réglementation incendie
- Réglementation sanitaire
- Réglementation d'urbanisme
- Réglementation d'accessibilité
- je ne sais pas
- autre :

2.3 Pouvez-vous préciser comment vous avez abordé l'utilisation de la terre sur les réglementations cochées à la question précédente (question 2.2) ?

2.4 L'utilisation de la terre crue dans le projet a-t-elle supposé des adaptations ou contraintes particulières pour l'assurabilité de l'ouvrage ?

- oui (si oui continuer avec la question 2.5)
- non (vous pouvez continuer directement sur la question 2.6)
- je ne sais pas
- autre :

2.5 Pouvez-vous préciser les contraintes trouvées ainsi que le procédé suivi pour les contourner ?

2.6 L'utilisation de la terre dans le projet a-t-elle supposé des adaptations ou contraintes particulières pour la validation du bureau de contrôle ?

- oui (si oui continuer avec la question 2.7)
- non (vous pouvez continuer directement sur la section 3)
- je ne sais pas
- autre :

2.7 Pouvez-vous préciser les contraintes trouvées ainsi que le procédé suivi pour avoir la validation du bureau de contrôle ?

3. RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE PROJET

3.1 Pouvez-vous résumer votre impression générale en tant que maîtrise d'ouvrage sur le projet ?

3.2 En comparaison avec un projet avec des matériaux conventionnels avez-vous des remarques particulières ?

3.3 Quel retour avez-vous eu de la part des usagers et de la maîtrise d'ouvrage par rapport au confort et/ou ressenti du bâtiment en terre crue (de façon générale, thermique, acoustique, hygrothermique, etc.) ?

6.5.3 La maîtrise d'œuvre ou les architectes

Ce questionnaire cherche avoir un peu plus d'information des démarches suivies par les architectes ainsi que faire résortir les atous et les points de vigilence de l'intégration de la terre crue au projet.

1. LA TERRE CRUE

1.1 Quel intervenant a choisi d'utiliser la terre crue ?

- ☐ maîtrise d'ouvrage
- ☐ maîtrise d'oeuvre
- ☐ usagers
- ☐ autre :

1.2 Si le choix de la terre crue provient de votre organisme, quelle était la raison / la motivation principale du choix de celle-ci ?

1.3 Pouvez-vous énumérer vos expériences / projets avec la terre crue? En précisant le type de bâtiment (maison, écoles, etc.) et sa localisation (adresse).

1.4 Cochez les techniques constructives de terre crue utilisées dans le projet :

- ☐ Adobe (fabrication in situ)
- ☐ Adobe (préfabrication (hors chantier))
- ☐ Adobe (achat)
- ☐ BTC (fabrication in situ)
- ☐ BTC (préfabrication (hors chantier))
- ☐ BTC (achat)
- ☐ Bauge (mise en oeuvre in situ)
- ☐ Bauge (préfabrication)
- ☐ Pisé (mise en oeuvre in situ)
- ☐ Pisé (préfabrication)
- ☐ Torchis (mise en oeuvre in situ)
- ☐ Torchis (préfabrication)
- ☐ Terre paille ou terre allégée (mise en oeuvre in situ)
- ☐ Terre paille ou terre allégée (préfabrication)
- ☐ Enduits (avec la terre du site)
- ☐ Enduits (achat de la terre)
- ☐ autre :

2. ASPECTS OPÉRATIONNELS

2.1 L'utilisation de la terre crue dans le projet a-t-elle supposé des adaptations ou contraintes particulières au niveau réglementaire?

- ☐ oui (si oui continuer avec les questions 2.2 et 2.3.)
- ☐ non (vous pouvez continuer directement sur la question 2.4)
- ☐ autre :

2.2 Sur quelle réglementation l'utilisation de la terre crue a-t-elle comporté des adaptations ou contraintes particulières?

- ☐ Réglementation thermique
- ☐ Réglementation sismique (structure)
- ☐ Réglementation acoustique
- ☐ Réglementation incendie
- ☐ Réglementation sanitaire
- ☐ Réglementation d'urbanisme
- ☐ Réglementation d'accessibilité
- ☐ autre :

2.3 Pouvez-vous préciser comment vous avez abordé l'utilisation de la terre sur les réglementations cochées à la question précédente (question 2.2) ?

2.4 L'utilisation de la terre crue dans le projet a-t-elle supposé des adaptations ou contraintes particulières pour l'assurabilité de l'ouvrage ?

- ☐ oui (si oui continuer avec la question 2.5)
- ☐ non (vous pouvez continuer directement sur la question 2.6)
- ☐ autre :

2.5 Pouvez-vous préciser les contraintes trouvées ainsi que le procédé suivi pour les contourner ?

2.6 L'utilisation de la terre dans le projet a-t-elle supposé des adaptations ou contraintes particulières pour la validation du bureau de contrôle ?

- ☐ oui (si oui continuer avec la question 2.7)
- ☐ non (vous pouvez continuer directement sur la question 2.8)
- ☐ autre :

2.7 Pouvez-vous préciser les contraintes trouvées ainsi que le procédé suivi pour avoir la validation du bureau de contrôle ?

2.8 L'utilisation de la terre dans le projet a supposé des adaptations ou contraintes particulières pour l'obtention du permis de construire ou de la déclaration préalable?

- ☐ oui (si oui continuer avec la question 2.9)
- ☐ non (vous pouvez continuer directement sur la question 2.10)
- ☐ autre :

2.9 Pouvez-vous préciser les contraintes trouvées ainsi que le procédé suivi pour l'obtention du permis de construire ou de la déclaration préalable?

2.10 Cochez les études spécifiques réalisées pour la matière terre crue :

- ☐ Étude sur la pollution de la terre
- ☐ Essais de caractérisation de la terre crue sur place (essais de terrain) avant la phase conception
- ☐ Essais de caractérisation de la terre crue sur place (essais de terrain) avant la phase chantier
- ☐ Essais de caractérisation de la terre crue au laboratoire avant la phase conception
- ☐ Essais de caractérisation de la terre crue au laboratoire avant la phase chantier
- ☐ Réalisation de prototypes avant la phase conception
- ☐ Réalisation de prototypes avant la phase chantier
- ☐ autre :

2.10 D'où vient la terre utilisée pour le chantier ?

3. PHASE CONCEPTION

3.1 Pour quels éléments constructifs la terre crue a-t-elle été utilisée?

- ☐ murs de façade
- ☐ murs de refend
- ☐ cloisons
- ☐ plafons
- ☐ sols
- ☐ finitions
- ☐ enduits
- ☐ autre :

3.2 La terre crue a-t-elle un rôle porteur ?

- ☐ oui
- ☐ non
- ☐ autre :

3.3 Cochez la manière avec laquelle la conception a été développée :

- ☐ individuellement avec mon équipe
- ☐ sur la base d'une conception intégrée
- ☐ avec l'assistance externe des professionnels de la terre crue
- ☐ en collaboration avec d'autres entreprises
- ☐ à partir d'une formation auparavant du maître d'oeuvre
- ☐ autre :

3.4 Cochez les aspects sur lesquels vous avez du porter une attention plus importante, dans la phase de conception, du fait de l'intégration de terre crue.

- ☐ interface entre les murs et cloisons (éléments verticaux) et la plafond
- ☐ interface entre les murs et cloisons (éléments verticaux) et la sol
- ☐ gestion de l'étanchéité
- ☐ interface entre la charpente et la terre crue
- ☐ interface entre les menuiseries et la terre crue
- ☐ interface entre l'électricité (passage de gaines) et la terre crue
- ☐ interface entre la plomberie (passage de gaines) et la terre crue
- ☐ interface entre le chauffage (passage de gaines) et la terre crue
- ☐ interface entre la ventilation (passage de gaines) et la terre crue
- ☐ interface entre les finitions (carrelage, peinture, etc) et la terre crue
- ☐ temps de séchage
- ☐ autre :

3.5 Par rapport à la question précédente, pouvez-vous préciser comment les points singuliers et interfaces cochés ont été résolus (solutions techniques proposées)?

3.6 Si l'utilisation de la terre crue a eu des conséquences en terme budgétaire dans la phase de conception pouvez-vous préciser lesquels et pourquoi (par exemple une collaboration extérieure, plus de temps consacré, etc.) ?

4. PHASE CHANTIER

4.1 Dans la phase chantier y a-t-il eu des changements par rapport à la technique de mise en oeuvre de la terre crue choisie en phase de conception ?

- ☐ oui (si oui continuer avec la question 4.2)
- ☐ non (vous pouvez continuer directement sur la question 4.3)
- ☐ autre :

4.2 Quel est été le changement de technique de mise en oeuvre et pourquoi?

4.3 La mise en oeuvre de la terre crue a été réalisée par :

- ☐ des professionnels de la terre crue (entreprise maçonnerie terre crue)
- ☐ des bénévoles encadrés par des professionnels (chantier participatif)
- ☐ ne association d'insertion
- ☐ un centre de formation
- ☐ des stagiaires
- ☐ autre :

4.4 Par rapport à la question précédente (question 4.3) pouvez-vous spécifier pourquoi et pour qui a été fait le choix de la façon de mise en oeuvre?

4.5 Cochez les aspects sur lesquels vous avez du porter une attention plus importante, dans la phase de chantier, du fait de l'intégration de la terre crue.

- ☐ interface entre les murs et cloisons (éléments verticaux) et le plafond
- ☐ interface entre les murs et cloisons (éléments verticaux) et le sol
- ☐ gestion de l'étanchéité
- ☐ interface entre la charpente et la terre crue
- ☐ interface entre les menuiseries et la terre crue
- ☐ interface entre l'électricité (passage de gaines) et la terre crue
- ☐ interface entre la plomberie (passage de gaines) et la terre crue
- ☐ interface entre le chauffage (passage de gaines) et la terre crue
- ☐ interface entre la ventilation (passage de gaines) et la terre crue
- ☐ interface entre les finitions (carrelage, peinture, etc) et la terre crue
- ☐ temps de séchage
- ☐ autre :

4.6 Par rapport à la question précédente, pouvez-vous préciser comment les points singuliers et interfaces cochés ont été résolus sur le chantier (solutions techniques proposées) ?

4.7 L'intégration de la terre crue au projet a-t-elle comporté une planification spécifique sur le phasage et l'intervention d'autres corps d'état ?

- ☐ oui (si oui continuer avec la question 4.8)
- ☐ non (vous pouvez continuer directement sur la question 4.9)
- ☐ autre :

4.8 Pouvez-vous préciser comment vous avez abordé la planification du chantier et quels éléments ont été essentiels pour le bon déroulement du chantier et l'intervention des différents corps d'état?

4.9 L'intégration de la terre crue sur le projet a-t-elle comporté un impact sur le budget du projet ?

- ☐ oui (si oui continuer avec la question 4.10)
- ☐ non (vous pouvez continuer avec la section 5)
- ☐ autre :

4.10 Pouvez-vous spécifier quel a été l'impact en termes budgétaires?

5. RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE PROJET

5.1 Pouvez-vous résumer votre impression générale en tant qu'architecte sur le projet ?

5.2 En comparaison avec un projet avec des matériaux conventionnels avez-vous des remarques particulières ?

5.3 Quel est votre retour par rapport à l'utilisation de la terre au niveau réglementaire (thermique, acoustique, incendie, sismique, sanitaire)?

5.4 Quel retour avez-vous eu de la part des usagers et de la maîtrise d'ouvrage par rapport au confort et/ou ressenti du bâtiment en terre crue (de façon générale, thermique, acoustique, hygrothermique, etc.) ?

6.5.4 L'entreprise terre crue

Ce questionnaire cherche avoir un peu plus d'information des démarches suivies par l'entreprise terre crue ainsi que faire résortir les atous et les points de vigilence de l'intégration de la terre crue au projet.

1. LA TERRE CRUE

1.1 Cochez les techniques constructives de terre crue utilisées dans le projet :

- Adobe (fabrication in situ)
- Adobe (préfabrication (hors chantier))
- Adobe (achat)
- BTC (fabrication in situ)
- BTC (préfabrication (hors chantier))
- BTC (achat)
- Bauge (mise en oeuvre in situ)
- Bauge (préfabrication)
- Pisé (mise en oeuvre in situ)
- Pisé (préfabrication)
- Torchis (mise en oeuvre in situ)
- Torchis (préfabrication)
- Terre paille ou terre allégée (mise en oeuvre in situ)
- Terre paille ou terre allégée (préfabrication)
- Enduits (avec la terre du site)
- Enduits (achat de la terre)
- autre :

1.2 Pouvez-vous énumérer vos expériences / projets d'établissement recevant du public (ERP) avec la terre crue? En précisant le type de bâtiment (écoles, multi accueil, etc.) et sa localisation (adresse).

2. ASPECTS OPÉRATIONNELS

2.1 L'utilisation de la terre crue dans le projet a-t-elle supposé des adaptations ou contraintes particulières au niveau réglementaire?

- oui (si oui continuer avec les questions 2.2 et 2.3)
- non (vous pouvez continuer directement sur la question 2.4)
- autre :

2.2 Sur quelle réglementation l'utilisation de la terre crue a-t-elle comporté des adaptations ou contraintes particulières?

- Réglementation thermique
- Réglementation sismique (structure)
- Réglementation acoustique
- Réglementation incendie
- Réglementation sanitaire
- Réglementation d'urbanisme
- Réglementation d'accessibilité
- autre :

2.3 Pouvez-vous préciser comment vous avez abordé l'utilisation de la terre sur les réglementations cochées à la question précédente (question 2.2) ?

2.4 L'utilisation de la terre crue dans le projet a-t-elle supposé des adaptations ou contraintes particulières pour l'assurabilité de l'ouvrage ?

- oui (si oui continuer avec la question 2.5)
- non (vous pouvez continuer directement sur la question 2.6)
- autre :

2.5 Pouvez-vous préciser les contraintes trouvées ainsi que le procédé suivi pour les contourner ?

2.6 Cochez les études spécifiques réalisées pour la matière terre crue pour votre entreprise :

- Étude sur la pollution de la terre
- Essais de caractérisation de la terre crue sur place (essais de terrain) avant la phase conception
- Essais de caractérisation de la terre crue sur place (essais de terrain) avant la phase chantier
- Essais de caractérisation de la terre crue au laboratoire avant la phase conception
- Essais de caractérisation de la terre crue au laboratoire avant la phase chantier
- Réalisation de prototypes avant la phase conception
- Réalisation de prototypes avant la phase chantier
- autre

2.7 D'où vient la terre utilisée pour le chantier ?

3. PHASE DE CONCEPTION

3.1 Avez-vous participé à la phase de conception?

- oui
- non
- autre :

3.2 Pouvez-vous préciser quelle a été votre participation et sur quels aspects?

3.3 Cochez les aspects sur lesquels vous avez porté une attention plus importante, dans la phase de conception, du fait de l'intégration de terre crue

- interface entre les murs et cloisons (éléments verticaux) et le plafond
- interface entre les murs et cloisons (éléments verticaux) et le sol
- gestion de l'étanchéité
- interface entre la charpente et la terre crue
- interface entre les menuiseries et la terre crue
- interface entre l'électricité (passage de gaines) et la terre crue
- interface entre la plomberie (passage de gaines) et la terre crue
- interface entre le chauffage (passage de gaines) et la terre crue
- interface entre la ventilation (passage de gaines) et la terre crue
- interface entre les finitions (carrelage, peinture, etc) et la terre crue
- temps de séchage
- autre :

3.4 Par rapport à la question précédente, pouvez-vous préciser comment les points singuliers et interfaces cochés ont été résolus (solutions techniques proposées pour votre entreprise)?

4. PHASE CHANTIER

4.1 La terre crue utilisée pour la construction a eu besoin de modifications (par exemple ajout de sable, etc)?

- oui (si oui continuer avec les questions 4.2)
- non (vous pouvez continuer directement sur la question 4.3)
- autre

4.2 Pourquoi la terre a-t-elle eu besoin de modifications ?

4.3 Dans la phase chantier y a-t-il eu des changements par rapport à la technique de mise en oeuvre de la terre crue choisie en phase de conception ?

- oui (si oui continuer avec les questions 4.4)
- non (vous pouvez continuer directement sur la question 4.5)
- autre :

4.4 Quel est été le changement de technique de mise en oeuvre et pourquoi?

4.5 La mise en oeuvre de la terre crue a été réalisée par :

- entièrement par les salariés de votre entreprise
- avec la collaboration des bénévoles encadrés par des professionnels de votre entreprise (chantier participatif)
- en collaboration avec une association d'insertion
- en collaboration avec un centre de formation
- en collaboration avec des stagiaires de l'entreprise
- autre :

4.6 Par rapport à la question précédente (question 4.5) pouvez-vous spécifier pourquoi et pour qui a été fait le choix de la façon de mise en oeuvre?

10

4.7 Cochez les aspects sur lesquels vous avez porté une attention plus importante, dans la phase de conception, du fait de l'intégration de terre crue

- interface entre les murs et cloisons (éléments verticaux) et le plafond
- interface entre les murs et cloisons (éléments verticaux) et le sol
- gestion de l'étanchéité
- interface entre la charpente et la terre crue
- interface entre les menuiseries et la terre crue
- interface entre l'électricité (passage de gaines) et la terre crue
- interface entre la plomberie (passage de gaines) et la terre crue
- interface entre le chauffage (passage de gaines) et la terre crue
- interface entre la ventilation (passage de gaines) et la terre crue
- interface entre les finitions (carrelage, peinture, etc) et la terre crue
- temps de séchage
- autre :

4.8 Par rapport à la question précédente, pouvez-vous préciser comment les points singuliers et interfaces cochés ont été résolus (solutions techniques proposées pour votre entreprise)?

4.9 L'intégration de la terre crue au projet a-t-elle comporté une planification spécifique sur le phasage et l'intervention d'autres corps d'état ?

- oui (si oui continuer avec les questions 4.10)
- non (vous pouvez continuer directement sur la question 4.11)
- autre :

4.10 Pouvez-vous préciser comment vous avez abordé la planification du chantier et quels éléments ont été essentiels pour le bon déroulement du chantier et l'intervention des différents corps d'état ?

4.11 L'intégration de la terre crue sur le projet a-t-elle eu un impact sur le budget de votre lot ?

- oui (si oui continuer avec les questions 4.10)
- non (vous pouvez continuer directement sur la section 5)
- autre :

4.12 Pouvez-vous spécifier quel a été l'impact en termes budgétaires?

5. RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE PROJET

5.1 Pouvez-vous résumer votre impression générale en tant qu'entreprise terre crue sur le projet ?

5.2 En comparaison avec un projet avec des matériaux conventionnels avez-vous des remarques particulières ?

5.3 Quel est votre retour par rapport à l'utilisation de la terre au niveau réglementaire (thermique, acoustique, incendie, sismique, sanitaire) ?

5.4 Quel retour avez-vous eu de la part des usagers et de la maitrise d'ouvrage par rapport au confort et/ou ressenti du bâtiment en terre crue (de façon générale, thermique, acoustique, hygrothermique, etc.) ?

11

6.5.5 Le bureau acoustique

Ce questionnaire cherche avoir un peu plus d'information des démarches suivies par le bureau acoustique ainsi que faire résortir les atous et les points de vigilence de l'intégration de la terre crue au projet.

1. LA TERRE CRUE

1.1 Pouvez-vous énumérer vos expériences / projets d'établissement recevant du public (ERP) avec la terre crue? En précisant le type de bâtiment (écoles, multi accueil, etc.) et se localisation (adresse).

2. ASPECTS OPERATIONNELS

2.1 L'utilisation de la terre crue dans le projet a-t-elle supposé des adaptations ou contraintes particulières au niveau de la réglementation acoustique?

- oui (si oui continuer avec les questions 2.2)
- non (vous pouvez continuer directement sur la question 2.3)
- autre :

2.2 Pouvez-vous préciser comment vous avez abordé l'utilisation de la terre sur la réglementation acoustique ?

2.3 L'utilisation de la terre dans le projet a-t-elle supposé des adaptations ou contraintes particulières pour la validation du bureau de contrôle en terme d'acoustique?

- oui (si oui continuer avec les questions 2.2)
- non (vous pouvez continuer directement sur la question 2.3)
- autre :

2.4 Pouvez-vous préciser les contraintes trouvées ainsi que le procédé suivi pour avoir la validation du bureau de contrôle ?

3. PHASE DE CONCEPTION

3.1 Avez-vous réalisé des simulations pendant la phase de conception pour aider à la bonne réalisation des espaces au niveau acoustique?

- oui (si oui continuer avec les questions 3.2)
- non (vous pouvez continuer directement sur la section 4)
- autre :

3.2 Quelles ont été vos propositions et contributions pour la bonne conception acoustique avec la terre crue?

4. PHASE CHANTIER

4.1 Avez-vous réalisé des tests acoustiques pendant la phase de chantier?

- oui (si oui continuer avec les questions 4.2)
- non (vous pouvez continuer directement sur la question 4.3)
- autre :

4.2 Quels tests avez-vous réalisés et quelles conclusions en avez-vous tirées ?

4.3 Avez-vous réalisé des tests acoustiques à la fin du chantier?

- oui (si oui continuer avec les questions 4.4)
- non (vous pouvez continuer directement sur la section 5)
- autre :

4.4 Quels tests avez-vous réalisés et quelles conclusions en avez-vous tirées ?

5. RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE PROJET

5.1 Pouvez-vous résumer votre impression générale sur l'acoustique du projet ?

5.2 En comparaison avec un projet avec des matériaux conventionnels avez-vous des remarques particulières ?

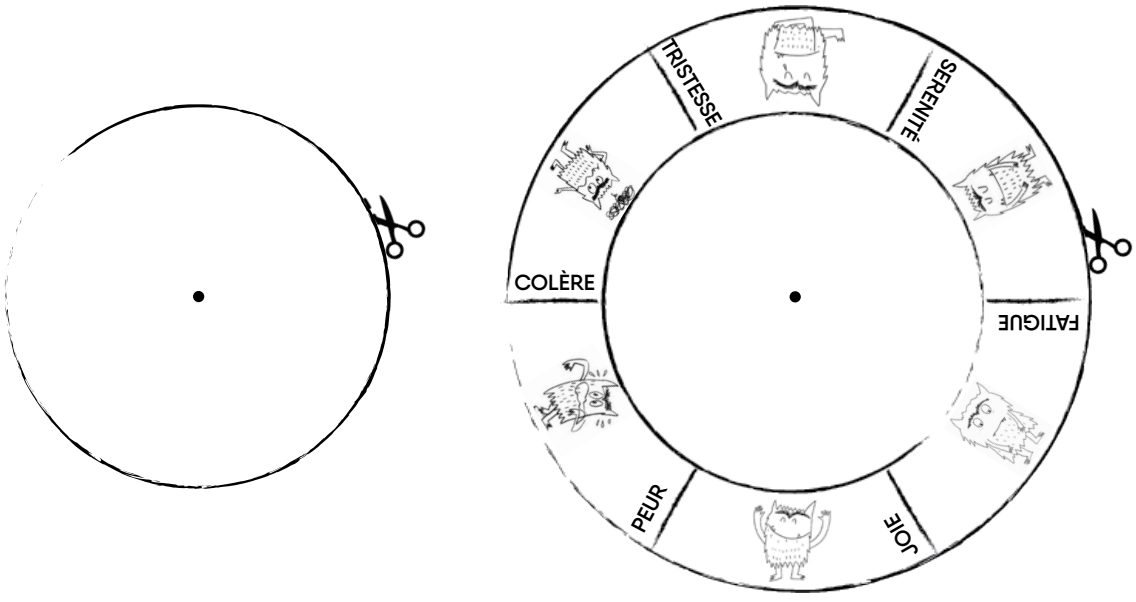
5.3 Quel est votre retour par rapport à l'utilisation de la terre au niveau de la règlementation acoustique?

5.4 Quel retour avez-vous eu de la part des usagers par rapport au confort et/ou ressenti acoustique du bâtiment en terre crue ?

6.6 Enquête enfants

6.6.1 Le monde sensible

Roue réalisée pour les classes de maternelles avec les graphismes du livre « La couleur des émotions » (Llenas, 2014) avec moins d'émotions que pour les cours d'élémentaire.



Annexe 7. Résultats des questionnaires Enquête adulte dans les écoles

7.1 Les parents

7.1.1 Caractéristiques des logements

Caractéristiques sur la situation et la matérialité des logements (Bouvron et Baulon) :

	Fréquence	Pourcentage
dans le bourg de ville /village	16	28,6
en périphérie ville /village	8	14,3
en campagne	32	57,1
Total	56	100,0

Tableau 61 Question 5.1 Votre logement est situé – Réponse des parents de Bouvron (par famille).

	Fréquence	Pourcentage
dans le bourg de ville /village	11	44,0
en périphérie ville /village	4	16,0
en campagne	10	40,0
Total	25	100,0

Tableau 62 Question 5.1 Votre logement est situé – Réponse des parents de Baulon.

	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage des réponses
des maisons individuelles	51	34,7%	91,1%
des commerces	2	1,4%	3,6%
des rues	17	11,6%	30,4%
des espaces verts	37	25,2%	66,1%
des voies ferrées	2	1,4%	3,6%
des routes	24	16,3%	42,9%
autres	14	9,5%	25,0%
Total	147	100,0%	262,5%

Tableau 63 Question 5.2 Autour de votre logement il y a – Réponse des parents de Bouvron (par famille).

	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage des réponses
des maisons individuelles	23	52,3%	92,0%
des commerces	2	4,5%	8,0%
des rues	4	9,1%	16,0%
des espaces verts	10	22,7%	40,0%
des routes	3	6,8%	12,0%
autres	2	4,5%	8,8%
Total	44	100,0%	176,0%

Tableau 64 Question 5.2 Autour de votre logement il y a – Réponse des parents de Baulon.

	Fréquence	Pourcentage
maison individuelle avec murs mitoyens	21	37,5
habitat collectif de moins de 6 logements	2	3,6
maison individuelle isolée	32	57,1
autre	1	1,8
Total	56	100,0

Tableau 65 Question 5.3 Votre logement est (type d'habitat) - Réponse des parents de Bouvron (par famille).

	Fréquence	Pourcentage
maison individuelle avec murs mitoyens	6	24,0
maison individuelle isolée	19	76,0
Total	25	100,0

Tableau 66 Question 5.3 Votre logement est (type d'habitat) - Réponse des parents de Baulon.

	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage des réponses
pierre	28	35,9%	50,0%
parpaing	29	37,2%	51,8%
brique cuite	7	9,0%	12,5%
structure bois plus isolation	7	9,0%	12,5%
je ne sais pas	5	6,4%	8,9%
autre	2	2,6%	3,6%
Total	78	100,0%	139,3%

Tableau 67 Question 5.7 Connaissez-vous les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement ? - Réponse des parents de Bouvron (par famille).*

	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage des réponses
pierre	9	28,1%	36,0%
parpaing	12	37,5%	48,0%
brique cuite	4	12,5%	16,0%
structure bois plus isolation	2	6,3%	8,0%
terre crue	3	9,4%	12,0%
je ne sais pas	2	6,3%	8,0%
Total	32	100,0%	128,0%

Tableau 68 Question 5.7 Connaissez-vous les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement ? - Réponse des parents de Baulon.*

	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage des réponses
peinture	49	34,8%	89,1%
carrelage	35	24,8%	63,6%
lambris bois	9	6,4%	16,4%
maçonnerie apparente	5	3,5%	9,1%
enduit ciment	4	2,8%	7,3%
enduit chaux	12	8,5%	21,8%
enduit plâtre	10	7,1%	18,2%
enduit terre crue	2	1,4%	3,6%
autre	15	10,6%	27,3%
Total	141	100,0%	256,4%

Tableau 69 Question 5.8 Les finitions intérieures des murs et sols de votre logement sont principalement : - Réponse des parents de Bouvron (par famille).*

	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage des réponses
peinture	22	37,9%	88,0%
carrelage	17	29,3%	68,0%
lambris bois	4	6,9%	16,0%
maçonnerie apparente	2	3,4%	8,0%
enduit ciment	1	1,7%	4,0%
enduit chaux	3	5,2%	12,0%
enduit plâtre	4	6,9%	16,0%
enduit terre crue	1	1,7%	4,0%
autre	4	6,9%	16,0%
Total	58	100,0%	232,0%

Tableau 70 Question 5.8 Les finitions intérieures des murs et sols de votre logement sont principalement : - Réponse des parents de Baulon.*

7.1.2 L'ambiance sonore au logement et les caractéristiques de celui-ci

Croisement des données sur l'ambiance sonore ressentie dans leurs logements et des variables sur la situation et la matérialité des logements :

École Bouvron		Votre logement est (type d'habitat)				Total
		maison individuelle avec murs mitoyens	habitat collectif de moins de 6 logements	maison individuelle isolée	autre	
Ambiance de votre logement Sonore - Acoustique	très désagréable (1)	1	0	0	0	1
		3,6%	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%
	assez désagréable (2)	1	0	4	0	5
		3,6%	0,0%	8,7%	0,0%	6,4%
	un peu désagréable (3)	0	0	3	0	3
		0,0%	0,0%	6,5%	0,0%	3,8%
	un peu agréable (4)	4	1	6	0	11
		14,3%	33,3%	13,0%	0,0%	14,1%
	assez agréable (5)	15	0	18	1	34
		53,6%	0,0%	39,1%	100,0%	43,6%
	très agréable (6)	7	2	15	0	24
		25,0%	66,7%	32,6%	0,0%	30,8%
Total – Votre logement est (type d'habitat)		28	3	46	1	78
		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tableau 71 Convergence entre les réponses des parents de Bouvron entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et votre logement est (type d'habitat).

École Baulon		Votre logement est (type d'habitat)				Total
		maison individuelle avec murs mitoyens	habitat collectif de moins de 6 logements	maison individuelle isolée	autre	
Ambiance de votre logement Sonore - Acoustique	très désagréable (1)	0	-	1	-	1
		0,0%	-	5,3%	-	4,0%
	assez désagréable (2)	0	-	1	-	1
		0,0%	-	5,3%	-	4,0%
	un peu désagréable (3)	0	-	1	-	1
		0,0%	-	5,3%	-	4,0%
	un peu agréable (4)	0	-	2	-	2
		0,0%	-	10,5%	-	8,0%
	assez agréable (5)	3	-	4	-	7
		50,0%	-	21,1%	-	28,0%
	très agréable (6)	3	-	10	-	13
		50,0%	-	52,6%	-	52,0%
Total – Votre logement est (type d'habitat)		6	-	19	-	25
		100,0%	-	100,0%	-	100,0%

Tableau 72 Convergence entre les réponses des parents de Baulon entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et votre logement est (type d'habitat).

École Bouvron		Les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement							Total
		Pierre (1)	Parpaing (2)	Brique cuite (4)	Structure bois plus isolation (5)	Terre crue (7)	Je ne sais pas (8)	Autre (9)	
Ambiance de votre logement Sonore - Acoustique	très désagréable (1)	1	0	0	0		0	0	1
		2,6%	0,0%	0,0%	0,0%		0,0%	0,0%	
	assez désagréable (2)	2	4	0	1		0	0	5
		5,1%	10,8%	0,0%	11,1%		0,0%	0,0%	
	un peu désagréable (3)	2	1	0	0		0	0	3
		5,1%	2,7%	0,0%	0,0%		0,0%	0,0%	
	un peu agréable (4)	5	5	2	2		2	1	10
		12,8%	13,5%	22,2%	22,2%		28,6%	50,0%	
	assez agréable (5)	18	16	3	5		3	1	34
		46,2%	43,2%	33,3%	55,6%		42,9%	50,0%	
	très agréable (6)	11	11	4	1		2	0	24
		28,2%	29,7%	44,4%	11,1%		28,6%	0,0%	
Total – Votre logement est situé		39	37	9	9		7	2	77
		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%		100,0%	100,0%	100,0%

Tableau 73 Convergence entre les réponses des parents de Bouvron entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement.

École Baulon		Les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement							Total
		Pierre (1)	Parpaing (2)	Brique cuite (4)	Structure bois plus isolation (5)	Terre crue (7)	Je ne sais pas (8)	Autre (9)	
Ambiance de votre logement Sonore - Acoustique	très désagréable (1)	0	1	0	0	0	0		1
		0,0%	8,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		
	assez désagréable (2)	1	1	0	0	0	0		1
		11,1%	8,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		
	un peu désagréable (3)	0	1	0	0	0	0		1
		0,0%	8,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		
	un peu agréable (4)	0	1	0	1	0	0		2
		0,0%	8,3%	0,0%	50,0%	0,0%	0,0%		
	assez agréable (5)	2	4	1	0	1	1		7
		22,2%	33,3%	25,0%	0,0%	33,3%	50,0%		
	très agréable (6)	6	4	3	1	2	1		13
		66,7%	33,3%	75,0%	50,0%	66,7%	50,0%		
Total – Votre logement est situé		9	12	4	2	3	2		25
		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%		100,0%

Tableau 74 Convergence entre les réponses des parents de Baulon entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement.

École Bouvron		Les finitions de votre logement									Total
		Peinture (1)	Carrelage (2)	Lambris bois (3)	Maçonnerie apparente (4)	Enduit ciment (6)	Enduit chaux (7)	Enduit plâtre (8)	Enduit terre crue (9)	autre	
Ambiance de votre logement Sonore - Acoustique	très désagréable (1)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	25,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
	assez désagréable (2)	4	3	0	0	1	1	1	0	0	5
		5,7%	7,1%	0,0%	0,0%	25,0%	6,7%	10,0%	0,0%	0,0%	
	un peu désagréable (3)	2	1	0	0	0	1	1	0	1	3
		2,9%	2,4%	0,0%	0,0%	0,0%	6,7%	10,0%	0,0%	5,3%	
	un peu agréable (4)	11	8	2	2	1	3	4	1	2	11
		15,7%	19,0%	15,4%	33,3%	25,0%	20,0%	40,0%	50,0%	10,5%	
	assez agréable (5)	30	16	5	1	1	8	3	1	10	33
		42,9%	38,1%	38,5%	16,7%	25,0%	53,3%	30,0%	50,0%	52,6%	
	très agréable (6)	23	14	6	3	0	2	1	0	6	24
		32,9%	33,3%	46,2%	50,0%	0,0%	13,3%	10,0%	0,0%	31,6%	
Total – Votre logement est situé		70	42	13	6	4	15	10	2	19	77
		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tableau 75 Convergence entre les réponses des parents de Bouvron entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement.

École Baulon		Les finitions de votre logement									Total
		Peinture (1)	Carrelage (2)	Lambris bois (3)	Maçonnerie apparente (4)	Enduit ciment (6)	Enduit chaux (7)	Enduit plâtre (8)	Enduit terre crue (9)	autre	
Ambiance de votre logement Sonore - Acoustique	très désagréable (1)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
		0,0%	5,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
	assez désagréable (2)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
		4,5%	5,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
	un peu désagréable (3)	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
		4,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	25,0%	
	un peu agréable (4)	2	2	1	0	0	1	0	0	0	2
		9,1%	11,8%	25,0%	0,0%	0,0%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	
	assez agréable (5)	6	5	1	0	1	1	0	0	2	7
		27,3%	29,4%	25,0%	0,0%	100,0%	33,3%	0,0%	0,0%	50,0%	
	très agréable (6)	12	8	2	2	0	1	4	1	1	13
		54,5%	47,1%	50,0%	100,0%	0,0%	33,3%	100,0%	100,0%	25,0%	
Total – Votre logement est situé		22	17	4	2	1	3	4	1	4	25
		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tableau 76 Convergence entre les réponses des parents de Baulon entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et les finitions utilisées de votre logement.

7.1.3 Corrélation entre l'ambiance ressentie dans le logement et à l'école

École Bouvron - Parents															
	Logement					École					Classe				
Id Q	Amb. Log. Archi	Amb. Log. Ame.	Amb. Log. Lum	Amb. Log. Temp.	Amb. Log. Acous.	Amb. école Archi.	Amb. école Ame.	Amb. école Lum.	Amb. école Temp.	Amb. école Acous.	Amb. classe Archi.	Amb. classe Ame.	Amb. classe Lum.	Amb. classe Temp.	Amb. classe Acous.
1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
4	5	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
5	5	5	4	5	4	5	6	6	6	6	5	6	6	6	6
6	5	4	4	5	4	5	6	6	6	6	95	95	95	95	95
7	5	5	5	3	3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
8	6	6	6	5	6	5	5	5	5	5	95	95	95	95	95
9	2	2	6	4	5	3	5	6	6	5	5	4	6	6	6
10	6	6	6	6	6	5	6	5	6	6	5	6	6	6	6
11	5	5	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
12	5	5	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
13	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6
14	6	6	5	4	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
15	6	6	6	3	3	6	5	4	3	5	5	5	4	4	5
16	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
17	6	6	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	6	6	6
18	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	4	5
19	6	6	5	5	5	6	6	5	6	6	95	95	95	95	95
20	6	6	6	6	5	5	6	6	6	5	5	6	6	6	5
21	6	6	6	6	5	5	5	6	5	5	99	99	99	99	99
22	6	6	6	6	6	6	6	5	5	4	6	6	6	5	4
23	6	6	6	5	6	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
24	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
25	6	6	6	6	5	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6
26	6	6	6	4	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6
27	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	5	6	6	5
28	6	5	6	5	5	6	6	5	6	6	5	6	5	6	6
29	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	95	95	95	95	95
30	5	4	4	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5
31	5	5	4	5	4	5	6	5	6	6	5	6	5	6	6
32	5	6	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
33	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
34	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5
35	5	4	5	5	4	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1
36	6	6	98	98	98	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
37	6	5	6	6	6	5	6	4	6	6	6	6	5	6	6
39	4	5	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
40	4	5	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
41	4	5	6	5	4	5	6	6	6	5	5	5	5	5	5
42	5	5	4	2	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6
43	4	4	5	4	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5
44	6	5	5	4	5	6	6	5	6	6	6	6	5	6	5
45	6	6	6	5	5	6	5	5	5	6	6	6	6	5	6

46	5	5	5	4	5	6	6	6	5	6	5	5	6	6	5
47	6	5	6	5	5	5	5	6	6	6	5	5	6	6	6
48	6	5	6	5	5	5	5	6	6	6	5	5	6	6	6
49	6	5	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6
50	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	5	6	6	6
51	6	5	4	3	2	5	5	5	6	6	5	5	6	6	6
52	6	6	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6
53	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
54	3	2	3	5	5	5	5	6	5	5	5	5	6	5	5
55	5	5	4	4	5	5	6	6	6	6	5	5	6	6	6
56	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6
57	6	6	6	5	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6
58	4	5	5	5	4	5	6	5	5	5	6	5	5	6	6
59	5	5	6	5	4	5	6	5	6	6	6	6	6	6	6
60	2	1	2	3	2	5	5	4	6	5	96	96	96	96	96
61	5	5	4	5	5	4	6	5	6	6	5	6	5	6	6
62	4	4	6	2	2	5	6	5	5	5	6	6	6	6	6
63	5	5	6	3	4	5	5	6	5	6	5	5	6	5	5
64	6	3	6	2	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6
65	5	5	5	4	5	6	5	99	99	99	96	96	96	96	96
66	6	5	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
67	4	4	3	4	3	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4
68	4	4	6	5	5	5	6	6	6	6	5	5	6	6	6
69	4	4	6	5	5	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6
70	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2
71	6	6	5	5	6	6	6	5	5	5	6	6	6	6	6
72	5	6	5	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5	5	5
73	6	6	5	4	6	5	5	5	6	5	5	5	5	6	6
75	5	6	6	5	1	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6
76	5	6	4	5	4	4	5	6	6	6	4	6	6	6	6
77	6	5	6	5	4	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6
78	5	5	3	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
TOTAL jugements plus positifs						**16**	**30**	**20**	**42**	**35**	**14**	**24**	**21**	**39**	**33**
% par rapport aux réponses totales						**21.33**	**40.00**	**27.03**	**56.76**	**47.30**	**20.59**	**35.29**	**30.88**	**57.35**	**48.53**
TOTAL même jugement						**40**	**31**	**38**	**28**	**29**	**43**	**40**	**41**	**28**	**33**
% par rapport aux réponses totales						**53.33**	**41.33**	**51.35**	**37.84**	**39.19**	**63.24**	**58.82**	**60.29**	**41.18**	**48.53**
TOTAL jugements plus négatifs						**20**	**15**	**17**	**5**	**11**	**13**	**7**	**9**	**4**	**5**
% par rapport aux réponses totales						**26.67**	**20.00**	**22.97**	**6.76**	**14.86**	**19.12**	**10.29**	**13.24**	**5.88**	**7.35**
TOTAL de non réponses						**0.00**	**0.00**	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**7.00**	**7.00**	**7.00**	**7.00**	**7.00**
% par rapport aux questionnaires totaux						**0.00**	**0.00**	**1.33**	**1.33**	**1.33**	**9.33**	**9.33**	**9.33**	**9.33**	**9.33**

Tableau 77 Réponses des parents de l'école de Bouvron sur l'ambiance de leur logement, l'école et la classe (du point de vue de leur ressenti).

Légende : Case en rouge, pire appréciation que dans leur logement / Case en vert, meilleure appréciation que dans leur logement / Case en blanc, même appréciation que dans leur logement. 1= très désagréable ; 2 = assez désagréable ; 3 = un peu désagréable ; 4= un peu agréable ; 5 = assez agréable ; 6 = très agréable.

École Baulon - Parents															
	Logement					École					Classe				
Id Q	Amb. Log. Archi	Amb. Log. Ame.	Amb. Log. Lum	Amb. Log. Temp.	Amb. Log. Acous.	Amb. école Archi.	Amb. école Ame.	Amb. école Lum.	Amb. école Temp.	Amb. école Acous.	Amb. classe Archi.	Amb. classe Ame.	Amb. classe Lum.	Amb. classe Temp.	Amb. classe Acous.
1	6	5	6	6	6	5	5	99	99	99	96	96	96	96	96
2	6	5	6	4	4	6	5	5	97	97	5	6	6	6	3
3	5	5	5	5	6	6	6	96	96	96	96	96	96	96	96
4	2	5	5	5	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	6	99	99
6	5	6	6	5	5	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4
7	5	5	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6
8	6	5	5	3	5	5	5	5	5	4	6	4	6	6	4
9	6	5	5	6	6	5	6	5	5	4	5	5	6	97	97
10	6	6	6	6	6	3	5	6	6	2	3	5	6	6	2
11	6	6	5	5	6	5	6	6	5	3	6	6	5	5	3
12	6	6	6	5	5	6	5	5	5	5	6	5	5	5	5
13	6	6	6	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
14	5	5	6	6	2	5	5	4	4	3	5	5	4	4	3
15	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	99	99	99	99	99
16	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	6	6	5	5	5
17	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
18	6	6	6	5	5	6	6	6	5	6	6	6	6	5	6
19	6	6	6	5	6	5	4	5	4	5	5	4	5	5	5
20	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
21	4	5	6	5	6	3	5	6	4	5	3	5	6	4	5
22	6	6	5	6	6	5	5	6	6	5	5	5	6	6	5
23	5	6	4	5	5	5	4	6	5	6	6	5	6	5	6
24	5	5	5	6	6	3	4	6	6	6	5	5	5	5	5
25	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
TOTAL jugements plus positifs						**4**	**4**	**5**	**4**	**7**	**4**	**4**	**5**	**4**	**7**
% par rapport aux réponses totales						**16.00**	**16.00**	**21.74**	**18.18**	**31.82**	**18.18**	**18.18**	**22.73**	**20.00**	**35.00**
TOTAL même jugement						**10**	**12**	**10**	**12**	**6**	**11**	**10**	**12**	**12**	**4**
% par rapport aux réponses totales						**40.00**	**48.00**	**43.48**	**54.55**	**27.27**	**50.00**	**45.45**	**54.55**	**60.00**	**20.00**
TOTAL jugements plus négatifs						**11**	**9**	**8**	**6**	**9**	**7**	**8**	**5**	**4**	**9**
% par rapport aux réponses totales						**44.00**	**36.00**	**34.78**	**27.27**	**40.91**	**28.00**	**32.00**	**20.00**	**16.00**	**36.00**
TOTAL de non réponses						**0**	**0**	**2**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**5**	**5**
% par rapport aux questionnaires totaux						**0.00**	**0.00**	**8.00**	**12.00**	**12.00**	**12.00**	**12.00**	**12.00**	**20.00**	**20.00**

Tableau 78 Réponses des parents de l'école de Baulon sur l'ambiance de leur logement, l'école et la classe (du point de vue de leur ressenti).

Légende : Case en rouge, pire appréciation que dans leur logement / Case en vert, meilleure appréciation que dans leur logement / Case en blanc, même appréciation que dans leur logement. 1= très désagréable ; 2 = assez désagréable ; 3 = un peu désagréable ; 4= un peu agréable ; 5 = assez agréable ; 6 = très agréable.

7.1.4 Retours des élèves de Baulon

École de Baulon - Parents	
*Quels mots utilise couramment votre enfant pour exprimer sa perception (du point de vue de son ressenti) de **l'école ?***	*Quels mots utilise couramment votre enfant pour exprimer sa perception (du point de vue de son ressenti) de **sa classe ?***
Agréable	Bien
C'est bien les murs en terre	Très agréable - elle entend la classe d'à côté - lien avec l'extérieur végétalisé.
99	99
99	99
Bien	Bien
99	99
Agréable - espace	nature
elle est jolie et bien	99
C'est bien, mieux qu'avant, j'aime bien la cour, la bibliothèque, la selle de jeux. Il fait assez chaud, c'est bien.	Je me sens bien parce qu'il fait chaud. Jaime bien la terre sur les murs parce que ça ne résonne pas (moins qu'avant l'autre école).
C'est moderne	C'est classe moderne
99	99
grande , bien	bien
belle	Belle - "classe" avec les murs en terre. J'aime bien le grand préau
"on ne mange pas bien à la cantine" "il fait toujours bon dans notre classe car c'est une école écologique"	"on ne mange pas bien à la cantine" "il fait toujours bon dans notre classe car c'est une école écologique"
99	99
Elle est très bien, le préau c'est super. Elle est belle. C'est écolo.	elle est belle - haute et belle
99	99
c'était chouette	en général ils s'y sentent bien
bien jolie, ressemble à une ferme, place pour courir	jolie, grande, il fait bon ni trop chaud ni trop froid
cool, géniale	Bien
elle est très bien comme elle est	je suis bien à l'intérieur
Il est bien et à la chance d'avoir pu apprendre dans la nouvelle école	Il est bien dans sa nouvelle école
Agréable	agréable
qu'elle est grande	qu'elle est cool
bien , jolie, faite en "terre", grande	spacieuse, jolie, agréable

Tableau 79 Réponses des parents de l'école de Baulon sur les mots utilisés couramment leurs enfants pour exprimer sa perception (du point de vue de son ressenti) de l'école et la classe. 99= pas de réponse.

7.2 Les travailleurs de l'école

7.2.1 Le travail développé et son environnement

École Bouvron		Travailleurs (travail à l'école)					Total
		PE	ATSEM	SCU	ENTRETIEN	AESH	
Le travail développé a besoin d'un haut niveau de concentration	Pas du tout d'accord (1)	0	0	0	0	1	1
		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	5,6%
	Plutôt pas d'accord (2)	0	1	0	0	0	1
		0,0%	25,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,6%
	Plutôt d'accord (3)	5	2	2	0	2	11
		55,6%	50,0%	100,0%	0,0%	66,7%	61,1%
	Tout-à-fait d'accord (4)	4	1	0	0	0	5
			25,0%	0,0%	0,0%	0,0%	27,8%
Total – Travailleurs (travail à l'école)		9	4	2	0	3	18
		100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	100,0%	100,0%

École Bouvron		Travailleurs (travail à l'école)					Total
		PE	ATSEM	SCU	ENTRETIEN	AESH	
Le travail développé exige des tâches mentales ou manuelles très complexes	Pas du tout d'accord (1)	0	1	0	0	1	2
		0,0%	25,0%	0,0%	0,0%	33,3%	11,1%
	Plutôt pas d'accord (2)	0	1	2	0	1	4
		0,0%	25,0%	100,0%	0,0%	33,3%	22,2%
	Plutôt d'accord (3)	6	1	0	0	1	8
		66,7%	25,0%	0,0%	0,0%	33,3%	44,4%
	Tout-à-fait d'accord (4)	3	1	0	0	0	4
		33,3%	25,0%	0,0%	0,0%	0,0%	22,2%
Total – Travailleurs (travail à l'école)		9	4	2	0	0	18
		100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	100,0%

École Bouvron		Travailleurs (travail à l'école)					Total
		PE	ATSEM	SCU	ENTRETIEN	AESH	
Le déroulement habituel de la tâche exige du silence	Pas du tout d'accord (1)	0	1	0	0	0	1
		0,0%	25,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,6%
	Plutôt pas d'accord (2)	0	1	0	0	2	3
		0,0%	25,0%	0,0%	0,0%	66,7%	16,7%
	Plutôt d'accord (3)	8	1	2	0	1	12
		88,9%	25,0%	100,0%	0,0%	33,3%	66,7%
	Tout-à-fait d'accord (4)	1	1	0	0	0	2
		11,1%	25,0%	0,0%	0,0%	0,0%	11,1%
Total – Travailleurs (travail à l'école)		9	4	2	0	3	18
		100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	100,0%	100,0%

Tableau 80 Convergence entre les réponses des travailleurs de Bouvron à la question : Par rapport aux tâches développées dans votre travail, êtes-vous d'accord avec les affirmations suivantes ? et leurs poste de travail dans l'école.

École Baulon		Travailleurs (travail à l'école)					Total
		PE	ATSEM	SCU	ENTRETIEN	AESH	
Le travail développé a besoin d'un haut niveau de concentration	Pas du tout d'accord (1)	0	0	0	0	0	0
		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Plutôt pas d'accord (2)	0	0	0	0	0	0
		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Plutôt d'accord (3)	**3**	0	0	0	0	**3**
		100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	**100,0%**
	Tout-à-fait d'accord (4)	0	0	0	0	0	0
		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Total – Travailleurs (travail à l'école)		**3**	0	0	0	0	**3**
		100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	**100,0%**

École Baulon		Travailleurs (travail à l'école)					Total
		PE	ATSEM	SCU	ENTRETIEN	AESH	
Le travail développé exige des tâches mentales ou manuelles très complexes	Pas du tout d'accord (1)	0	0	0	0	0	0
		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Plutôt pas d'accord (2)	0	0	0	0	0	0
		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Plutôt d'accord (3)	**3**	0	0	0	0	**3**
		100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	**100,0%**
	Tout-à-fait d'accord (4)	0	0	0	0	0	0
		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Total – Travailleurs (travail à l'école)		**3**	0	0	0	0	**3**
		100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	**100,0%**

École Baulon		Travailleurs (travail à l'école)					Total
		PE	ATSEM	SCU	ENTRETIEN	AESH	
Le déroulement habituel de la tâche exige du silence	Pas du tout d'accord (1)	0	0	0	0	0	0
		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Plutôt pas d'accord (2)	0	0	0	0	0	0
		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Plutôt d'accord (3)	**2**	0	0	0	0	**2**
		66,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	**66,7%**
	Tout-à-fait d'accord (4)	**1**	0	0	0	0	**1**
		33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	**33,3%**
Total – Travailleurs (travail à l'école)		**3**	0	0	0	0	**3**
		100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	**100,0%**

Tableau 81 Convergence entre les réponses des travailleurs de Baulon à la question : Par rapport aux tâches développées dans votre travail, êtes-vous d'accord avec les affirmations suivantes ? et leurs poste de travail dans l'école.

École Fégréac		Travailleurs (travail à l'école)					Total
		PE	ATSEM	SCU	ENTRETIEN	AESH	
Le travail développé a besoin d'un haut niveau de concentration	Pas du tout d'accord (1)	0	0	0	0	0	0
		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Plutôt pas d'accord (2)	1	0	0	0	0	1
		20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%
	Plutôt d'accord (3)	2	0	0	0	0	2
		40,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	40,0%
	Tout-à-fait d'accord (4)	2	0	0	0	0	2
		40,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	40,0%
Total – Travailleurs (travail à l'école)		5	0	0	0	0	5
		100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

École Fégréac		Travailleurs (travail à l'école)					Total
		PE	ATSEM	SCU	ENTRETIEN	AESH	
Le travail développé exige des tâches mentales ou manuelles très complexes	Pas du tout d'accord (1)	1	0	0	0	0	1
		20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%
	Plutôt pas d'accord (2)	0	0	0	0	0	0
		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Plutôt d'accord (3)	3	0	0	0	0	3
		60,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	60,0%
	Tout-à-fait d'accord (4)	1	0	0	0	0	1
		20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%
Total – Travailleurs (travail à l'école)		5	0	0	0	0	5
		100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

École Fégréac		Travailleurs (travail à l'école)					Total
		PE	ATSEM	SCU	ENTRETIEN	AESH	
Le déroulement habituel de la tâche exige du silence	Pas du tout d'accord (1)	1	0	0	0	0	1
		20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%
	Plutôt pas d'accord (2)	1	0	0	0	0	1
		20,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%
	Plutôt d'accord (3)	3	0	0	0	0	3
		60,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	60,0%
	Tout-à-fait d'accord (4)	0	0	0	0	0	0
		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Total – Travailleurs (travail à l'école)		5	0	0	0	0	5
		100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

Tableau 82 Convergence entre les réponses des travailleurs de Fégréac à la question : Par rapport aux tâches développées dans votre travail, êtes-vous d'accord avec les affirmations suivantes ? et leurs poste de travail dans l'école.

École Mouais		Travailleurs (travail à l'école)					Total
		PE	ATSEM	SCU	ENTRETIEN	AESH	
Le travail développé a besoin d'un haut niveau de concentration	Pas du tout d'accord (1)	0	0	0	0	0	0
		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Plutôt pas d'accord (2)	0	0	0	0	0	0
		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Plutôt d'accord (3)	**2**	**1**	0	**1**	0	**4**
		66,7%	**100,0%**	0,0%	**100,0%**	0,0%	**80,0%**
	Tout-à-fait d'accord (4)	**1**	**0**	0	**0**	0	**1**
		33,3%	**0,0%**	0,0%	**0,0%**	0,0%	**20,0%**
Total – Travailleurs (travail à l'école)		**3**	**1**	0	**1**	0	**5**
		100,0%	**100,0%**	0,0%	**100,0%**	0,0%	**100,0%**

École Mouais		Travailleurs (travail à l'école)					Total
		PE	ATSEM	SCU	ENTRETIEN	AESH	
Le travail développé exige des tâches mentales ou manuelles très complexes	Pas du tout d'accord (1)	0	0	0	0	0	0
		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Plutôt pas d'accord (2)	**1**	**1**	0	0	0	**2**
		33,3%	**100,0%**	0,0%	0,0%	0,0%	**40,0%**
	Plutôt d'accord (3)	**1**	0	0	**1**	0	**2**
		33,3%	0,0%	0,0%	**100,0%**	0,0%	**40,0%**
	Tout-à-fait d'accord (4)	**1**	0	0	v	0	**1**
		33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	**20,0%**
Total – Travailleurs (travail à l'école)		**3**	**1**	0	**1**	0	**5**
		100,0%	**100,0%**	0,0%	**100,0%**	0,0%	**100,0%**

École Mouais		Travailleurs (travail à l'école)					Total
		PE	ATSEM	SCU	ENTRETIEN	AESH	
Le déroulement habituel de la tâche exige du silence	Pas du tout d'accord (1)	0	**1**	0	0	0	**1**
		0,0%	**100,0%**	0,0%	0,0%	0,0%	**20,0%**
	Plutôt pas d'accord (2)	0	0	0	**1**	0	**1**
		0,0%	0,0%	0,0%	**100,0%**	0,0%	**20,0%**
	Plutôt d'accord (3)	**2**	0	0	0	0	**2**
		66,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	**40,0%**
	Tout-à-fait d'accord (4)	**1**	0	0	0	0	**1**
		33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	**20,0%**
Total – Travailleurs (travail à l'école)		**3**	**1**	0	**1**	0	**5**
		100,0%	**100,0%**	0,0%	**100,0%**	0,0%	**100,0%**

Tableau 83 Convergence entre les réponses des travailleurs de Mouais à la question : Par rapport aux tâches développées dans votre travail, êtes-vous d'accord avec les affirmations suivantes ? et leurs poste de travail dans l'école.

Quel est le besoin le plus important pour le bon déroulement de vos tâches ?	
Id.T01	Des supports visuels
Id.T02	La volonté commune et partagée de travailler
Id.T03	Environnement acoustique
Id.T04	Un bon aménagement de la classe.
Id.T05	99
Id.T06	Aménagement spatial, espace large.
Id.T07	L'environnement sonore.
Id.T08	99
Id.T09	99
Id.T10	L'espace calme
Id.T11	99
Id.T12	99
Id.T13	Une bonne luminosité
Id.T14	Coordination avec les enseignants
Id.T15	99
Id.T16	La concentration est importante
Id.T17	99
Id.T18	Que les élèves puissent se mettre au travail dans un environnement serein et calme
Id.T19	L'aménagement spatial et l'ambiance sonore.
Id.T20	Écoute attentive à des moments précis
Id.T21	Le calme, le silence
Id.T22	Un espace général assez vaste afin de délimiter des zones de travail ou de jeux
Id.T23	Acoustique
Id.T24	Avoir de l'espace
Id.T25	L'organisation de l'espace
Id.T26	Environnement sonore & lumineux
Id.T27	
Id.T28	Aménagement
Id.T29	Du matériel et une classe adaptés pour enseigner
Id.T30	Avoir un climat de classe serein.
Id.T31	Environnement calme et luminosité naturelle

Tableau 84 Retours des travailleurs des écoles à la question : Quel est le besoin le plus important pour le bon déroulement de vos tâches ?

7.2.2 Caractéristiques des logements

Caractéristiques sur la situation et la matérialité des logements des travailleurs de l'école (Bouvron, Baulon, Frégréac et Mouais) :

Votre logement est situé :		Fréquence	Pourcentage
Bouvron	dans le bourg de ville /village	12	66,7
	en périphérie ville /village	3	16,7
	en campagne	2	11,1
	autre	1	5,6
	Total	18	100,0
Baulon	dans le bourg de ville /village	2	66,7
	en périphérie ville /village	1	33,3
	Total	3	100,0
Fégréac	dans le bourg de ville /village	3	60,0
	en périphérie ville /village	1	20,0
	en campagne	1	20,0
	Total	5	100,0
Mouais	dans le bourg de ville /village	2	40,0
	en campagne	3	60,0
	Total	5	100,0

Tableau 85 Question 3.1 Votre logement est situé – Réponses des travailleurs.

Votre logement est situé :		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage des réponses
Bouvron	des maisons individuelles	18	34,0%	100,0%
	des commerces	3	5,7%	16,7%
	des rues	8	15,1%	44,4%
	des espaces verts	3	5,7%	16,7%
	des voies ferrées	1	1,9%	5,6%
	des routes	9	17,0%	50,0%
	des champs	7	13,2%	38,9%
	la forêt	1	1,9%	5,6%
	autres	3	5,7%	16,7%
	Total	53	100,0%	294,4%
Baulon	des maisons individuelles	3	30,0%	100,0%
	des rues	1	10,0%	33,3%
	des espaces verts	1	10,0%	33,3%
	des routes	1	10,0%	33,3%
	des champs	2	20,0%	66,7%
	autres	2	20,0%	66,7%
	Total	10	100,0%	333,3%
Fégréac	des maisons individuelles	4	36,4%	80,0%
	des commerces	1	9,1%	20,0%
	des rues	1	9,1%	20,0%
	des routes	2	18,2%	40,0%
	des champs	3	27,3%	60,0%
	Total	11	100,0%	220,0%

Mouais	des maisons individuelles	4	30,8%	80,0%
	des rues	2	15,4%	40,0%
	des espaces verts	1	7,7%	20,0%
	des routes	3	23,1%	60,0%
	des champs	3	23,1%	60,0%
	Total	13	100,0%	260,0%

Tableau 86 Question 3.2 Autour de votre logement il y a – Réponses des travailleurs.

Votre logement est situé :		Fréquence	Pourcentage
Bouvron	maison individuelle avec murs mitoyens	5	27,8
	habitat collectif de moins de 6 logements	3	16,7
	maison individuelle isolée	10	55,6
	Total	18	100,0
Baulon	maison individuelle isolée	3	100,0
	Total	3	100,0
Fégréac	habitat collectif de plus de 6 logements	1	20,0
	maison individuelle isolée	4	80,0
	Total	5	100,0
	maison individuelle avec murs mitoyens	3	60,0
Mouais	maison individuelle isolée	2	40,0
	Total	5	100,0
	Total	5	100,0

Tableau 87 Question 3.4 Votre logement est (type d'habitat) : – Réponses des travailleurs.

Votre logement est situé :		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage des réponses
Bouvron	pierre	6	28,6%	33,3%
	parpaing	9	42,9%	50,0%
	béton armé	1	4,8%	5,6%
	brique cuite	2	9,5%	11,1%
	structure bois plus isolation	1	4,8%	5,6%
	je ne sais pas	2	9,5%	11,1%
	Total	53	100,0%	294,4%
Baulon	pierre	1	20,0%	33,3%
	parpaing	1	20,0%	33,3%
	brique cuite	1	20,0%	33,3%
	terre crue	1	20,0%	33,3%
	autre	1	20,0%	33,3%
	Total	5	100,0%	166,7%
Fégréac	pierre	1	16,7%	20,0%
	parpaing	3	50,0%	60,0%
	structure bois plus isolation	1	16,7%	20,0%
	je ne sais pas	1	16,7%	20,0%
	Total	6	100,0%	120,0%

Mouais	pierre	2	40,0%	40,0%
	parpaing	2	40,0%	40,0%
	je ne sais pas	1	20,0%	20,0%
	Total	5	100,0%	100,0%

Tableau 88 Question 3.9 Connaissez-vous les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement ? Réponses des travailleurs.*

Votre logement est situé :		Fréquence	Pourcentage	Pourcentage des réponses
Bouvron	peinture	17	32,1%	94,4%
	carrelage	14	26,4%	77,8%
	lambris bois	2	3,8%	11,1%
	moquette	1	1,9%	5,6%
	enduit chaux	1	1,9%	5,6%
	parquet	11	20,8%	61,1%
	lino	5	9,4%	27,8%
	je ne sais pas	1	1,9%	5,6%
	autre	1	1,9%	5,6%
	Total	53	100,0%	294,4%
Baulon	peinture	3	33,3%	100,0%
	carrelage	3	33,3%	100,0%
	maçonnerie apparente	1	11,1%	33,3%
	enduit chaux	1	11,1%	33,3%
	parquet	1	11,1%	33,3%
	Total	9	100,0%	300,0%
Fégréac	peinture	5	25,0%	100,0%
	carrelage	5	25,0%	100,0%
	lambris bois	1	5,0%	20,0%
	moquette	1	5,0%	20,0%
	enduit plâtre	2	10,0%	40,0%
	parquet	4	20,0%	80,0%
	lino	2	10,0%	40,0%
	Total	20	100,0%	400,0%
Mouais	peinture	5	33,3%	100,0%
	carrelage	5	33,3%	100,0%
	maçonnerie apparente	1	6,7%	20,0%
	parquet	4	26,7%	80,0%
	Total	15	100,0%	300,0%

Tableau 89 Question 3.10 Les finitions intérieures des murs et sols de votre logement sont principalement : Réponses des travailleurs.*

7.2.3 L'ambiance sonore au logement et les caractéristiques de celui-ci.

Ambiance de votre logement Sonore - Acoustique			Votre logement est (type d'habitat)				Total
			maison individuelle avec murs mitoyens	habitat collectif de moins de 6 logements	habitat collectif de plus de 6 logements	maison individuelle isolée	
École Bouvron	Ambiance de votre logement Sonore - Acoustique	très désagréable (1)	0	0		**2**	**2**
			0,0%	0,0%		**20,0%**	**11,1%**
		assez désagréable (2)	1	**0**		0	**1**
			20,0%	**0,0%**		0,0%	**5,6%**
		un peu désagréable (3)	**0**	**1**		**0**	**1**
			0,0%	**33,3%**		**0,0%**	**5,6%**
		un peu agréable (4)	**0**	**1**		2	**3**
			0,0%	**33,3%**		20,0%	**16,7%**
		assez agréable (5)	**1**	**1**		4	**6**
			20,0%	**33,3%**		40,0%	**33,3%**
		très agréable (6)	**3**	**0**		2	**5**
			60,0%	**0,0%**		20,0%	**27,8%**
	Total – Votre logement est (type d'habitat)		**5**	**3**		**10**	**18**
			100,0%	**100,0%**		**100,0%**	**100,0%**
École Bouvron		assez désagréable (2)				3	3
						100,0%	100,0%
	Total – Votre logement est (type d'habitat)					**3**	**3**
						100,0%	**100,0%**
École Fégréac	Amb. Acoustique	un peu désagréable (3)			1	1	2
					100,0%	25,0%	40,0%
		assez désagréable (2)			0	2	2
					0,0%	50,0%	40,0%
		très agréable (6)			0	1	1
					0,0%	25,0%	20,0%
	Total – Votre logement est (type d'habitat)				**1**	**4**	**5**
					100,0%	**100,0%**	**100,0%**
École Mouais	Amb. Acoustique	un peu désagréable (3)	1			1	2
			33,3%			50,0%	40,0%
		assez désagréable (2)	2			1	3
			66,7%			50,0%	60,0%
	Total – Votre logement est (type d'habitat)		**3**			**2**	**5**
			100,0%			**100,0%**	**100,0%**

Tableau 90 Convergence entre les réponses des travailleurs entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et votre logement est (type d'habitat).

Ambiance de votre logement Sonore - Acoustique			Votre logement est (type d'habitat)								Total
			pierre	parpaing	béton armé	brique cuite	structure bois	terre crue	je ne sais pas	autre	
École Bouvron	Ambiance de votre logement Sonore - Acoustique	très désagréable (1)	1	0	0	0	0		1		2
			16,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		50,0%		
		assez désagréable (2)	1	0	0	1	0		0		1
			16,7%	0,0%	0,0%	50,0%	0,0%		0,0%		
		un peu désagréable (3)	0	0	0	0	0		1		1
			0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		50,0%		
		un peu agréable (4)	1	1	1	0	0		0		3
			16,7%	11,1%	100,0%	0,0%	0,0%		0,0%		
		assez agréable (5)	1	5	0	1	0		0		6
			16,7%	55,6%	0,0%	50,0%	0,0%		0,0%		
		très agréable (6)	2	3	0	0	1		0		5
			33,3%	33,3%	0,0%	0,0%	100,0%		0,0%		
	Total – Votre logement est (type d'habitat)		6	9	1	2	1		2		18
École Bouvron		assez désagréable (2)	1	1		1		1		1	3
			100,0%	100,0%		100,0%		100,0%		100,0%	
	Total – Votre logement est (type d'habitat)		1	1		1		1		1	3
École Fégréac	Amb. Acoustique	un peu désagréable (3)	0	1			0		1		2
			0,0%	33,3%			0,0%		100,0%		
		assez désagréable (2)	0	1			1		0		2
			0,0%	33,3%			100,0%		0,0%		
		très agréable (6)	1	1			0		0		1
			100,0%	33,3%			0,0%		0,0%		
	Total – Votre logement est (type d'habitat)		1	3			1		1		5
École Mouais	Amb. Acoustique	un peu désagréable (3)	1	1					0		2
			50,0%	50,0%					0,0%		
		assez désagréable (2)	1	1					1		3
			50,0%	50,0%					100,0%		
	Total – Votre logement est (type d'habitat)		2	2					1		5

Tableau 91 Convergence entre les réponses des travailleurs entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement..

Ambiance de votre logement Sonore - Acoustique			Votre logement est (type d'habitat)											Total
			peinture	carrelage	lambris bois	maçonnerie apparente	moquette	enduit chaux	enduit plâtre	parquet	lino	je ne sais pas	autre	
École Bouvron	Ambiance de votre logement Sonore - Acoustique	très désagréable (1)	2	2	0		1	0		**0**	**1**	**0**	**0**	**2**
			11,8%	14,3%	0,0%		100,0%	0,0%		**0,0%**	**20,0%**	**0,0%**	**0,0%**	
		assez désagréable (2)	1	0	0		0	**0**		1	1	0	0	**1**
			5,9%	0,0%	0,0%		0,0%	**0,0%**		9,1%	20,0%	0,0%	0,0%	
		un peu désagréable (3)	**0**	**0**	**0**		**0**	**0**		**0**	**0**	**1**	**0**	**1**
			0,0%	**0,0%**	**0,0%**		**0,0%**	**0,0%**		**0,0%**	**0,0%**	**100,0%**	**0,0%**	
		un peu agréable (4)	**3**	**2**	**0**		**0**	**0**		3	1	0	0	**3**
			17,6%	**14,3%**	**0,0%**		**0,0%**	**0,0%**		27,3%	20,0%	0,0%	0,0%	
		assez agréable (5)	**6**	**5**	**1**		**0**	**0**		3	1	0	1	**6**
			35,3%	**35,7%**	**50,0%**		**0,0%**	**0,0%**		27,3%	20,0%	0,0%	100,0%	
		très agréable (6)	**5**	**5**	**1**		**0**	**1**		4	1	0	0	**5**
			29,4%	**35,7%**	**50,0%**		**0,0%**	**100,0%**		36,4%	20,0%	0,0%	0,0%	
	Total – Votre logement est (type d'habitat)		**17**	**14**	**2**		**1**	**1**		**11**	**5**	**1**	**1**	**18**
École Bouvron		assez désagréable (2)	3	3		1		1		1				**3**
			100,0%	100,0%		100,0%		100,0%		100,0%				
	Total – Votre logement est (type d'habitat)		**3**	**3**		**1**		**1**		**1**				**3**
École Fégréac	Amb. Acoustique	un peu désagréable (3)	2	2	0		0		1	2	2			**2**
			40,0%	40,0%	0,0%		0,0%		50,0%	50,0%	100,0%			
		assez désagréable (2)	2	2	0		1		0	1	0			**2**
			40,0%	40,0%	0,0%		100,0%		0,0%	25,0%	0,0%			
		très agréable (6)	1	1	1		0		1	1	0			**1**
			20,0%	20,0%	100,0%		0,0%		50,0%	25,0%	0,0%			
	Total – Votre logement est (type d'habitat)		**5**	**5**	**1**		**1**		**2**	**4**	**2**			**5**
École Mouais	Amb Acoustique	un peu désagréable (3)	2	2		0				2				2
			40,0%	40,0%		0,0%				50,0%				
		assez désagréable (2)	3	3		1				2				3
			60,0%	60,0%		100,0%				50,0%				
	Total – Votre logement est (type d'habitat)		**5**	**5**		**1**				**4**				**5**

Tableau 92 Convergence entre les réponses des travailleurs entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et les finitions utilisées de votre logement.

École Bouvron - Travailleurs																								
	Logement								École								Classe							
Ref.	Vis.	Dist.	Tail.	Lum.	Écla.	Tem.	Hum.	Acou.	Vis.	Dist.	Tail.	Lum.	Écla.	Tem.	Hum.	Acou.	Vis.	Dist.	Tail.	Lum.	Écla.	Tem.	Hum.	Acou.
1	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6
2	4	5	5	6	6	6	6	5	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	5	5	6	6	6
3	4	4	5	3	4	4	4	2	5	5	6	5	5	5	5	5	98	98	98	98	98	98	98	98
4	6	6	6	6	6	5	5	6	5	4	5	5	5	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5	4
5	6	5	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	6	5	6	6	6	5	6	6	6	4	6	6
6	6	6	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	6	5	6	5	6	6	5	6	5	5
7	6	5	5	6	6	5	5	5	5	6	6	6	5	5	6	6	5	6	6	6	5	5	6	6
8	5	5	5	5	5	4	4	4	6	6	6	5	5	6	6	6	5	6	6	5	5	6	6	5
9	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	5	5	6	6	6
10	5	5	5	4	4	4	4	4	5	5	6	4	5	6	6	5	5	6	6	5	5	6	6	5
11	6	6	6	6	4	5	5	5	5	6	6	5	4	5	5	6	5	5	6	5	4	5	5	6
12	5	5	5	2	3	5	6	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5
13	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3
14	6	5	5	4	5	5	3	6	6	5	6	6	6	5	4	6	5	5	5	6	6	6	6	6
15	4	2	2	5	5	3	4	1	5	5	6	5	6	4	5	5	98	98	98	98	98	98	98	98
16	5	4	4	5	5	5	3	4	5	5	6	5	5	5	5	5	98	98	98	98	98	98	98	98
17	1	1	2	3	2	2	2	1	99	6	6	6	6	5	99	6	6	6	6	6	6	5	5	6
18	6	5	5	4	5	5	6	6	5	6	6	6	5	5	4	5	5	6	6	5	5	4	5	5
TOTAL jugements plus positifs									**4**	**11**	**12**	**5**	**6**	**6**	**8**	**8**	**2**	**8**	**9**	**6**	**4**	**5**	**5**	**7**
% par rapport aux réponses totales									**23.53**	**61.11**	**66.67**	**27.78**	**33.33**	**33.33**	**47.06**	**44.44**	**13.33**	**53.33**	**60.00**	**40.00**	**26.67**	**33.33**	**33.33**	**46.67**
TOTAL même jugement									**8**	**5**	**5**	**7**	**8**	**11**	**6**	**7**	**8**	**4**	**5**	**3**	**7**	**8**	**8**	**6**
% par rapport aux réponses totales									**47.06**	**27.78**	**27.78**	**38.89**	**44.44**	**61.11**	**35.29**	**38.89**	**53.33**	**26.67**	**33.33**	**20.00**	**46.67**	**53.33**	**53.33**	**40.00**
TOTAL jugements plus négatifs									**5**	**2**	**1**	**6**	**4**	**1**	**3**	**3**	**5**	**3**	**1**	**6**	**4**	**2**	**2**	**2**
% par rapport aux réponses totales									**29.41**	**11.11**	**5.56**	**33.33**	**22.22**	**5.56**	**17.65**	**16.67**	**33.33**	**20.00**	**6.67**	**40.00**	**26.67**	**13.33**	**13.33**	**13.33**
TOTAL de non réponses									**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**0**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**	**3**
% par rapport aux questionnaires totaux									**5.56**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**5.56**	**0.00**	**16.67**	**16.67**	**16.67**	**16.67**	**16.67**	**16.67**	**16.67**	**16.67**

Tableau 93 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron sur l'ambiance de leur logement, l'école et la classe (du point de vue de leur ressenti). Légende : Case en rouge, pire appréciation que dans leur logement / Case en vert, meilleure appréciation que dans leur logement / Case en blanc, même appréciation que dans leur logement. 1= très désagréable ; 2 = assez désagréable ; 3 = un peu désagréable ; 4= un peu agréable ; 5 = assez agréable ; 6 = très agréable.

École Baulon - Travailleurs																							
Ref.	Vis.	Dist.	Tail.	Lum.	Écla.	Tem.	Hum.	Acou.	Vis.	Dist.	Tail.	Lum.	Écla.	Tem.	Hum.	Acou.	Vis.	Dist.	Tail.	Lum.	Écla.	Tem.	Hum.	Acou.
19	6	6	6	5	5	5	6	5	5	4	4	5	5	5	6	2	5	3	3	4	5	5	5	2
20	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	4
21	6	5	5	6	6	6	5	5	5	4	3	4	3	5	4	5	6	5	3	6	3	6	4	5
TOTAL jugements plus positifs									0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
% par rapport aux réponses totales									0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.33	0.00	0.00
TOTAL même jugement									0	1	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1
% par rapport aux réponses totales									0.00	33.33	33.33	66.67	33.33	33.33	66.67	33.33	66.67	66.67	33.33	66.67	33.33	66.67	33.33	33.33
TOTAL jugements plus négatifs									3	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	0	2	2
% par rapport aux réponses totales									100.00	66.67	66.67	33.33	66.67	33.33	33.33	66.67	33.33	33.33	66.67	33.33	66.67	0.00	66.67	66.67

Tableau 94 Réponses des travailleurs de l'école de Baulon sur l'ambiance de leur logement, l'école et la classe (du point de vue de leur ressenti).

Légende : Case en rouge, pire appréciation que dans leur logement / Case en vert, meilleure appréciation que dans leur logement / Case en blanc, même appréciation que dans leur logement. 1= très désagréable ; 2 = assez désagréable ; 3 = un peu désagréable ; 4= un peu agréable ; 5 = assez agréable ; 6 = très agréable.

École Fégréac - Travailleurs																							
Ref.	Vis.	Dist.	Tail.	Lum.	Écla.	Tem.	Hum.	Acou.	Vis.	Dist.	Tail.	Lum.	Écla.	Tem.	Hum.	Acou.	Vis.	Dist.	Tail.	Lum.	Écla.	Tem.	Hum.	Acou.
22	6	6	6	6	6	5	6	5	6	5	6	6	6	6	6	5	6	5	6	6	6	6	6	5
23	5	5	6	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6
24	5	6	6	6	6	5	5	3	5	5	5	6	5	5	5	5	4	4	6	6	6	6	6	6
25	5	5	3	4	4	4	4	3	6	5	5	6	6	5	5	5	4	6	6	2	3	4	4	3
26	6	6	5	6	6	6	6	5	6	6	6	5	5	6	6	6	5	5	3	5	5	5	5	5
TOTAL jugements plus positifs									1	0	2	1	1	2	1	3	0	1	1	1	1	3	2	1
% par rapport aux réponses totales									20.00	0.00	40.00	20.00	20.00	40.00	20.00	60.00	0.00	20.00	20.00	20.00	20.00	60.00	40.00	20.00
TOTAL même jugement									4	3	1	3	2	3	4	1	2	1	3	2	2	1	2	4
% par rapport aux réponses totales									80.00	60.00	20.00	60.00	40.00	60.00	80.00	20.00	40.00	20.00	60.00	40.00	40.00	20.00	40.00	80.00
TOTAL jugements plus négatifs									0	2	2	1	2	0	0	1	3	3	1	2	2	1	1	0
% par rapport aux réponses totales									0.00	40.00	40.00	20.00	40.00	0.00	0.00	20.00	60.00	60.00	20.00	40.00	40.00	20.00	20.00	0.00

Tableau 95 Réponses des travailleurs de l'école de Fégréac sur l'ambiance de leur logement, l'école et la classe (du point de vue de leur ressenti).

Légende : Case en rouge, pire appréciation que dans leur logement / Case en vert, meilleure appréciation que dans leur logement / Case en blanc, même appréciation que dans leur logement. 1= très désagréable ; 2 = assez désagréable ; 3 = un peu désagréable ; 4= un peu agréable ; 5 = assez agréable ; 6 = très agréable.

École Mouais - Travailleurs																							
Ref.	Vis.	Dist.	Tail.	Lum.	Écla.	Tem.	Hum.	Acou.	Vis.	Dist.	Tail.	Lum.	Écla.	Tem.	Hum.	Acou.	Vis.	Dist.	Tail.	Lum.	Écla.	Tem.	Hum.	Acou.
27	6	5	99	3	99	5	4	3	6	4	5	5	6	6	5	3	6	6	6	6	6	6	1	4
28	5	6	5	5	4	4	4	5	4	5	3	5	4	3	4	4	5	3	5	5	4	3	5	3
29	5	4	4	4	4	5	5	5	5	3	5	6	6	3	5	4	5	5	6	6	6	2	5	4
30	6	6	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	5	5	6	6	6	5	6	5	6	5
31	6	6	6	6	4	4	5	3	6	6	5	6	4	3	5	6	6	6	6	6	5	3	6	2
TOTAL jugements plus positifs									**0**	**0**	**1**	**3**	**2**	**1**	**1**	**1**	**0**	**2**	**1**	**2**	**3**	**1**	**3**	**1**
% par rapport aux réponses totales									**0.00**	**0.00**	**20.00**	**60.00**	**40.00**	**20.00**	**20.00**	**20.00**	**0.00**	**40.00**	**20.00**	**40.00**	**60.00**	**20.00**	**60.00**	**20.00**
TOTAL même jugement									**4**	**2**	**2**	**2**	**3**	**1**	**4**	**2**	**5**	**2**	**4**	**3**	**2**	**1**	**1**	**1**
% par rapport aux réponses totales									**80.00**	**40.00**	**40.00**	**40.00**	**60.00**	**20.00**	**80.00**	**40.00**	**100.00**	**40.00**	**80.00**	**60.00**	**40.00**	**20.00**	**20.00**	**20.00**
TOTAL jugements plus négatifs									**1**	**3**	**2**	**0**	**0**	**3**	**0**	**2**	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**3**	**1**	**3**
% par rapport aux réponses totales									**20.00**	**60.00**	**40.00**	**0.00**	**0.00**	**60.00**	**0.00**	**40.00**	**0.00**	**20.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**60.00**	**20.00**	**60.00**

Tableau 96 Réponses des travailleurs de l'école de Mouais sur l'ambiance de leur logement, l'école et la classe (du point de vue de leur ressenti).

Légende : Case en rouge, pire appréciation que dans leur logement / Case en vert, meilleure appréciation que dans leur logement / Case en blanc, même appréciation que dans leur logement. 1= très désagréable ; 2 = assez désagréable ; 3 = un peu désagréable ; 4= un peu agréable ; 5 = assez agréable ; 6 = très agréable.

Bouvron :

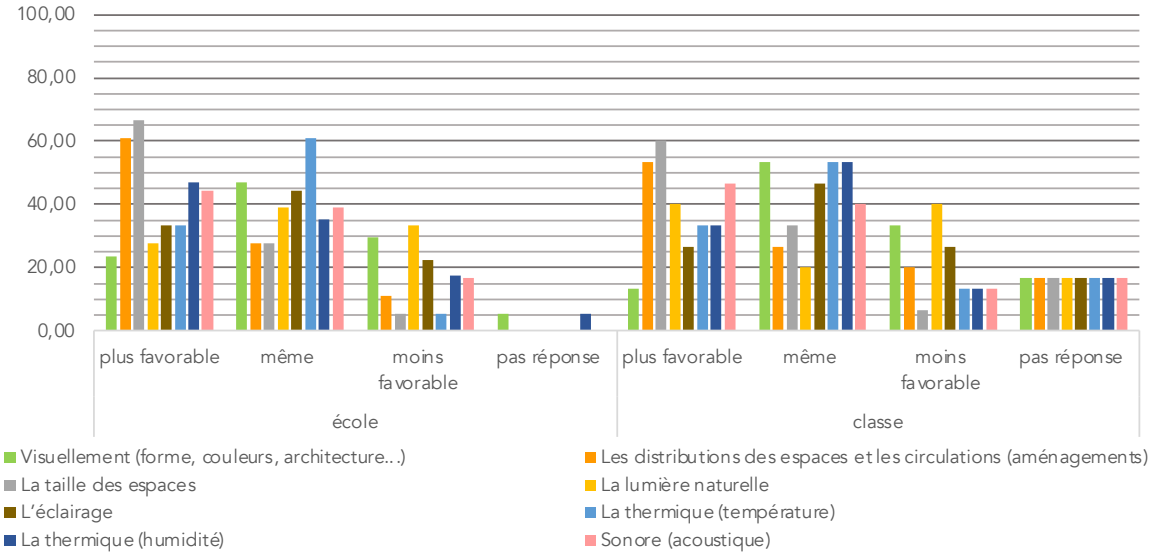


Figure 347 Différences entre les jugements des travailleurs de Bouvron sur l'ambiance ressentie à l'école et dans la classe en comparaison avec le jugement de l'ambiance de leurs logements.

Baulon :

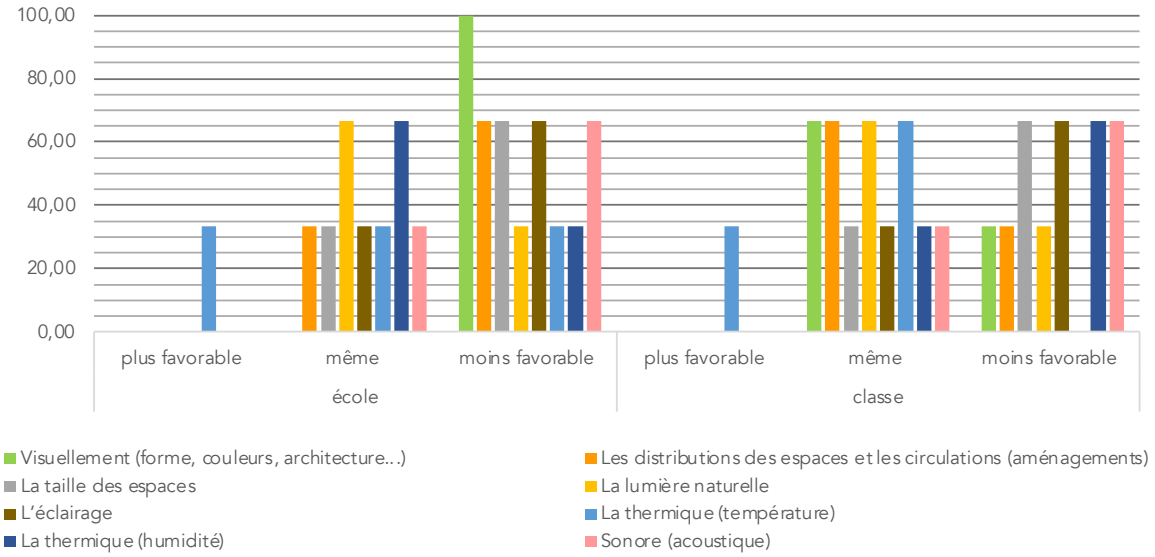


Figure 348 Différences entre les jugements des travailleurs de Baulon sur l'ambiance ressentie à l'école et dans la classe en comparaison avec le jugement de l'ambiance de leurs logements.

Fégréac :

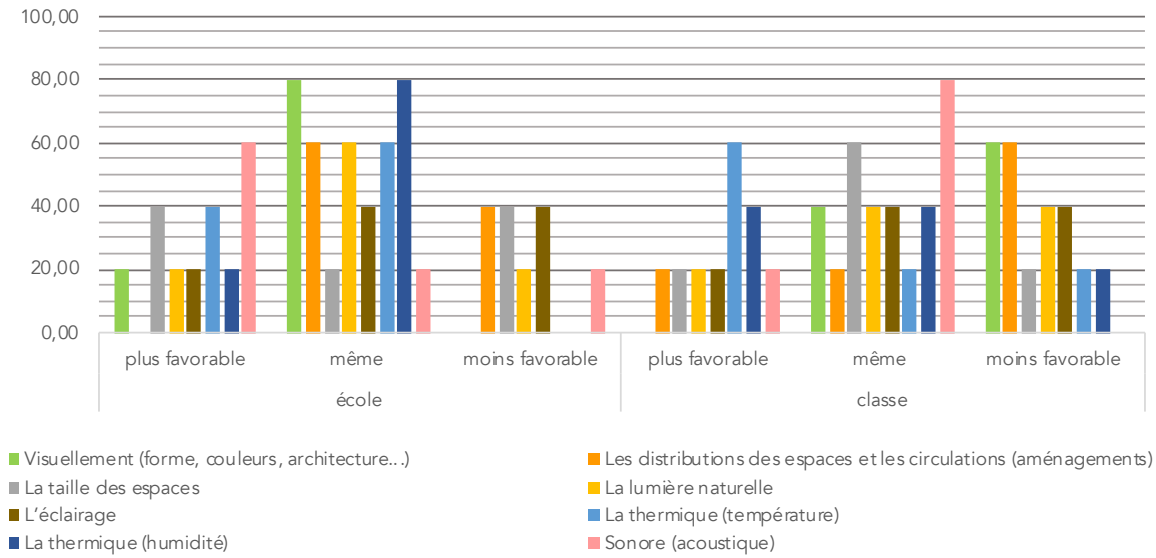


Figure 349 Différences entre les jugements des travailleurs de Fégréac sur l'ambiance ressentie à l'école et dans la classe en comparaison avec le jugement de l'ambiance de leurs logements.

Mouais :

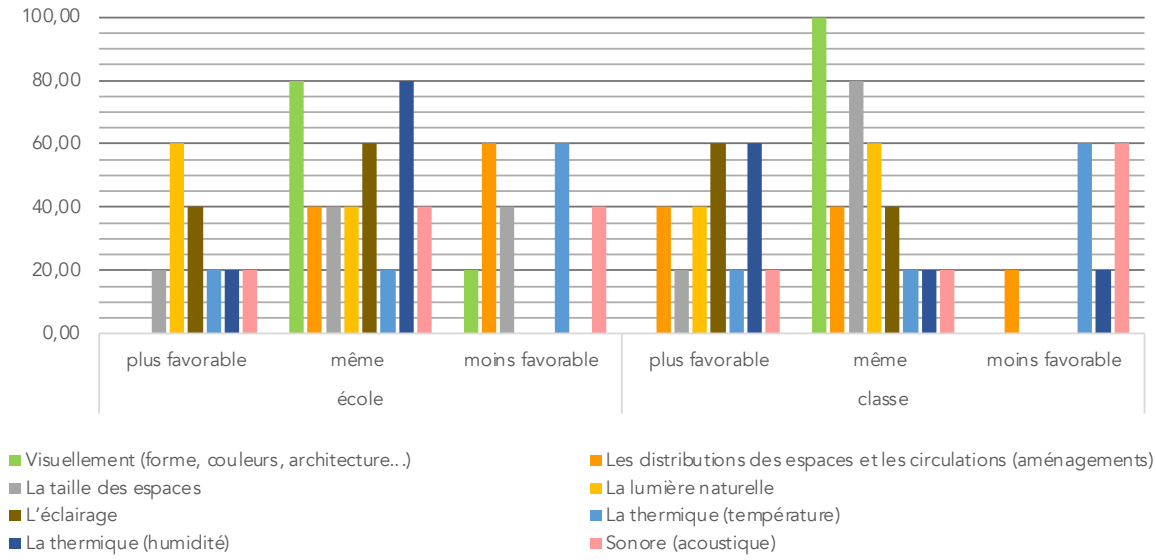


Figure 350 Différences entre les jugements des travailleurs de Mouais sur l'ambiance ressentie à l'école et dans la classe en comparaison avec le jugement de l'ambiance de leurs logements.

7.2.5 Impression générale (du point de vue de votre ressenti)

Bouvron
École très agréable, je ne me sens pas à l'étroit. C'est calme et la vue est agréable.
Il y a de l'espace mais on ne sent pas perdu car il y a des espaces différents, dédies.
Ressenti globalement positif, accentué quand je pense à d'autres écoles. Je m'y sens bien car lumière et espace.
99
C'est une école très agréable où l'on prend plaisir à venir travailler.
Lieu de travail très agréable, bâtiment maternelle "apaisant" par ses couleurs, la terre des murs.
Il fait bon y travailler.
Je me sens à l'aise travailler, avec de la place, avec la liberté du coup d'organiser les lieux pour rendre les différents temps avec les enfants agréables, pour les séparer afin de gagner en calme, en sérénité, pour mieux se concentrer sur les tâches à accomplir.
Très agréable du point de vue des espaces
C'est une belle école, qui du point de vue extérieur semble agréable et fonctionnelle
Lieu de vie agréable
Je trouve que c'est une école bien pensée pour les enfants et adultes et le fait d'avoir des bouts de verdure est très bien.
On se sent à l'aise
Accueillante, moderne, équipe sympathique et professionnelle
C'est une très belle école, très bien aménagée. Beaucoup de lumière, c'est très agréable.
C'est une école récente, grande et lumineuse.
Une très bonne condition de travail.
École agréable avec beaucoup d'espaces différents et grands.
Baulon
Les espaces extérieurs sont agréables. L'intérieur est apaisant quand les élèves ne sont pas présents. Le sol est sonore et salissant. L'éclairage naturel n'est pas suffisant.
Apaisant, agréable
On s'y sent bien. C'est agréable d'avoir des salles disponibles (arts visuels, bibliothèque)
Fégréac
Bien-être- apaisement- facilité- impression d'avoir toujours connu ces bâtiments.
Une école où on se sent bien
Du peu que j'en ai vu, je trouve ce bâtiment accueillant, qui donne envie d'y travailler
L'école maternelle est un espace très agréable (intérieur, extérieur), avec des volumes bien pensés, des classes lumineuses et un projet écologiquement responsable.
Impression de calme, de sérénité et d'harmonie avec la nature.
Mouais
Très agréable pour faire le ménage
Sensation d'espace et fluidité
Il y a beaucoup d'espace et peu d'enfants. L'école est jolie.
Une sensation d'avoir de grands espaces, lumineux (parfois un peu trop). C'est agréable aussi d'avoir une école neuve.
Les espaces sont agréables malgré quelques problèmes dus à la priorité mise sur l'esthétisme.

Tableau 97 Retours des travailleurs à la question : Quelle est votre impression générale de l'école ? Que ressentez-vous ? Tentez de le décrire brièvement (du point de vue de votre ressenti).

7.2.6 Retours sur les qualités sonores

Bouvron - Effet particulier acoustique **école (8.4)**
L'acoustique est très bonne, cela évite d'élever la voix, donc cela diminue le niveau sonore
La circulation dans les couloirs est agréable avec un groupe classe, le bruit ne semblant pas se propager.
Oui, impression de calme dans les couloirs, pas de brouhaha
Non, car je ne fais pas trop attention à ça.
Pas de bruits venant des classes voisines
En entrant dans le bâtiment d maternelle, les sons se font comme plus feutrés, c'est apaisant
99
L'isolation par rapport à l'extérieur est très bonne, on n'entend peu ou pas les bruits qui en viennent.
Les espaces vastes (salle de motricité, bibliothèque) ont plus de réverbération sonore mais cela demeure assez faible.
De façon générale, la ventilation est souvent audible
98
98
Baulon - Effet particulier acoustique **école (8.4)**
Oui : apaisement des murs en terre quant aux bruits / non : bruit continu de la ventilation
99

*Tableau 98 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : Par rapport à l'acoustique de l'école avez-vous remarqué un **effet particulier** ? Si oui, quoi ? Si non, pourquoi ? 98 / 99 = Pas de réponse*

Bouvron - Effet particulier acoustique **classe (8.4)**
L'acoustique est très bonne, cela évite de lever la voix, donc cela diminue le niveau sonore
Lieu moins bruyant que d'autres classes fréquentées dans d'autres écoles.
Oui, niveau sonore peu élevé, moins de fatigue pour l'enseignant et pour les enfants
Non, car je ne prête pas attention ; le bruit ne me dérange pas.
Plus calme en ateliers, spécialement ceux pourvus de porte de séparation
Non.
99
Je trouve que pour une classe de maternelle ma classe est peu sonore, que même quand les élèves sont très bruyants on ne finit pas avec un mal de crane l'ATSEM et moi, cela résonne peu
98
98
idem pour la classe, beaucoup moins bruyante, ambiance plus sereine que dans l'autre école.
Je ressens une nette amélioration sonore par rapport aux anciens bâtiments. Aujourd'hui périscolaire.
Les élèves sont peut-être moins bruyants
Baulon - Effet particulier acoustique **classe (8.4)**
Oui : apaisement des murs en terre quant aux bruits / non : bruit continu de la ventilation
99

*Tableau 99 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : Par rapport à l'acoustique de l'école avez-vous remarqué un **effet particulier** ? Si oui, quoi ? Si non, pourquoi ? 98 / 99 = Pas de réponse*

Bouvron - Bonne acoustique **école (8.4)**
oui, on l'a ressenti en aménageant, la comparaison était facile
Je pense que l'école a une bonne acoustique, il est agréable d'y circuler avec un groupe d'élèves, le volume sonore n'est pas trop important malgré des couloirs avec des hauts plafonds.
Oui, probablement à cause des murs en terre qui atténuent le bruit
Oui, car on n'entend pas trop les gens dans les classes
Bon acoustique, le bruit des classes reste dans la classe
Oui. Les bruits extérieurs sont très atténués et deviennent presque inexistants (peut-être est-ce moins vrai dans l'autre aile de l'école, notamment les couloirs)
99
Oui, je pense qu'il y a une bonne acoustique, avec une très bonne isolation sonore, on n'entend pas du tout ce qui se passe dans la pièce voisine
98
98
Oui un excellent ressenti
Un bon ressenti qui apporte un environnement de travail agréable.
Les murs du bâtiment semblent bien absorber le son
Baulon - Bonne acoustique **école (8.4)**
99
Le passage du bruit entre les classes pose un vrai problème. Il me semble aussi que le sol renvoie beaucoup le son. Les sons me paraissent plus clairs et nets. Les voix des enfants qui bavardent sont claires

*Tableau 100 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : Pensez-vous que l'école a une **bonne acoustique** (vous avez un bon ressenti) ? Si oui, pourquoi ? Si non, pourquoi ?*
98 / 99 = Pas de réponse

Bouvron - Bonne acoustique **classe (8.5)**
Oui, on l'a ressenti en aménageant, la comparaison était facile
J'apprécie l'acoustique de ma classe, qui ne répercute pas trop le bruit engendré par les activités de la classe.
Oui, probablement à causes des murs en terre qui atténuent le bruit
Oui, car on n'entend pas les gens en dehors de la classe
Pas de bruits venant d'autres classes
Oui. Pour les mêmes raisons, il est agréable de travailler sans être dérangés par les bruits extérieurs. Les sons à l'intérieur de la classe ne sont pas amplifiés dans le volume de la classe, ne résonnent pas.
99
Oui, je pense que l'acoustique
98
98
Oui un excellent ressenti
Un bon ressenti qui apporte une bonne condition de travail.
Les murs du bâtiment semblent bien absorber le son
Baulon - Bonne acoustique **classe (8.5)**
La classe demeure très sonore
Le passage du bruit entre les classes pose un vrai problème. Il me semble aussi que le sol renvoie beaucoup le son. Les sons me paraissent plus clairs et nets. Les voix des enfants qui bavardent sont claires

*Tableau 101 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : Pensez-vous que votre classe a une **bonne acoustique** (vous avez un bon ressenti) ? Si oui, pourquoi ? Si non, pourquoi ?*
98 / 99 = Pas de réponse

Bouvron - Classe isolée bruits extérieurs **(8.6)**
Oui, mais ma classe donne sur l'arrière
Oui, nous n'entendons quasiment pas les bruits extérieurs de ce côté du bâtiment.
Oui, probablement à cause des murs en terre qui atténuent le bruit
Oui, le bâtiment de maternelle n'est pas côté route
oui, pas de bruits venant de l'extérieur
Oui. Déjà parce que ma classe est loin de tous ces bruits, puis parce que j'ai l'impression que l'isolation est bien faite.
oui une classe bien isolée car on n'entend que très peu les bruits extérieurs, de la classe adjacente,…
oui, on entend très peu les bruits extérieurs, on ne les entend pas si la fenêtre n'est pas ouverte, on n'entend par exemple ni orage, ni vent ni les moutons ou les enfants qui jouent dehors.
98
98
Oui, parce qu'elle donne du côté jardin donc au calme
Oui aucun bruit extérieur
La classe est bien isolée car elle donne sur un pâturage de moutons
Baulon - Classe isolée bruits extérieurs **(8.6)**
oui, les bruits extérieurs sont lointains
On n'attend les enfants des autres classes en récréation. On n'entend pas de voitures mais elles sont loin.

*Tableau 102 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : La classe est bien isolée des **bruits extérieurs du bâtiment** (du trafic, de la rue, etc.) ? Si oui, pourquoi ? Si non, pourquoi ? 98 / 99 = Pas de réponse*

Bouvron - Classe isolée bruits intérieurs **(8.7)**
Oui, on n'entend pas les classes voisines
Si la porte de la classe est fermée, les bruits provenant du couloir ou de la BCD nous parviennent très atténués.
Oui, probablement à cause des murs en terre qui atténuent le bruit
Oui, on n'entend rien
oui, le volume sonore d'une classe reste dans la classe
Oui, mais surtout lorsque les portes sont fermées cela est flagrant. Je ne sais pas vraiment pourquoi (épaisseur et constitution des murs ?)
99
Quand un groupe même nombreux est dans l'atelier, porte fermée, on ne l'entend pas du tout, idem pour les bruits provenant du couloir quand la porte est fermée.
98
98
Oui, la porte fermée on n'entend rien des bruits extérieurs de la classe.
Oui aucun bruits intérieurs
La classe est bien isolée des bruits intérieurs. Peut-être grâce aux murs en terre
Baulon - Classe isolée bruits intérieurs **(8.7)**
Non, les bruits restent dans la classe. On entend le moindre objet tomber
On entend la voix du maître dans l'autre classe et le bruit des élèves de la classe voisine en activité de groupe. On entend la musique dans la classe voisine. On entend les élèves qui jouent dans la 3ème classe sur le temps de midi.

*Tableau 103 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : La classe est bien isolée **des bruits intérieurs**, externes à votre classe ? Si oui, pourquoi ? Si non, pourquoi ? 98 / 99 = Pas de réponse*

Bouvron - Classe forcer la voix **(8.8)**
non, sauf si ce sont les élèves qui sont bruyants / oui, parfois, car nous sommes en activité physique, donc plus bruyante
Uniquement si les ateliers au sein de la classe sont trop bruyants à mon goût.
Non, sauf quand les enfants parlent fort
Non
Non, à moins d'un chahut général
Pas souvent (j'ai l'impression). Cela est nécessaire lorsque tous les élèves sont en mouvement (moments de transition) et créent plus de bruit.
99
Oui, avec le masque pour rendre une histoire vivante, il y a des passages ou bien quand les enfants mettent leur manteau et qu'ils parlent tous je dois forcer la voix, par exemple
98
98
Oui, lorsque les enfants parlent tous en même temps.
De temps en temps, pour gérer les enfants
Je suis obligée de forcer la voix quand les élèves bavardent trop fort
Baulon - Classe forcer la voix **(8.8)**
Oui, quand le bavardage est important
Oui, lorsque les élèves parlent trop fort lors d'un travail de groupe.

*Tableau 104 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : Êtes-vous obligé de **forcer la voix** ? Si oui, dans quelles situations ?*
98 / 99 = Pas de réponse

Bouvron - Classe Effet de réverbération **(8.9)**
non
99
Oui dans la grotte
Non
Non
Non, surtout par rapport à d'autres classes dans lesquelles j'ai pu travailler.
99
j'en perçois très peu
98
98
Non
Non
Non, sauf dans les toilettes
Baulon - Classe Effet de réverbération **(8.9)**
non
Seulement à l'endroit où j'ai mis le point vert sur le plan.

*Tableau 105 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : Percevez-vous un effet de **réverbération (écho)** dans votre classe ? Si oui, comment le décririez-vous ?*
98 / 99 = Pas de réponse

Bouvron - Ambiance générale – terre **(10.1)**
Je pense que, visuellement, la matière et la couleur sont apaisantes
Ces murs en terre donnent une impression de cocon, d'un lieu feutré et agréable.
Oui, la terre rend le lieu chaleureux
Je ne sais pas du tout
Ambiance "naturelle" positive pour moi
La terre me procure un effet apaisant, je ne sais pas si c'est seulement visuellement.
Je trouve que c'est comme « enveloppant » (surtout dans les couloirs).
oui
Oui. Du point de vue visuel, la couleur dégage quelque chose de positif, de chaleureux
Le fait que ce soit naturel a sur moi un impact positif
Je ne sais pas
Ça apporte une sensation de "naturel" au sein de l'école qui est très appréciable
Oui, la présence de la terre apporte une ambiance plus feutrée, plus cocooning
La terre cuite apporte des couleurs chaudes et une ambiance globale agréable.
Les murs en terre crue donnent un aspect naturel à l'école
Baulon - Ambiance générale – terre **(10.1)**
La terre développe une ambiance apaisante quant au ressenti dans la classe
Oui, il me semble que la vue en est apaisante. Le confort thermique est bon.

Tableau 106 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : Pensez-vous que la présence de la terre crue contribue positivement à votre perception du lieu en général (du point de vue de votre ressenti)? Si oui, comment expliqueriez-vous cela ? Si non, pourquoi ?
98 / 99 = Pas de réponse

Bouvron - Ambiance sonore – terre **(10.2)**
De fait, on baisse le ton.
J'ai l'impression que les murs en terre atténuent les effets sonores de la vie de la classe.
Oui, la terre absorbe le bruit
Je ne sais pas non plus.
Je suppose que la terre aide à absorber le niveau sonore
Du point de vue sonore, j'ai la sensation que la terre « absorbe » les bruits trop forts, que les sons sont plus « mats ».
oui mais on ne saurait pas l'expliquer
Oui. Je pense que la terre crue contribue à la faible réverbération sonore
Je ne sais pas
Je pense que c'est un très bon isolant, c'est pour cela que lors de mes taches, je ne suis pas dérangée
Oui j'ai l'impression que la terre absorbe les bruits…
Je pense que la terre cuite contribue positivement à l'ambiance sonore agréable.
Ils semblent bien absorber le son
Baulon - Ambiance sonore – terre **(10.2)**
Il paraît difficile de faire un lieu avec l'ambiance sonore (qui reste important même avec de la terre crue).
Non, à cause des fentes dans les cloisons.

*Tableau 107 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : Pensez-vous que la présence de la terre crue contribue positivement à votre perception de l'**ambiance sonore** (du point de vue de votre ressenti)? Si oui, comment expliqueriez-vous cela ? Si non, pourquoi ?*
98 / 99 = Pas de réponse

BOUVRON	Fréquence de la source				Volume sonore						Je suis ..... gêné			
	jamais	rarement	souvent	en permanence	très faible	assez faible	peu faible	peu fort	assez fort	très fort	pas du tout	légèrement	très	extrêmement
Bruits extérieurs	18	17	2	-	20	8	5	-	-	-	29	4	-	-
Pourcentage sur les réponses %	48.65	45.95	5.41	-	60.61	24.24	15.15	-	-	-	87.88	12.12	-	-
Bruits générés par les usagers	10	7	18	-	9	4	9	5	6	-	14	15	4	-
Pourcentage sur les réponses %	28.57	20.00	51.43	-	27.27	12.12	27.27	15.15	18.18	-	42.42	45.45	12.12	-
Bruits générés par les activités de l'école	16	10	8	2	14	7	6	5	1	-	19	12	1	-
Pourcentage sur les réponses %	44.44	27.78	22.22	5.56	42.42	21.21	18.18	15.15	3.03	-	59.38	37.50	3.13	-
Bruits des installations	21	8	7	-	20	4	8	1	-	-	29	3	1	-
Pourcentage sur les réponses %	58.33	22.22	19.44	-	60.61	12.12	24.24	3.03	-	-	87.88	9.09	3.03	-
Bruits produits par les équipements de travail	21	11	3	2	18	6	7	2	-	-	26	6	1	-
Pourcentage sur les réponses %	56.76	29.73	8.11	5.41	54.55	18.18	21.21	6.06	-	-	78.79	18.18	3.03	-
Bruits produits par l'acoustique du bâtiment (Surfaces réfléchissantes, etc.)	28	6	1	2	25	2	5	-	-	-	29	3	-	-
Pourcentage sur les réponses %	75.68	16.22	2.70	5.41	78.13	6.25	15.63	-	-	-	90.63	9.38	-	-

Tableau 108 Résumé des réponses des travailleurs de l'école de Bouvron à la question : Pour les activités de la question précédente 7.2, désignez les sources de bruit qui vous gênent le plus pour développer votre activité ainsi que leur fréquence et leur volume sonore.

BAULON	Fréquence de la source				Volume sonore						Je suis ..... gêné			
	jamais	rarement	souvent	en permanence	très faible	assez faible	peu faible	peu fort	assez fort	très fort	pas du tout	légèrement	très	extrêmement
Bruits extérieurs	3	3			3	3					3	3		
Pourcentage sur les réponses %	50.00	50.00			50.00	50.00					50.00	50.00		
Bruits générés par les usagers			5	1			2	1	3			2	4	
Pourcentage sur les réponses %			83.33	16.67			33.33	16.67	50.00			33.33	66.67	
Bruits générés par les activités de l'école	1	1	3		1	1	1	1	2		1	3	2	
Pourcentage sur les réponses %	16.67	16.67	50.00		16.67	16.67	16.67	16.67	33.33		16.67	50.00	33.33	
Bruits des installations	3	3			3	3					3	3		
Pourcentage sur les réponses %	50.00	50.00			50.00	50.00					50.00	50.00		

Bruits produits par les équipements de travail	3	3			3	3					3	3		
Pourcentage sur les réponses %	50.00	50.00			50.00	50.00					50.00	50.00		
Bruits produits par l'acoustique du bâtiment (Surfaces réfléchissantes, etc.)	1	3	2		1	3		1	1		1	4	1	
Pourcentage sur les réponses %	16.67	50.00	33.33		16.67	50.00		16.67	16.67		16.67	66.67	16.67	

Tableau 109 Résumé des réponses des travailleurs de l'école de Baulon à la question : Pour les activités de la question précédente 7.2, désignez les sources de bruit qui vous gênent le plus pour développer votre activité ainsi que leur fréquence et leur volume sonore.

BOUVRON	**Fréquence de la source**				**Volume sonore**						**Je suis ..... gêné**			
	jamais	rarement	souvent	en permanence	très faible	assez faible	peu faible	peu fort	assez fort	très fort	pas du tout	légèrement	très	extrêmement
Bruits extérieurs	5	6			8		2				9	1		
Pourcentage sur les réponses %	45.45	54.55			80.00		20.00				90.00	10.00		
Bruits générés par les usagers	1	5	5		2	4	1	2	1		4	4	2	
Pourcentage sur les réponses %	9.09	45.45	45.45		20.00	40.00	10.00	20.00	10.00		40.00	40.00	20.00	
Bruits générés par les activités de l'école	2	5	4		3	2	4	1	1		5	5	1	
Pourcentage sur les réponses %	18.18	45.45	36.36		27.27	18.18	36.36	9.09	9.09		45.45	45.45	9.09	
Bruits des installations	5	5			6	3					7	2		
Pourcentage sur les réponses %	50.00	50.00			66.67	33.33					77.78	22.22		
Bruits produits par les équipements de travail	6	4	1		6	1	3				9	1		
Pourcentage sur les réponses %	54.55	36.36	9.09		60.00	10.00	30.00				90.00	10.00		
Bruits produits par l'acoustique du bâtiment (Surfaces réfléchissantes, etc.)	9	2			8		1				9			
Pourcentage sur les réponses %	81.82	18.18			88.89		11.11				100.00			

Tableau 110 Résumé des réponses des travailleurs de l'école de Bouvron à la question : Désignez les sources de bruit qui vous gênent le plus pour développer votre activité de transmission de la parole dans la classe ou l'espace de travail ainsi que leur fréquence et leur volume sonore (si vous êtes enseignant, ATSEM, AESH ou si pour le développement de votre activité vous avez besoin de la parole)*

Annexe 8. Informations complémentaires des enquêtes avec les enfants

8.1 Ensemble d'ateliers pour la réalisation de la maquette des classes

LA MAQUETTE DE LA CLASSE

Marta nous a apporté une grande planche de bois. Nous avons d'abord essayé de savoir à quoi cela correspondait. Il y avait d'autres planches plus petites. En utilisant les encoches, nous avons essayé d'assembler les unes aux autres et nous avons compris que l'ensemble représentait une pièce. En discutant, nous avons compris qu'il s'agit de notre classe.

Id1. essaie de placer la porte de la classe

Marta emboite des murs avec L.

Lors d'une deuxième séance, nous avons comparé la maquette avec la classe et nous avons repéré l'emplacement de chaque mur. Nous avons peint en blanc, en mauve ou en marron. Pour le mur du tableau, il a fallu prendre des mesures afin e placer le tableau, les plaques de liège...

Id.2 et Id.3. peignent les murs en mauve

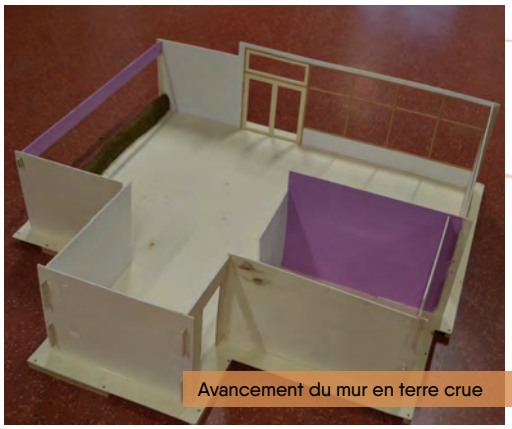
Nous dessinons le tableau de la classe

Id1. et L. peignent les murs en blanc

Pendant d'autres séances, après une courte présentation de Marta au sujet des matériaux, nous avons réalisé le mur en terre : nous avons d'abord pris de la terre mêlée à de l'eau, nous avons façonné un boudin et nous avons formé des briques en utilisant une petite plaquette de bois qui indique la taille à respecter. Marta a maçonné, elle a placé les briques les unes par rapport aux autres.

Marta fait une petite présentation

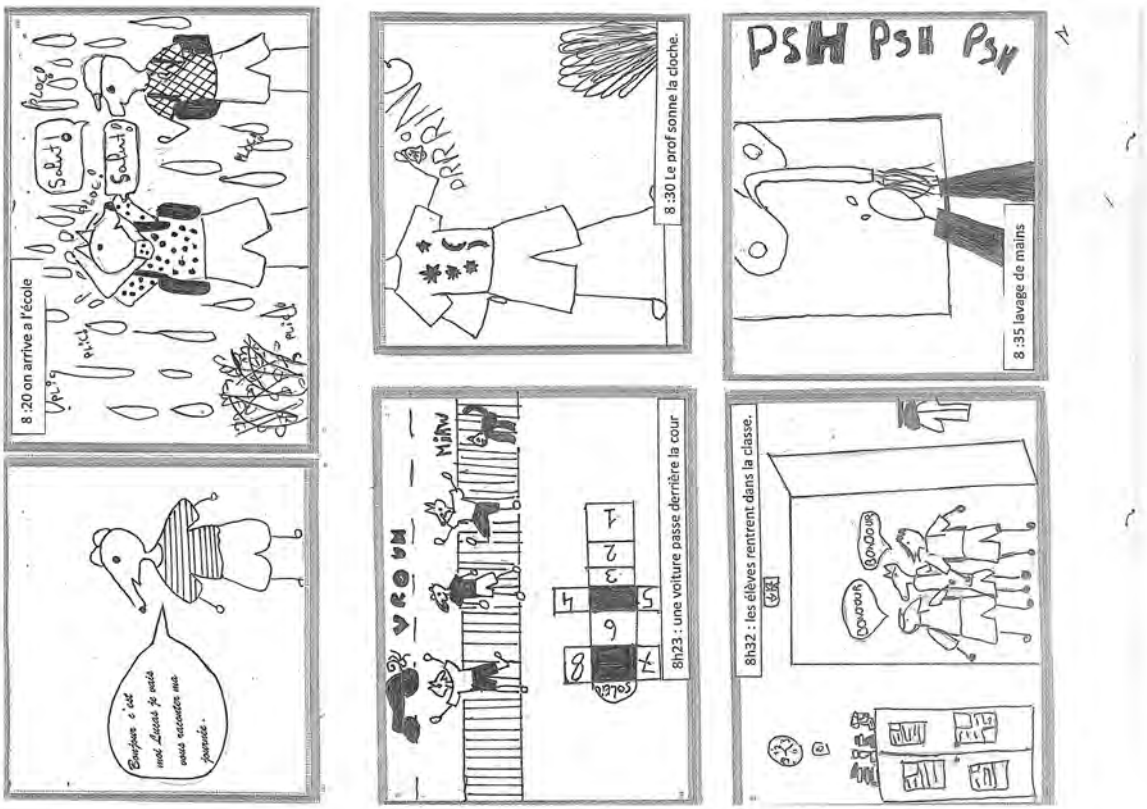
Fabrication des briques en terre crue

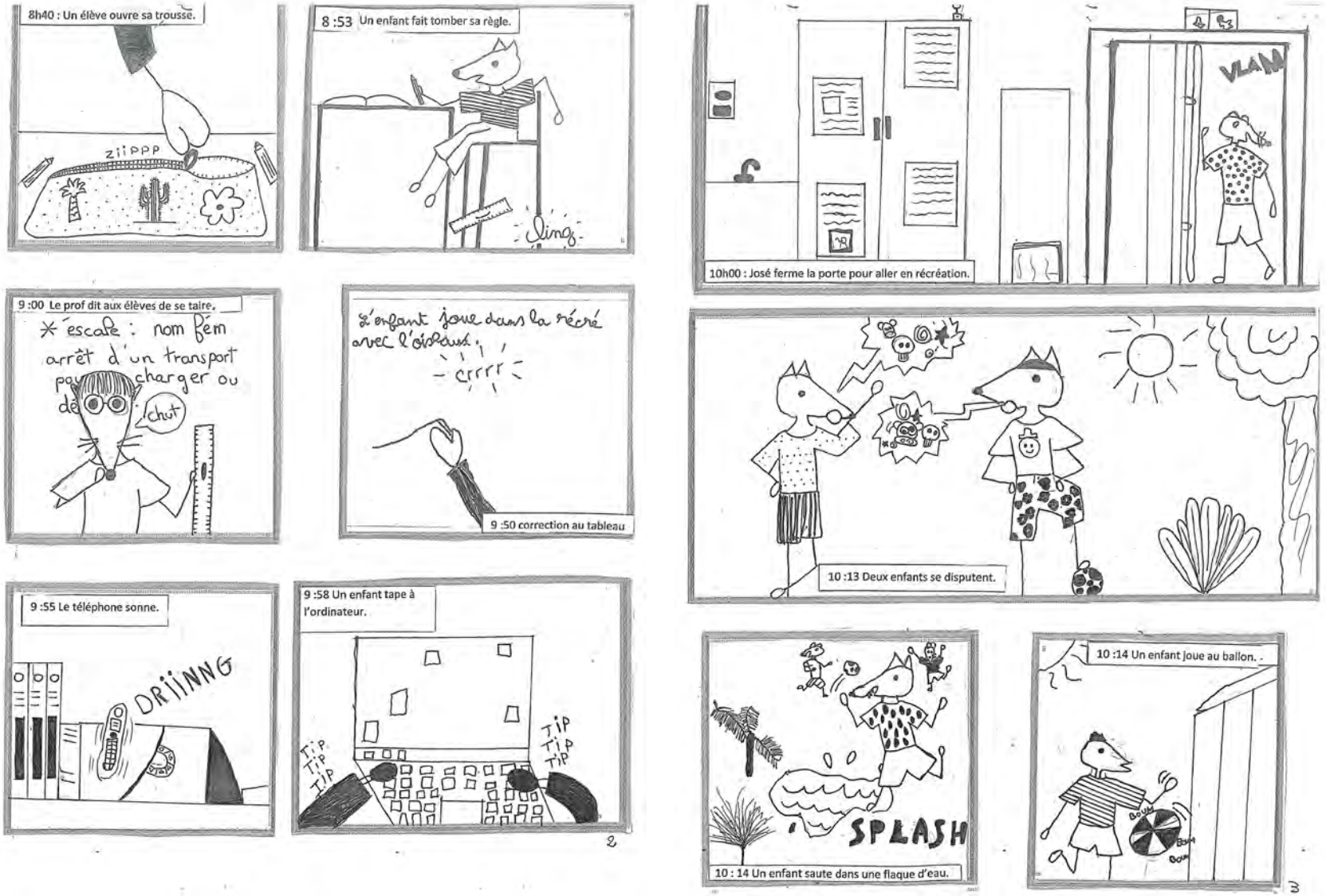

Avancement du mur en terre crue

Emplacement du mobilier

Figure 351 Exemple du résume fourni aux parents sur le travail développé autour de la maquette.

8.2 Une journée sonore – élèves de CM1 et CM2




8h40 : Un élève ouvre sa trousse.
ziippp
8 :53 Un enfant fait tomber sa règle.
9 :00 Le prof dit aux élèves de se taire.
chut
9 :50 correction au tableau
9 :55 Le téléphone sonne.
DRIINNG
9 :58 Un enfant tape à l'ordinateur.
10h00 : José ferme la porte pour aller en récréation.
VLAM
10 :13 Deux enfants se disputent.
10 : 14 Un enfant saute dans une flaque d'eau.
SPLASH
10 :14 Un enfant joue au ballon.

AH! AH!
13 :45 C'est la récré du midi.
13 :49 ça sent bizarre
14 :00 Une mouche vole.
15 :18 C'est l'heure d'aller courir.
10 :15 Deux enfants se lavent les mains.
10 :45 On commence le Français
11 :05 Les élèves papotent.
11 :17 Deux élève chuchotent.
11 :32 Deux enfants discutent.
BLA BLA BLA
CHUT
Sam. Dim.
On Mardi

15h20 Un élève baille.
ouaamm
15h32 : On entend l'horloge.
TIC TAC!
TIC TAC!
16h05 : Un élève s'endort en classe
15 :49 Un élève boit dans sa gourde.
16 : 26 Un élève siffle.
AH! AH!
16 :30 On rigole avec les copains.
6

Élèves CM1/
CM2 de l'école
les Luciolles
Baulon

8.3 Le volume et la gêne

8.3.1 Le volume

	très faible			assez faible			peu faible			peu fort			assez fort			très fort		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
moustique	10	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
%	71.43	0.00	21.43	0.00	0.00	7.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GS	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CP	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		92.86			7.14			0.00			0.00			0.00			0.00	
parole	4	0	0	1	5	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
%	28.57	0.00	0.00	7.14	35.71	14.29	0.00	0.00	0.00	14.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GS	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CP	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CE1	0	0	0	1	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		28.57			57.14			0.00			14.29			0.00			0.00	
conversation	2	0	4	1	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
%	14.29	0.00	28.57	7.14	28.57	21.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GS	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CP	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE1	2	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		42.86			57.14			0.00			0.00			0.00			0.00	
la récré	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0	4	3	1	1	0	0
%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14	0.00	0.00	28.57	0.00	0.00	0.00	28.57	21.43	7.14	7.14	0.00	0.00
GS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
CP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
CE1	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0	1	1	0	0	0	0
		0.00			7.14			28.57			0.00			57.14			7.14	
cantine	0	0	0	0	0	2	0	1	0	4	3	0	2	1	1	0	0	0
%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.29	0.00	7.14	0.00	28.57	21.43	0.00	14.29	7.14	7.14	0.00	0.00	0.00
GS	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
CP	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
CE1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	1	0	0	0	0
		0.00			14.29			7.14			50.00			28.57			0.00	

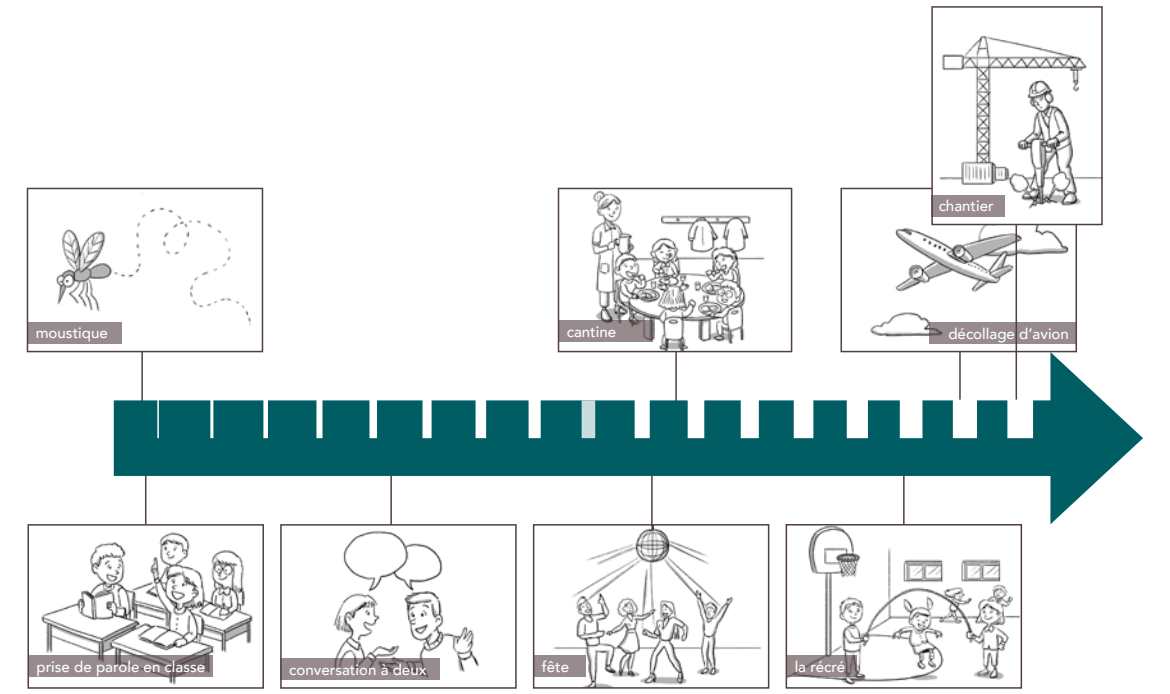
fête	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	1	1	2	4	1	0	0	0
%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14	0.00	14.29	14.29	7.14	7.14	14.29	28.57	7.14	0.00	0.00	0.00
GS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
CP	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
CE1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	2	1	0	0	0
		0.00			0.00			21.43			28.57			50.00			0.00	
chantier	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	8	3
%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14	14.29	57.14	21.43
GS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0
CP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0
CE1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3
		0.00			0.00			0.00			0.00			7.14			92.86	
décollage avion	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	7	2
%	7.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14	7.14	7.14	7.14	50.00	14.29
GS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
CP	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
CE1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	4	0
		7.14			0.00			0.00			0.00			21.43			71.43	

Tableau 111 Retours sur l'évaluation du volum sonore des 8 images des élèves de Bouvron.

	très faible			assez faible			peu faible			peu fort			assez fort			très fort		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
moustique	7	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
%	50.00	35.71	7.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14	0.00	0.00	0.00
CM1-CM2	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
CE2-CM1	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		92.86			0.00			0.00			0.00			7.14			0.00	
parole	2	2	1	2	1	1	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
%	14.29	14.29	7.14	14.29	7.14	7.14	21.43	14.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CM1-CM2	1	1	0	2	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE2-CM1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		35.71			28.57			35.71			0.00			0.00			0.00	

conversation	2	1	2	1	2	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
%	14.29	7.14	14.29	7.14	14.29	21.43	14.29	7.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CM1-CM2	1	0	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE2-CM1	1	1	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		35.71			**42.86**			**21.43**			**0.00**			**0.00**			**0.00**	
la récré	0	0	0	0	0	2	0	2	1	4	4	0	0	1	0	0	0	0
%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.29	0.00	14.29	7.14	28.57	28.57	0.00	0.00	7.14	0.00	0.00	0.00	0.00
CM1-CM2	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	3	0	0	1	0	0	0	0
CE2-CM1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0
		0.00			**14.29**			**21.43**			**57.14**			**7.14**			**0.00**	
cantine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	2	0	3	3	2	0	0
%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.43	7.14	14.29	0.00	21.43	21.43	14.29	0.00	0.00
CM1-CM2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	2	2	0	0	0
CE2-CM1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	2	0	0
		0.00			**0.00**			**0.00**			**42.86**			**42.86**			**14.29**	
fête	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	2	4	1	0	2	0	0
%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14	28.57	0.00	14.29	28.57	7.14	0.00	14.29	0.00	0.00
CM1-CM2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	4	0	0	1	0	0
CE2-CM1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	0	1	0	1	0	0
		0.00			**0.00**			**7.14**			**42.86**			**35.71**			**14.29**	
chantier	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	3	3	5
%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14	0.00	14.29	21.43	21.43	35.71
CM1-CM2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	3	0	2
CE2-CM1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
		0.00			**0.00**			**0.00**			**0.00**			**21.43**			**78.57**	
décollage avion	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	3	9
%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14	7.14	0.00	21.43	64.29
CM1-CM2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	5
CE2-CM1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	4
		0.00			**0.00**			**0.00**			**0.00**			**14.29**			**85.71**	

Tableau 112 Retours sur l'évaluation du volum sonore des 8 images des élèves de Baulon.



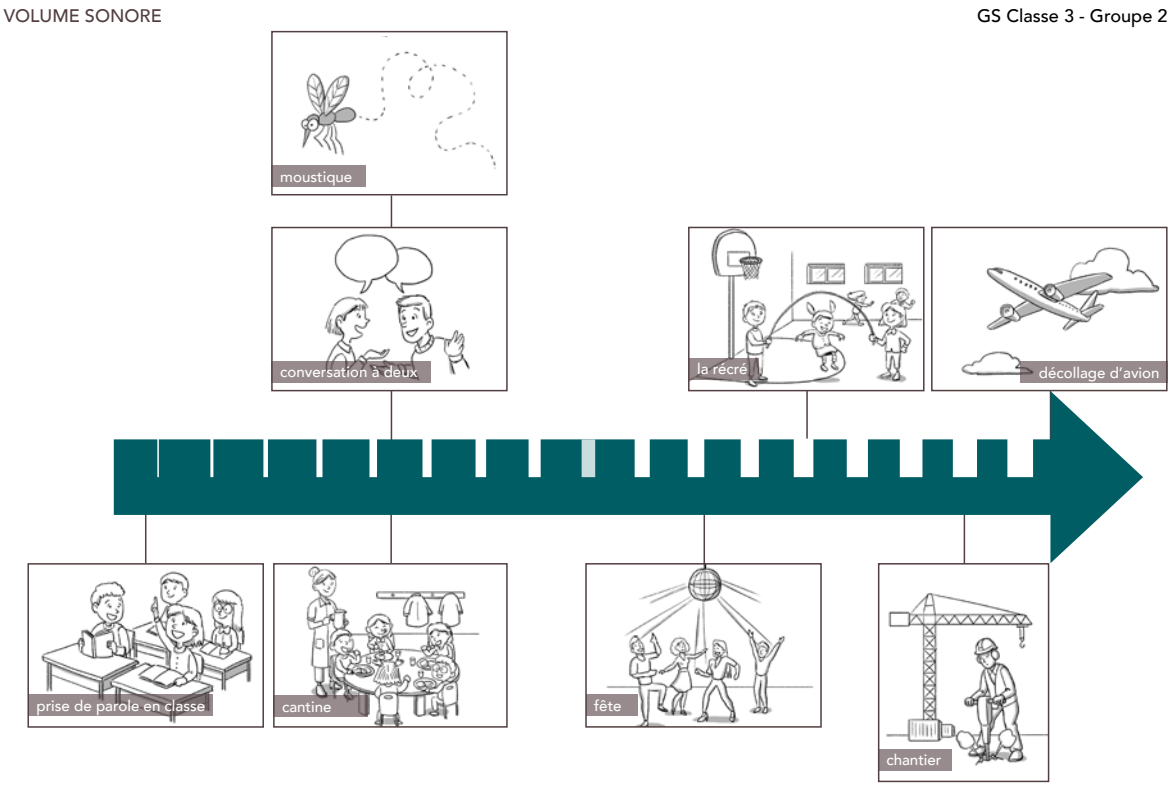


Figure 352 Exemple du placement des images dans « l'échelle du bruit ».

	pas du tout				légèrement				très				extrêmement			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
moustique	0	2	0	0	2	3	1	0	0	3	0	1	1	0	0	0
%	0.00	15.38	0.00	0.00	15.38	23.08	7.69	0.00	0.00	23.08	0.00	7.69	7.69	0.00	0.00	0.00
GS	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
CP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
CE1	0	2	0	0	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
		15.38		0.00		46.15		0.00		23.08		7.69		7.69		0.00
parole	0	9	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
%	0.00	69.23	0.00	15.38	0.00	7.69	0.00	0.00	0.00	7.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GS	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CP	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE1	0	5	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
		69.23		15.38		7.69		0.00		7.69		0.00		0.00		0.00
conversation	1	2	1	1	0	4	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0
%	7.69	15.38	7.69	7.69	0.00	30.77	7.69	15.38	0.00	7.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GS	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
CP	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE1	0	1	1	1	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
		30.77		7.69		38.46		15.38		7.69		0.00		0.00		0.00
la récré	0	1	0	0	1	2	1	0	1	4	0	0	1	2	0	0
%	0.00	7.69	0.00	0.00	7.69	15.38	7.69	0.00	7.69	30.77	0.00	0.00	7.69	15.38	0.00	0.00
GS	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
CE1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	4	0	0	0	1	0	0
		7.69		0.00		30.77		0.00		38.46		0.00		23.08		0.00
cantine	0	1	0	0	0	1	0	1	0	4	2	0	0	4	0	0
%	0.00	7.69	0.00	0.00	0.00	7.69	0.00	7.69	0.00	30.77	15.38	0.00	0.00	30.77	0.00	0.00
GS	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
CP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
CE1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	2	0	0
		7.69		0.00		7.69		7.69		46.15		0.00		30.77		0.00

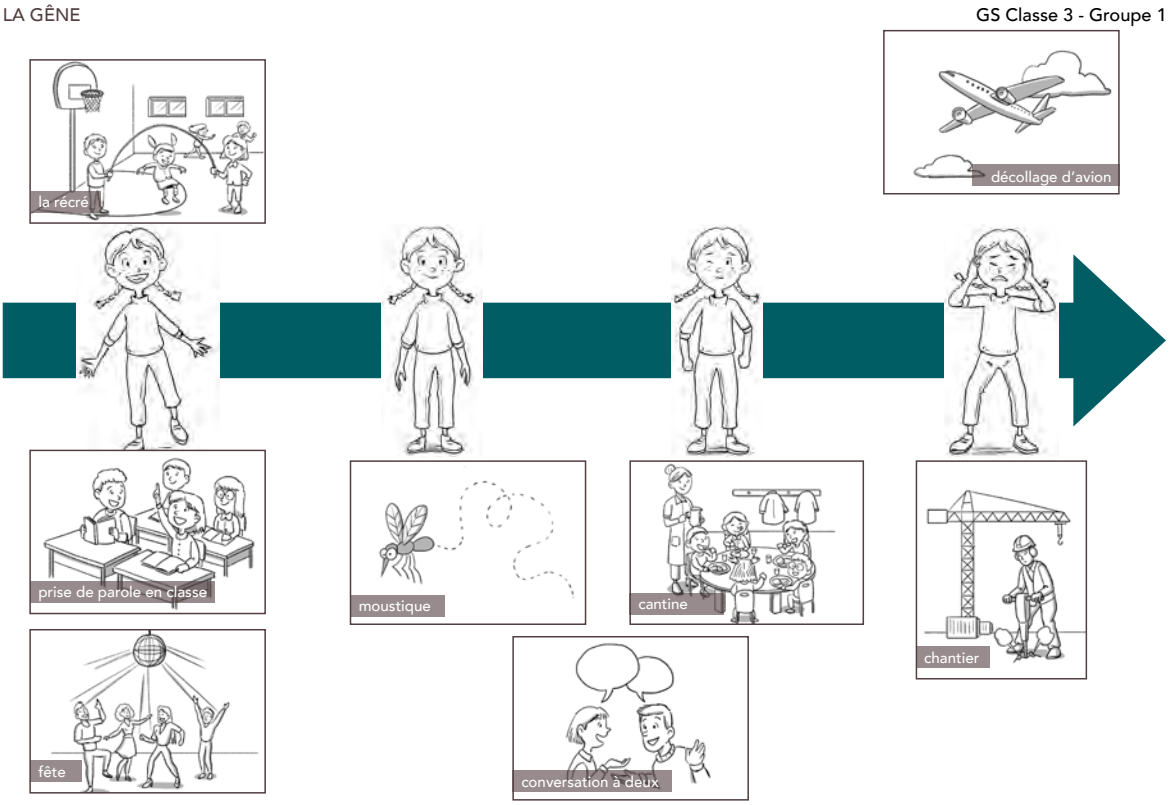
fête	0	7	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0
%	0.00	53.85	0.00	0.00	0.00	7.69	0.00	7.69	0.00	7.69	0.00	7.69	7.69	7.69	0.00	0.00
GS	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CP	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
CE1	0	3	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0
		53.85		0.00		7.69		7.69		7.69		7.69		15.38		0.00
chantier	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	5	2	3
%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.38	0.00	7.69	0.00	0.00	38.46	15.38	23.08
GS	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0
CP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
CE1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	1	1
		0.00		0.00		0.00		0.00		23.08		0.00		53.85		23.08
décollage avion	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	7	2	0
%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.69	0.00	0.00	0.00	7.69	0.00	7.69	7.69	53.85	15.38	0.00
GS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0
CP	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
CE1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	4	1	0
		0.00		0.00		7.69		0.00		7.69		7.69		76.92		0.00

Tableau 113 Retours sur l'évaluation de la gêne des 8 images des élèves de Bouvron.

	pas du tout				légèrement				très				extrêmement			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
moustique	0	1	0	0	0	2	0	3	0	2	3	0	0	2	1	0
%	0.00	7.14	0.00	0.00	0.00	14.29	0.00	21.43	0.00	14.29	21.43	0.00	0.00	14.29	7.14	0.00
CM1-CM2	0	1	0	0	0	0	0	2	0	1	3	0	0	1	0	0
CE2-CM1	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0
		7.14		0.00		14.29		21.43		35.71		0.00		21.43		0.00
parole	0	8	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
%	0.00	57.14	0.00	14.29	0.00	28.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CM1-CM2	0	6	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE2-CM1	0	2	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		57.14		14.29		28.57		0.00		0.00		0.00		0.00		0.00

conversation	0	8	1	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
%	0.00	57.14	7.14	21.43	0.00	7.14	0.00	7.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CM1-CM2	0	6	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE2-CM1	0	2	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		64.29		**21.43**		**7.14**		**7.14**		**0.00**		**0.00**		**0.00**		**0.00**
la récré	0	4	0	2	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
%	0.00	28.57	0.00	14.29	7.14	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CM1-CM2	0	3	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE2-CM1	0	1	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		28.57		**14.29**		**57.14**		**0.00**		**0.00**		**0.00**		**0.00**		**0.00**
cantine	0	1	0	0	2	6	1	0	1	3	0	0	0	0	0	0
%	0.00	7.14	0.00	0.00	14.29	42.86	7.14	0.00	7.14	21.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CM1-CM2	0	1	0	0	2	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
CE2-CM1	0	0	0	0	0	3	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0
		7.14		**0.00**		**64.29**		**0.00**		**28.57**		**0.00**		**0.00**		**0.00**
fête	0	6	1	2	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
%	0.00	42.86	7.14	14.29	7.14	28.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CM1-CM2	0	3	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE2-CM1	0	3	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		50.00		**14.29**		**35.71**		**0.00**		**0.00**		**0.00**		**0.00**		**0.00**
chantier	0	0	0	0	0	1	0	0	1	5	1	1	2	2	0	1
%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14	0.00	0.00	7.14	35.71	7.14	7.14	14.29	14.29	0.00	7.14
CM1-CM2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	4	0	0	1	1	0	0
CE2-CM1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1
		0.00		**0.00**		**7.14**		**0.00**		**50.00**		**7.14**		**28.57**		**7.14**
décollage avion	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	1	7	1	0
%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14	0.00	0.00	0.00	28.57	7.14	50.00	7.14	0.00
CM1-CM2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5	1	0
CE2-CM1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	2	0	0
		0.00		**0.00**		**0.00**		**7.14**		**0.00**		**28.57**		**64.29**		**0.00**

Tableau 114 Retours sur l'évaluation de la gêne des 8 images des élèves de Baulon.



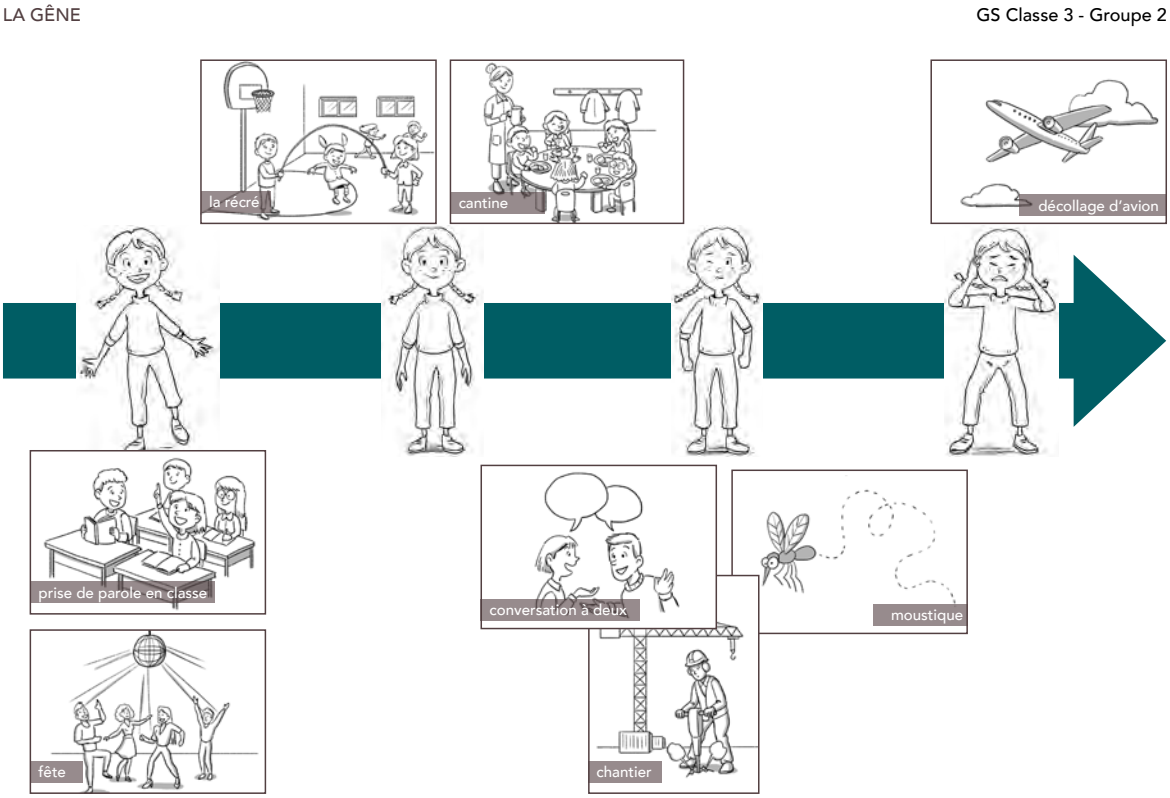


Figure 353 Exemple du placement des images dans « l'échelle de gêne».

8.4 Informations complémentaires sur l'enregistrement des sons

8.4.1 Liste des sons enregistrés

Liste des sources sonores enregistrées		
Usagers	Voix élèves	Bavardages (Baulon) Chuchotements (Baulon) Cours de maths (Baulon) Discussion cantine (Baulon) Discussion vélo (Baulon) Exercice calcul (Baulon) Exercice français (Baulon) Exercice maths (Baulon) Raconter BD (Baulon) Chuchotements - (Baulon et Bouvron) Discussion filles (Bouvron) Dispute (Bouvron) Histoire piscine (Bouvron) Histoire poulailler (Bouvron) Raconter gâteau (Bouvron) Raconter week-end (Bouvron)
	Voix enseignants	Enseignant (homme) qui crie (Baulon) Enseignant (homme) qui gronde (Baulon) Enseignante (femme) qui gronde (Baulon) Cours géométrie (Baulon) Cours grammaire (Baulon) Cours maths (Baulon)
	Réponse reflexe	Rires (Baulon) Soupir (Baulon) Chatouilles (Bouvron) Rires (Bouvron)
	Déplacements	Marche (Baulon) Marche rapide (Baulon) Sortie de classe (Baulon) Chaussures (Bouvron) Course (chaussettes) (Bouvron) Frottement (mains sur la table) (Bouvron) Marche (chaussettes) (Bouvron) Marche (chaussures) (Bouvron)

Équipements	Matériel personnel et de travail	Cahier (Baulon) Ciseaux (Baulon) Craie (Baulon) Gourde qui tombe (Baulon) Règle métal (Baulon) Chercher dans la trousse (Baulon) Affiche (Bouvron) Aimant (Bouvron) Livres bibliothèque classe (Bouvron) Cahier (pages) (Bouvron) Cahier (tombe) (Bouvron) Crayon et gomme (Bouvron) Crayons sur la table (Bouvron) Crayons par terre (Bouvron) Feutre (Bouvron) Gourde qui tombe (Bouvron) Déchirer feuille de papier (Bouvron) Stylo qui tombe (Bouvron) Chercher dans la trousse (Bouvron)
	Mobilier	Casier (Baulon) Chaise déplacement (Baulon) Horloge (Baulon) Lave main (Baulon) Porte extérieure (ouvrir-fermer) (Baulon) Banc déplacement (Bouvron) Chaise (frottement) (Bouvron) Chaise (grincement) (Bouvron) Chasse d'eau (Bouvron) Horloge (Bouvron) Interrupteur (Bouvron) Porte extérieure (ouvrir-fermer) (Bouvron) Porte intérieure (ouvrir-fermer) (Bouvron) Porte WC (ouvrir-fermer) (Bouvron) PQ (Bouvron) Rideau (Bouvron) Robinet (Bouvron) Savon à mains (Bouvron) Tiroirs (Bouvron)
	De travail	Clavier souris (Bouvron) Tableau blanc (écriture) (Bouvron) Vidéoprojecteur (Bouvron)
	De l'établissement	Ventilation (Baulon) Ventilation (Bouvron)

Tableau 115 Liste des sons enregistrés avec les enfants et enseignants dans l'école de Bouvron et Baulon.

8.4.2 Notice d'utilisation des appareils pour l'enregistrement des sons

8.4.2.1 Micro Zoom H5 Handy Recorder

Figure 354 Parties du zoom H5 Handy Recorder.

8.4.2.1.1 Prise en main

- Allumer l'appareil en maintenant le bouton d'alimentation vers le bas quelques secondes.
- Brancher le micro de mesure NTI sur l'entrée 1 et le micro directionnel sur l'entrée 2 (voir Figure 354).
- Placer le micro de mesure dans le calibreur à 94 dB et le calibrer en ajustant la molette de gain 1 jusqu'à ce que le maximum ne dépasse pas -6 dB (Figure 355).
- Noter les réglages de gain indiqué par la flèche (0 à 10).
- Aligner les autres molettes sur cette même valeur de gain.

Figure 355 Branchement des micros (à gauche) et calibreur (à droite).

8.4.2.1.2 Menus zoom

- Préférer un format d'enregistrement en fichier. Wav à 48 kHz et en 24 bits (il s'agit d'un format standard non compressé). Pour ce faire, aller dans le Menu, puis dans REC > Rec Format et sélectionner WAV48kHz/24bit.

- Activer l'alimentation fantôme afin que les micros branchés en 1 et 2 soient alimentés par le Zoom. Pour ce faire, aller dans le Menu, puis dans INPUT/OUTPUT (IN/OUT) > In1/2 Phantom > ON/OFF > ALL et sélectionner ON. (NB : le Zoom fonctionne à piles, mais il peut être utilisé en autonomie s'il est branché sur secteur ou un ordinateur)

- Sélectionner le mode d'enregistrement Multi (4 voies : L, R, 1, 2). Pour ce faire, aller dans le Menu, puis dans REC MODE et sélectionner MULTI FILE. Ce mode prend en compte les micros L et R du Zoom ainsi que les entrée 1 et 2. Le mode STEREO FILE ne prend en compte que les micros L et R.

- Une fois en mode Multi, il est possible de désactiver certaines pistes d'enregistrement en appuyant sur le bouton correspondant à l'avant du boîtier (L, R, 1, 2). Les voyant rouges au-dessus sont allumés lorsque les pistes sont actives et éteintes lorsqu'elles sont inactives.

- Aussi, les voyants rouges clignotent lorsque le son sature.

Figure 356 Parties du menu.

8.4.2.1.3 Réglages

- Préférer un format d'enregistrement en fichier. Wav à 48 kHz et en 24 bits (il s'agit d'un format standard non compressé). Pour ce faire, aller dans le Menu, puis dans REC > Rec Format et sélectionner WAV48kHz/24bit.

- Activer l'alimentation fantôme afin que les micros branchés en 1 et 2 soient alimentés par le Zoom. Pour ce faire, aller dans le Menu, puis dans INPUT/OUTPUT (IN/OUT) > In1/2 Phantom > ON/OFF > ALL et sélectionner ON. (NB : le Zoom fonctionne à piles, mais il peut être utilisé en autonomie s'il est branché sur secteur ou un ordinateur)

- Sélectionner le mode d'enregistrement Multi (4 voies : L, R, 1, 2). Pour ce faire, aller dans le Menu, puis dans REC MODE et sélectionner MULTI FILE. Ce mode prend en compte les micros L et R du Zoom ainsi que les entrée 1 et 2. Le mode STEREO FILE ne prend en compte que les micros L et R.

- Une fois en mode Multi, il est possible de désactiver certaines pistes d'enregistrement en appuyant sur le bouton correspondant à l'avant du boîtier (L, R, 1, 2). Les voyant rouges au-dessus sont allumés lorsque les pistes sont actives et éteintes lorsqu'elles sont inactives.

- Aussi, les voyants rouges clignotent lorsque le son sature.

8.4.2.2 Enregistrement

- Positionner le micro de mesure à proximité du micro directionnel de telle sorte que la distance par rapport à la source sonore soit identique (voir Figure 357).

- Se placer entre 30cm et 1m selon l'intensité de la source (vérifier que l'intensité sonore maximale ne dépasse pas : - 6dB si le son est fluctuant / - 3dB si le son est stable)

- Garder la même distance pour tous les enregistrements afin d'obtenir des niveaux cohérents.

- Appuyer sur le bouton Rec pour démarrer l'enregistrement, puis rappuyer pour l'arrêter.

- Le temps d'enregistrement s'affiche en haut de l'écran.

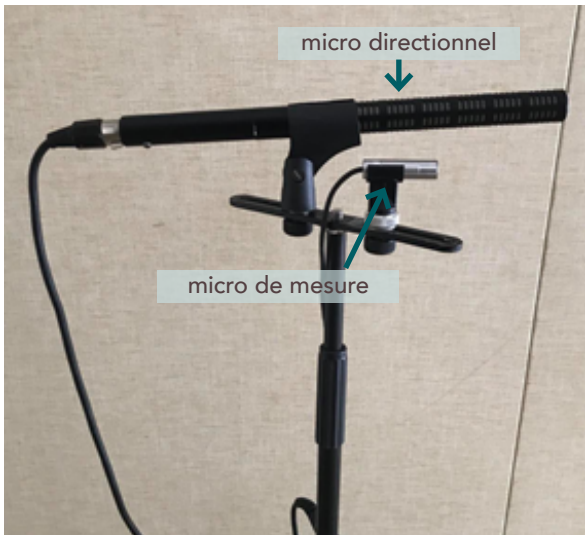


Figure 357 Positionnement des deux microphones des mesures.

8.4.2.3 Exploitation sur PC

- Brancher le micro Zoom au PC à l'aide d'un câble mini USB.

- Aller dans le Menu, puis dans USB > SD CARD READER pour basculer dans le mode USB et lire ce qui se trouve sur la carde SD depuis le PC.

- Il est aussi possible d'insérer directement la carte SD dans l'ordinateur pour consulter les fichiers.

- Installer les pilotes (drivers) sur le PC si nécessaire.

- Dans l'explorateur de fichiers, retrouver le périphérique (H5_SD) puis ouvrir le dossier Multi (Si l'enregistrement a bien été fait en Multi (L, R, 1, 2), sinon aller dans le dossier Stereo).

- Retrouver le dossier dans lequel ont été sauvegardés les enregistrements (choisi au préalable dans le menu du Zoom).

- Récupérer les 3 pistes Audio (1, 2 et LR en stéréo).

Annexe 9. Informations complémentaires des expériences de Grenoble et de Barcelone

9.1 Informations sur les participants

EXPÉRIENCE GRÉNOBLE						
Identifiant	**Profil**	**Sexe**	**Âge**	**Nationalité**	**Profession**	**Informations météo**
Id. 22.1	Type 1	F	43	Grenoble, France	Musicien - Artiste du grand collectif	soleil
Id. 23.1 / 22.2	Type 3	M	57	Grenoble, France	Chercheur	soleil
Id. 24.1	Type 1	M	28	France	Pas d'activité	soleil
Id. 25.1	Type 1	F	19	Canaries, Espagne	Étudiante	fin de journée, un peu sombre
Id. 26.1/ 26.2	Type 3	F	37	Grenoble, France	Coordinatrice projet	lumineux mais pas de soleil sur la place, nuageux.
Id. 27.1	Type 1	M	43	Grenoble, France	Réalisateur	Très sombre
Id. 28.1	Type 1	F	24	Grenoble, France	Étudiante architecture	lumineux, soleil qui rentre à l''intérieur
Id. 29.1/ 29.2	Type 3	F	25	Grenoble, France	Étudiante architecture	lumineux, soleil qui rentre à l''intérieur
Id. 30.1	Type 1	M	52	France	Architecte	un peu sombre
Id. 31.1	Type 1	F	56	France	Aide-soignante	un peu plus lumineux que l'entretien précédent, pas soleil direct
Id. 32.1/ 32.2	Type 3	M	42	Espagne	Comédien	un peu plus lumineux que l'entretien précédent, pas soleil direct
Id. 33.1/ 33.2	Type 5	F	33	Syrie	Étudiante DSA Terre	Lumineux, un peu de soleil direct sur un des fauteuils a côté du mur.
Id. 34.1/ 34.2	Type 3	F	35	Grenoble, France	Artiste	Lumineux, pas de soleil direct.
Id. 35.1/ 35.2	Type 5	F	36	Liban	Étudiante d'architecture	lumineux mais sans soleil dans la chambre.
Id. 36.1	Type 1	M	38	France	Réalisateur, vidéaste et photographe	lumineux mais sans soleil dans la chambre.
Id. 37.1/ 36.2	Type 5	F	33	Iranien et États-Unis	Artiste	lumineux mais sans soleil dans la chambre.
Id. 38.1/ 37.2	Type 5	F	36	France	Administratrice compagnie Terron	lumineux
Id. 39.2	Type 4	M	52	France	Sociologue	
Id. 40.2	Type 2	M	32	France	Géographe - étudiant doctorat	
Id. 41.2	Type 2	F	44	France	Enseignante	
Id. 42.2	Type 2	M	38	Maroc	Chargé de communication	

Id. 43.2	Type 4	F	36	Allemagne	Psychomotricienne et comédienne	
Id. 44.2	Type 2	M	20	Mali	Pas d'activité	
Id. 45.2	Type 2	F		Brésil	Artiste	

Tableau 116 Participants à Grenoble

EXPÉRIENCE BARCELONE						
Identifiant	**Profil**	**Sexe**	**Âge**	**Nationalité**	**Profession**	**Informations météo**
Id. 1.1 / 1.2	Type 3	M	24	Catalogne, Espagne	Étudiant (Architecture technique) et stagiaire	Il travaille dans le laboratoire, Même s'il n'a pas participé au chantier, il a vu une partie de la mise en œuvre.
Id. 2.1 / 2.2	Type 3	M	45	Catalogne, Espagne	Technicien de laboratoire et architecte technique	Il travaille dans le laboratoire, Même s'il n'a pas participé au chantier, il a vu une partie de la mise en œuvre.
Id. 3.1 / 3.2	Type 3	M	33	Mexique	Architecte et doctorant	Il n'avait jamais été dans cet espace et il n'a pas participé au chantier.
Id. 4.1 / 4.2	Type 3	F	35	Catalogne, Espagne	Architecte technique et doctorante	Elle travaille dans le laboratoire, Même si elle n'a pas participé au chantier, elle a vu une partie de la mise en œuvre.
Id. 5.1	Type 1	F	52	Catalogne, Espagne	Architecte technique, professeur d'université et doctorante	Elle travaille dans le laboratoire, Même si elle n'a pas participé au chantier, elle a vu une partie de la mise en œuvre.
Id. 6.1 / 6.2	Type 3	F	33	Catalogne, Espagne	Architecte technique	Elle n'avait jamais été dans cet espace et elle n'a pas participé au chantier.
Id. 7.1	Type 1	M	55	Soria, Espagne	Restaurateur et archéologue	Il ne travaille pas au laboratoire mais il avait déjà vu des espaces similaires du laboratoire.
Id. 8.1	Type 1	F	56	Catalogne, Espagne	Géologue et professeur d'université	Elle travaille dans le laboratoire, Même si elle n'a pas participé au chantier, elle a vu une partie de la mise en œuvre.
Id. 9.1 / 9.2	Type 3	F	33	Catalogne, Espagne	Architecte technique et tourisme	Elle n'avait jamais été dans cet espace et elle n'a pas participé au chantier.
Id. 10.1 / 10.2	Type 5	F	24	Mexique	Architecte et étudiante de master	Elle n'avait jamais été dans la salle avant l'expérience, Elle a participé au chantier.
Id. 11.1 / 10.2	Type 3	F	43	Catalogne, Espagne	Chimie et professeur d'université	Elle ne travaille pas au laboratoire mais elle avait déjà vu la salle.
Id. 12.1	Type 1	M	34	Colombie	Administrateur de constructions et étudiant de master	Il n'avait jamais été dans cet espace et il n'a pas vu le chantier.
Id. 13.1	Type 1	M	37	République dominicaine	Architecte et étudiant de master	Il n'avait jamais été dans cet espace mais il a participé au chantier.
Id. 14.1	Type 1	F	55	Catalogne, Espagne	Physique et professeur d'université	Elle ne travaille pas au laboratoire mais elle avait déjà vu la salle.

Id. 15.1	Type 1	F	18	Catalogne, Espagne	Étudiante marketing et publicité	Elle ne travaille pas au laboratoire mais elle avait déjà vu la salle.
Id. 16.2	Type 2	M	33	Catalogne, Espagne	Ingénieur	Il n'avait jamais été dans cet espace et il n'a pas participé au chantier.
Id. 17.2	Type 2	M	33	Catalogne, Espagne	Architecte technique et publicité	Il n'avait jamais été dans cet espace et il n'a pas participé au chantier.
Id. 18.2	Type 2	M	20	Catalogne, Espagne	Étudiant (Architecture technique) et stagiaire	Il travaille dans le laboratoire, Même s'il n'a pas participé au chantier, il a vu une partie de la mise en œuvre.
Id. 19.2	Type 2	F	29	Panama	Architecte et étudiante de master	Elle avait déjà vu l'enduit de la salle, Elle n'a pas participé au chantier mais elle a vu des vidéos.
Id. 20.2	Type 2	F	31	Mexique	Architecte et doctorante	Elle n'avait jamais été dans cet espace et elle n'a pas participé au chantier.
Id. 21.2	Type 2	M	32	Venezuela	Architecte et doctorant	Il n'avait jamais été dans cet espace et il n'a pas participé au chantier.

Tableau 117 Participants à Barcelone.

9.2 Détails sur les mesures du temps de réverbération

Mesures durée de réverbération (T30) - NORME NF EN ISO 3382-2 : 2010

Salle Grenoble sans terre (ST)

Date : 22/10/2021 Température °C : 18,1°C Humidité %HR : 55,4%HR

Observations : Une personne pendant la mesure et avec mobilier.

Durée de réverbération par tiers de bande d'octave (Hz) :

	100	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**	**400**	**500**	**630**
	1,42	1,23	0,92	0,86	1,10	1,18	1,18	1,16	1,18
Écart type	*0,21*	*0,09*	*0,11*	*0,05*	*0,08*	*0,05*	*0,06*	*0,06*	*0,05*

	800	**1000**	**1250**	**1600**	**2000**	**2500**	**3150**	**4000**	**5000**
	1,19	1,25	1,24	1,13	1,03	0,96	0,92	0,85	0,75
Écart type	*0,03*	*0,02*	*0,02*	*0,05*	*0,04*	*0,03*	*0,03*	*0,01*	*0,01*

Salle Grenoble avec terre (AT)

Date : 04/12/2021 Température °C : 18,2°C Humidité %HR : 46,3%HR

Observations : Une personne pendant la mesure et avec mobilier.

Durée de réverbération par tiers de bande d'octave (Hz):

	100	125	160	200	250	315	400	500	630
	0,00	1,21	0,94	0,78	1,09	1,05	1,17	1,14	1,22
Écart type	*0,00*	*0,18*	*0,10*	*0,09*	*0,10*	*0,11*	*0,03*	*0,05*	*0,03*

	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
	1,20	1,18	1,16	1,05	0,91	0,83	0,79	0,75	0,71
Écart type	*0,03*	*0,04*	*0,06*	*0,07*	*0,02*	*0,02*	*0,03*	*0,02*	*0,02*

Salle Barcelone sans terre (ST)

Date : 27/10/2021 Température °C : 21,6°C Humidité %HR : 63,8%HR

Observations : Deux personnes pendant la mesure et avec mobilier.

Durée de réverbération par tiers de bande d'octave (Hz) :

	100	125	160	200	250	315	400	500	630
	0,85	0,82	0,82	0,77	0,75	0,69	0,73	0,69	0,66
Écart type	*0,13*	*0,07*	*0,07*	*0,08*	*0,12*	*0,08*	*0,07*	*0,04*	*0,03*

	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
	0,67	0,70	0,70	0,71	0,69	0,69	0,67	0,67	0,65
Écart type	*0,05*	*0,04*	*0,04*	*0,03*	*0,03*	*0,01*	*0,02*	*0,01*	*0,01*

Salle Barcelone sans terre (AT)

Date : 11/11/2021 Température °C : 22,5°C Humidité %HR : 55,1%HR

Observations : Deux personnes pendant la mesure et avec mobilier.

Durée de réverbération par tiers de bande d'octave (Hz) :

	100	125	160	200	250	315	400	500	630
	0,88	0,87	0,78	0,78	0,75	0,73	0,74	0,68	0,66
Écart type	*0,16*	*0,09*	*0,07*	*0,09*	*0,07*	*0,07*	*0,07*	*0,03*	*0,03*

	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
	0,67	0,68	0,69	0,66	0,67	0,67	0,65	0,64	0,61
Écart type	*0,03*	*0,03*	*0,04*	*0,03*	*0,03*	*0,02*	*0,02*	*0,01*	*0,01*

Annexe 10. Outils complémentaires

10.1 Une journée sonore dans l'école

UNE JOURNÉE SONORE DANS L'ECOLE

Décrivez une journée sonore à l'école.

Précisez les sons et les bruits d'une journée quotidienne dans l'école, dans votre classe, les sentiments ou émotions que cela génère chez vous ou comment ils vous aident à vous situer dans le temps, dans l'espace, etc.

**La petite aide : Ferme les yeux, imagine-toi dans l'école... C'est bien, tu es dans l'école mais comment tu sais ? Qu'est -ce que tu entends ? Dans quelle partie tu es ?*

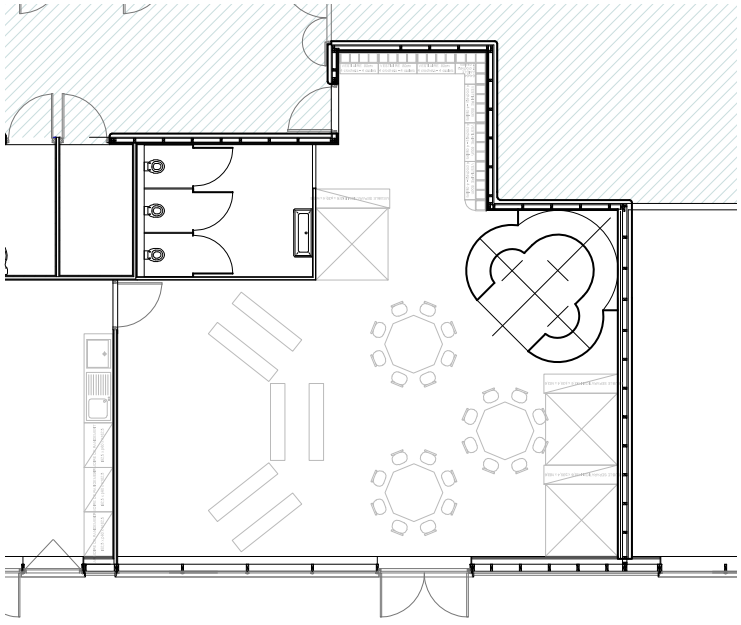
Tu peux commencer :

C'est ..... , j'arrive à l'école et j'entends .... Entendre le son / le bruit de ..... me produit/ me génère .... L'ambiance est…

LES SONS ET LES BRUITS DE MA CLASSE

À l'aide de l'expression graphique (dessins, traits, onomatopées, etc.) représenter sur la carte les sons et bruits de votre classe :

**La petite aide : Ferme les yeux, imagine-toi dans ta classe... C'est bien, tu es dans ta classe mais comment tu sais ? Qu'est -ce que tu entends ?*



Indice Figures

Chapitre 1

Figure 1 Changement observé de la température mondiale et réponses modélisées aux émissions anthropiques (IPCC, 2018).....17

Figure 2 Schéma de l'énergie du cycle de vie d'un bâtiment (Dixit et al., 2012).....21

Figure 3 Énergie grise consommée de quelques matériaux de construction (Keefe, 2012, pp. 4–5).....22

Figure 4 Techniques en terre crue (Fontaine et Anger, 2009).....23

Figure 5 Couplage hygrothermique de la terre crue (Chabriac, 2014).....26

Chapitre 2

Figure 6 Perte de transmission TL (en tube de Kundt) de quatre composites de terre allégée différentes sans et avec enduit en terre crue (Brouard, 2018).....46

Figure 7 Coefficient d'absorption (en tube de Kundt) de deux échantillons terre–chanvre avec la même formulation mais de masses volumiques différentes (compactage différent) (Lemeurs et al., 2016).....49

Figure 8 Coefficients d'absorption α Sabine (en tube de Kundt) de quatre composites de terre allégée différentes sans et avec enduit en terre crue. Fréquences entre 0Hz et 2000Hz (Brouard, 2018).....49

Figure 9 Coefficients d'absorption (en tube de Kundt) de terre–chanvre avec densités de 229, 306, 386, 517 et 821 $kg \cdot m^{-3}$ (Degrave-Lemeurs, Glé and Hellouin de Menibus, 2018).....50

Chapitre 3

Figure 10 Structure du chapitre – Caractérisation des ambiances.....53

Figure 11 Établissements scolaires étudiés (À Bouvron et Baulon une étude sensible a été réalisée).....56

Figure 12 Plan du bâtiment de maternelle et de cycle 1 de l'école de Bouvron.....57

Figure 13 Murs en terre et grotte en briques – ©Jean François Mollière.....57

Figure 14 Plan du nouveau bâtiment de l'école de Baulon et la bibliothèque. La classe 4 est utilisée comme salle polyvalente par la commune.....59

Figure 15 Mur de refend en torchis (classe) et mur en terre allégée (bibliothèque).....59

Figure 16 Plan du nouveau bâtiment de l'école de Fégréac.....60

Figure 17 Murs de refend en ossature bois et remplissage BTC (première photo © Le moniteur).....61

Figure 18 Plan du nouveau bâtiment de l'école de Mouais.....61

Figure 19 Murs en terre allégée et enduit terre sur supports bottes de paille.....62

Figure 20 Murs ossature bois et remplissage briques (deuxième photo © Lovel architecture).....62

Figure 21 Cas d'étude Grenoble.....64

Figure 22 L'avant et l'après de la finition de la salle.....64

Figure 23 Chantier Grenoble.....65

Figure 24 Cas d'études Barcelone.....65

Figure 25 L'avant et l'après de la finition de la salle.....66

Figure 26 Chantier Barcelone.....66

Figure 27 Essais de dosage....66
Figure 28 Distribution de l'énergie (Avilés López, et Perera Martín, 2017)....67
Figure 29 Courbe isosoniques (à gauche) et courbes de pondération (à droite)....68
Figure 30 Génération et distribution des bruits dans les bâtiments (Saint-Gobain 2016)....69
Figure 31 Transmission de l'énergie des bruits entre deux environnements....70
Figure 32 Local d'expérimentation pour calcul de R (Delebecque et Romagnoli, 1975)....71
Figure 33 Indice de réduction acoustique d'une paroi simple (Avilés López et Perera Martín, 2017)....73
Figure 34 Tracé qualitatif de l'isolement d'une double paroi en fonction de la fr (Zürcher et Thomas, 2014)..75
Figure 35 Comportement des sons (Saint-Gobain 2016)....77
Figure 36 Champ réverbérant (Avilés López et Perera Martín, 2017)....77
Figure 37 Durée de réverbération (Saint-Gobain 2016)....78
Figure 38 Phénomènes associés à la propagation du son. (Cox and D'Antonio. 2009)....79
Figure 39 Game d'efficacité - trois types de matériaux absorbants (DE SA et Horsin Molinaro, 2017)....80
Figure 40 Porosité ouverte (Hamayon, 2014)....81
Figure 41 Schéma membrane (Avilés López et Perera Martín, 2017)....81
Figure 42 Schéma résonateur (Hamayon, 2014, p.59)....82
Figure 43 Schéma du comportement du son par diffusion (Avilés López et Perera Martín, 2017)....83
Figure 44 Appréciation STI....84
Figure 45 Trajectoires de déplacement manuel NF EN ISO 16283-1....88
Figure 46 Mesures in situ réalisées sur les caractéristiques de la salle et les matériaux des surfaces....88
Figure 47 Schéma de la configuration de mesure avec la méthode impulsionnelle sous incidence normale (Benoit, 2013)....91
Figure 48 Modèle de source-image de la réflexion d'une onde sphérique sur un plan d'impédance (Lanoye et al., 2006)....92
Figure 49 Mesures pour la calibration....93
Figure 50 Exemple de mesure réalisée d'une parois terre-chanvre. Programme : Microflown Velo 5....94
Figure 51 Calcule du volume par Scanner 3D Hybride Shining 3D Einscan HX....95
Figure 52 Calibration des microphones de mesure avec la mousse de référence....96
Figure 53 Incorporation de pâte dans le périmètre de l'éprouvette pour assurer l'étanchéité (exemple)....96
Figure 54 Exemple de mesure de STI avec placement de la source et le sonomètre....97
Figure 55 Plan courant de la salle de classe et vue 3D – Bouvron....99
Figure 56 Photographies de la classe 7....99
Figure 57 Plan courant de la salle de classe et vue 3D – Baulon....100
Figure 58 Photographies de la classe 2, pas meublée....100
Figure 59 Modèles principaux de la recherche par méthodes mixtes (Schoonenboom et Johnson, 2017)...103
Figure 60 Modèles mixtes utilisés dans le cadre de cette thèse. Schémas inspirés de (Aldebert et Rouzies, 2010; Creswell et Plano Clark, 2011)....103
Figure 61 Techniques de collecte et analyse des données sensibles de cette thèse....104
Figure 62 Types d'outils et techniques de recueil des données quantitatives selon (Hernández Sampieri et al., 2014)....105
Figure 63 Possibles réponses fermées....106
Figure 64 Types d'outils et techniques de recueil des données qualitatives à partir de : (Bryman, 2012; Hernández Sampieri et al., 2014; Pegdwendé Sawadogo, 2020)....108

Figure 65 Types d'entretien selon la standardisation et la rigidité des questions et des réponses (Verd et Lozares, 2016).....109

Figure 66 Démarche de terrain de Thibaud (Thibaud, 2001).....111

Figure 67 Exemple des sons et bruits identifiés par les élèves (à gauche) et enregistrements de sons (à droite).....113

Figure 68 Enquête auprès des adultes – Établissements scolaires.....114

Figure 69 Questionnaire à destination des parents d'élèves des établissements scolaires.....115

Figure 70 Parties de l'enquête pour les élèves.....119

Figure 71 Exemples des disques de la roue proposés pour le Cycle 2 et 3 avec un premier disque pour noter l'activité ou la situation à analyser, un deuxième disque avec les émotions primaires et un troisième disque avec les émotions secondaires. Dans l'annexe 6.6.1 la roue pour la maternelle est présentée.....120

Figure 72 Boites noires utilisées pour le travail sur le toucher.....121

Figure 73 Fabrication du mobilier (à gauche) et exemple de personnages (à droite).....122

Figure 74 Activités des trois temps de travail sur l'ambiance sonore.....122

Figure 75 Émoticônes utilisés pour la recherche des mots.....123

Figure 76 Tableau récapitulatif sur les retours des élèves par rapport à l'ambiance sonore.....123

Figure 77 Dessins utilisés pour l'analyse du volume et la gêne. © Dessins : Sergi Miranda.....124

Figure 78 Échelle de gêne (Waye et al., 2013) © Dessins : Sergi Miranda.....125

Figure 79 Plan de l'école et gommettes à utiliser.....125

Figure 80 Activités et étapes réalisées.....127

Figure 81 Matériel utilisé pendant le parcours.....128

Figure 82 Techniques de collecte des données employées.....129

Figure 83 Questionnaire utilisé.....130

Figure 84 Protocole mis en place.....133

Figure 85 Profils des participants.....133

Chapitre 4

Figure 86 Isolation entre pièces à Bouvron.....141

Figure 87 Points du passage du son principalement remarqués.....141

Figure 88 Isolation entre pièces à Baulon.....141

Figure 89 Points du passage du son principalement remarqués.....142

Figure 90 Isolation entre pièces à Fégréac.....142

Figure 91 Points du passage du son principalement remarqués.....143

Figure 92 Valeurs d'isolement acoustique standardisé pondéré au bruit aérien (D_{nTA}) – Toutes les classes....143

Figure 93 Moyennes des temps de réverbération (calculées à partir du T30) des différentes classes mesurées – Bouvron. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure 146

Figure 94 Classe 3 (à gauche) et classe 2 (à droite) pendant la mesure.....146

Figure 95 État de parois de la bibliothèque sans et avec enduit.....148

Figure 96 MMoyennes des temps de réverbération (calculées à partir du T30) des différentes classes mesurées – Baulon. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure.....149

Figure 97 Moyennes des temps de réverbération (calculées à partir du T30) des différentes classes mesurées – Fégréac. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure.....150

Figure 98 Mobilier présent dans la classe 1 (à gauche) et la classe 2 (à droite).....150

Figure 99 Moyennes des temps de réverbération (calculées à partir du T30) des différentes classes mesurées

– Mouais. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure.....152
Figure 100 Classe 1 meublée (à gauche) et classe 2 meublée (à droite).....152
Figure 101 Moyenne du temps de réverbération (calculée à partir du T30) de la classe mesurée – Tréffieux. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure.....153
Figure 102 Valeurs d'intelligibilité à la parole - Speech transmission Index (STI) – Salles de classe de Bouvron..155
Figure 103 Valeurs d'intelligibilité à la parole - Speech transmission Index (STI) – Salles de classe de Baulon...156
Figure 104 Valeurs d'intelligibilité à la parole - Speech transmission Index (STI) – Salles de classe de Fégréac...157
Figure 105 Valeurs d'intelligibilité à la parole - Speech transmission Index (STI) – Salles de classe de Mouais...158
Figure 106 Les typologies de parois mesurées.....160
Figure 107 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique (moyenne) par tiers d'octave. Mur en terre (bauge) – Partie basse du mur avec finition.....161
Figure 108 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique (moyenne) par tiers d'octave. Mur en terre (bauge) – Partie haute du mur sans finition.....162
Figure 109 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique (moyenne) par tiers d'octave. Mur en terre et chanvre (torchis).....162
Figure 110 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique (moyenne) par tiers d'octave. Mur en terre-chanvre (terre allégée).....163
Figure 111 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique (moyenne) par tiers d'octave. Mur en brique de terre comprimée stabilisé à la chaux (BTC).....164
Figure 112 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique (moyenne) par tiers d'octave. Enduit terre sur support terre-paille.....164
Figure 113 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique (moyenne) par tiers d'octave. Enduit terre sur botte de paille.....165
Figure 114 Moyenne des coefficients d'absorption en incidence normale des différents types de parois en terre 166
Figure 115 Graphique de la distribution granulométrique des terres étudiées.....167
Figure 116 Fraction fine de la terre – classification.....168
Figure 117 Fibres utilisées (le chanvre et la paille ont été tamisés à 4mm).....169
Figure 118 Exemple de réalisation des éprouvettes avec trois finitions différentes.....170
Figure 119 Valeurs d'absorption du tube de Kundt.....170
Figure 120 Valeurs d'absorption du tube de Kundt avec 25% de fibres.....171
Figure 121 Valeurs d'absorption du tube de Kundt de la terre 3 avec de la paille.....171
Figure 122 Valeurs d'absorption du tube de Kundt avec 15% de fibres.....172
Figure 123 Comparatif entre valeurs à différentes densités, nature de terre et fibres par fréquences (graphique au-dessus). Analyse par bande de tiers d'octave des bandes où une différence a été observée.....173
Figure 124 Comparaison de l'aspect de surface des éprouvettes d'un même mélange. Terre 2 – 15%Lin...173
Figure 125 Exemple des valeurs d'absorption d'éprouvettes avec un même mélange (terre, fibre et eau). Terre 2 – 15%Lin.....173
Figure 126 Valeurs d'absorption acoustique des éprouvettes avec la terre 1 et 5% de fibres.....174
Figure 127 Valeurs d'absorption acoustique des éprouvettes avec la terre 2 et 5% de fibres.....174
Figure 128 Valeurs d'absorption acoustique des éprouvettes avec la terre 3 et 5% de fibres.....174
Figure 129 Valeurs d'absorption acoustique des éprouvettes avec la terre 1 et 15% de fibres.....175
Figure 130 Valeurs d'absorption acoustique des éprouvettes avec la terre 3 et 15% de fibres.....175
Figure 131 Valeurs d'absorption acoustique des éprouvettes avec la terre 1 et 25% de fibres.....175

Figure 132 Aspect de surfaces des éprouvettes de la terre 1 avec 25% de paille et 15% de paille.....176

Figure 133 Comparaison entre l'absorption plus élevée obtenue dans la mesure in situ (terre allégée) et l'absorption plus élevée de l'ensemble des éprouvettes testées dans le tube de Kundt (T1 50% Paille).....177

Figure 134 Aspect de surface de l'éprouvette de « Terre 1 50% Paille » (à gauche) et la terre allégée de la bibliothèque de Baulon (à droite).....177

Figure 135 Matériaux identifiés - Bouvron.....178

Figure 136 Temps de réverbération mesuré in situ et calculé sur CATT- Acoustic – Bouvron.....179

Figure 137 Matériaux identifiés – Baulon.....180

Figure 138 Temps de réverbération mesuré in situ et calculé sur CATT- Acoustic – Baulon.....181

Figure 139 Temps de réverbération (T30) calculé dans les simulations de CATT- Acoustique avec des valeurs du coefficient d'absorption in situ et dans le tube de Kundt – Bouvron.....182

Figure 140 Temps de réverbération (T30) calculé dans les simulations de CATT- Acoustique sans correction aux plafonds. Coefficient d'absorption plafond : <20 15 10 08 04 02>. Bouvron.....183

Figure 141 Temps de réverbération (T30) calculé dans les simulations de CATT- Acoustique avec des valeurs du coefficient d'absorption in situ et dans le tube de Kundt – Baulon.....184

Figure 142 Temps de réverbération (T30) calculé dans les simulations de CATT- Acoustique sans correction aux plafonds. Coefficient d'absorption plafond : <20 15 10 08 04 02>. Baulon.....184

Figure 143 Réponses des parents des élèves de Bouvron à la question : L'ambiance de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti). Programme utilisé : SPSS statistics.....187

Figure 144 Réponses des parents des élèves de Baulon à la question : L'ambiance de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti). Programme utilisé : SPSS statistics.....187

Figure 145 Retours de parents de Bouvron à la question : L'ambiance de votre logement/ de l'école / la classe de votre enfant vous paraît (du point de vue de votre ressenti). Selon les paramètres : La forme du bâtiment (architecture), les espaces intérieurs (aménagements), la lumière naturelle, la thermique (température) et l'acoustique (sons et bruits). Programme utilisé : SPSS statistics.....189

Figure 146 Retours de parents de Baulon à la question : L'ambiance de votre logement/ de l'école / la classe de votre enfant vous paraît (du point de vue de votre ressenti). Selon les paramètres : La forme du bâtiment (architecture), les espaces intérieurs (aménagements), la lumière naturelle, la thermique (température) et l'acoustique (sons et bruits) Programme utilisé : SPSS statistics.....190

Figure 147 Différences entre les jugements des parents de Bouvron sur l'ambiance ressentie à l'école et en classe en comparaison avec le jugement de l'ambiance de leurs logements.....190

Figure 148 Différences entre les jugements des parents de Baulon sur l'ambiance ressentie à l'école et en classe en comparaison avec le jugement de l'ambiance de leurs logements.....191

Figure 149 Synthèse des réponses des parents de l'école de Bouvron à la question : Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entrés à l'école ?.....191

Figure 150 Réponses des parents de Bouvron à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'école ?.....192

Figure 151 Synthèse des réponses des parents de l'école de Bouvron à la question : Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entrés dans la classe de votre enfant ?.....192

Figure 152 Réponses des parents de Bouvron à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à la classe de votre enfant ?.....193

Figure 153 Synthèse des réponses des parents de l'école de Baulon à la question : Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entrés à l'école ?.....193

Figure 154 Espaces de l'école de Baulon. Crédit photos : Collectif Faro.....194

Figure 155 Réponses des parents de l'école de Baulon à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'école ?.....194

Figure 156 Réponses des parents de l'école de Baulon à la question : Quelle est la première chose que vous

avez remarquée la première fois que vous êtes entrés dans la classe de votre enfant ?.....194

Figure 157 Réponses des parents de l'école de Baulon à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à la classe de votre enfant ?.....195

Figure 158 Réponses des travailleurs des écoles à la question : Par rapport aux tâches développées dans votre travail, êtes-vous d'accord avec les affirmations suivantes ?.....196

Figure 159 Réponses des travailleurs des écoles à la question : Comment priorisez-vous les différents environnements nommés ci-dessous pour le bon déroulement de votre travail - Environnement climatique : thermique / Environnement lumineux : éclairage / Environnement sonore : acoustique / Environnement spatial : aménagements. Programme utilisé : SPSS statistics.....197

Figure 160 Retours des travailleurs à la question : L'ambiance de votre logement/ de l'école / la classe de votre enfant vous paraît (du point de vue de votre ressenti).....200

Figure 161 Différences entre les jugements de l'ensemble des travailleurs sur l'ambiance sonore ressentie à l'école et dans la classe en comparaison avec le jugement de l'ambiance sonore de leurs logements.....201

Figure 162 Synthèse des réponses des travailleurs de l'école de Bouvron à la question : Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entré à l'école ?.....202

Figure 163 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'école ?.....202

Figure 164 Réponses des travailleurs de l'école de Baulon à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'école ?.....203

Figure 165 Réponses des travailleurs de l'école de Fégréac à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'école ?.....203

Figure 166 Réponses des travailleurs de l'école de Mouais à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à l'école ?.....203

Figure 167 Résumé des notions des réponses des travailleurs de l'école de Bouvron à la question : Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entré dans la classe ?.....203

Figure 168 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron à la question : Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à la classe ?.....204

Figure 169 Réponses des travailleurs de l'école de Baulon à la question : « Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à la classe ».....205

Figure 170 Réponses des travailleurs de l'école de Fégréac à la question : « Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à la classe » (Seulement la personne qui travaille dans le bâtiment avec de la terre crue).....205

Figure 171 Réponses des travailleurs de l'école de Mouais à la question : « Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit quand vous pensez à la classe ».....206

Figure 172 Synthèse des notions entre la ressenti et la présence de la terre des travailleurs de Bouvron. Question : « Pensez-vous que la présence de la terre crue contribue positivement à votre perception du lieu en général et de l'ambiance sonore en particulier (du point de vue de votre ressenti)? Si oui, comment expliqueriez-vous cela ? Si non, pourquoi ? ».....206

Figure 173 Exemples des cartes choisies par les élèves à présenter à ses camarades. Jeu de cartes « Le langage des émotions » composé de 69 cartes illustrant des émotions (fcppf, 2019).....210

Figure 174 Exemples des cartes choisies par les élèves à présenter à ses camarades. Jeu de cartes « L'expression des besoins » composé de 70 cartes besoins illustrées (fcppf, 2019).....210

Figure 175 Boites noires, parcours sensoriel et odorat à Bouvron.....211

Figure 176 À gauche fabrication du mur en terre dans l'école de Baulon et à droite l'état final de la maquette de la classe de CE1 de Bouvron avec les meubles, certaines affiches, les élèves et l'enseignant.....213

Figure 177 Mots pour évaluer l'ambiance sonore de la classe de CP.....214

Figure 178 Mots pour évaluer l'ambiance sonore de la classe de CE1.....214

Figure 179 Retours des élèves sur la perception sonore de la classe selon les situations de vie décrites dans la Figure 76.....215

Figure 180 Dessins des situations dans l'école (à gauche) et dessins d'autres sources sonores externes à l'école (à droite).....216

Figure 181 Travail avec les classes au complet sur les échelles de décibels et de gêne (Bouvron et Baulon)...216

Figure 182 Appréciations de l'ensemble des élèves de maternelle de l'école de Bouvron. Échelle gêne....218

Figure 183 Bruits et sons identifiés dans la vie de l'école et de classe (à gauche travail de la classe de CE1 et à droite de la classe de CP) – Bouvron.....218

Figure 184 Exemple du travail d'identification des sons et bruits en fonction d'un moment de vie de classe à Baulon.....219

Figure 185 Catégories identifiées des bruits générés par les usagers.....219

Figure 186 Exemples des évènements sonores représentés.....219

Figure 187 Exemples des différents modes de représentation utilisés.....220

Figure 188 Appréciations des espaces de l'école des enfants de Bouvron par rapport à l'ambiance sonore...221

Figure 189 Synthèse des catégories des sons et des bruits identifiés.....222

Figure 190 Exemple du procédé des sons enregistrés.....222

Figure 191 Moments de vie de classe identifiés.....223

Figure 192 Composition d'un moment de vie de classe dans la maquette (exemple : toute la classe en travail individuel - Classe de CE1).....223

Figure 193 Affiche des sons sur le tableau de classe et exemple d'association d'une cible.....224

Figure 194 Installation de l'interface d'utilisateur tangible avec caméra pour identification des cibles.....224

Figure 195 Emplacement des sons et des bruits des deux classes de Baulon.....226

Figure 196 Emplacement des sons et des bruits des quatre classes de Bouvron.....226

Figure 197 Disposition des appareils d'écouté spatialisée (à gauche), la classe de Baulon pendant l'écouté (à droite).....227

Figure 198 Mots employés par les enfants au toucher de la terre.....229

Figure 199 Sources sonores nommées par les enfants pendant les parcours commentés.....231

Figure 200 Synthèse des endroits préférés des élèves suite à la balade dans l'école.....232

Figure 201 Exemples des endroits préférés des enfants (dessins-décoration, salle de motricité et bibliothèque).....232

Figure 202 Synthèse des endroits moins appréciés des élèves suite à la balade dans l'école.....233

Figure 203 Exemples des endroits moins appréciés par les enfants (SAS d'entrée – froid, SAS d'entrée – bruit dehors et le mur en terre car ça gratte).....233

Figure 204 Synthèse des réponses des parents de l'école de Baulon à la question : « Quels mots utilisent couramment votre enfant pour exprimer sa perception (du point de vue de son ressenti) de l'école ? / de sa classe ».....234

Chapitre 5

Figure 205 Une architecture devenu fade – Comparaison d'une architecture vernaculaire (à gauche) et un lotissement à Saint Herblain (44) (à droite).....237

Figure 206 T30 de salles d'expérimentation de Grenoble et Barcelona avec et sans terre crue. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure.....240

Figure 207 Valeurs d'intelligibilité à la parole - Speech transmission Index (STI) – Grenoble.....241

Figure 209 Valeurs d'intelligibilité à la parole - Speech transmission Index (STI) – Barcelone.....242

Figure 209 Zone de confort hygrothermique (Sulaiman et Olsina, 2014).....243

Figure 210 Question : Du point de vue de votre ressenti, l'ambiance de la salle vous paraît. Retours de participants à Grenoble (ST : Sans terre crue ; AT : Avec terre crue).....245

Figure 211 Question : Du point de vue de votre ressenti, l'ambiance de la salle vous paraît. Retours de participants à Barcelone (ST : Sans terre crue ; AT : Avec terre crue).....246

Figure 212 Question : De tous les éléments signalés dans la question précédente « quelle ambiance vous a le plus marqué / surpris positivement/ négativement dans la salle ? (ST : Sans terre crue ; AT : Avec terre crue)...246

Figure 213 Question : Du point de vue de votre ressenti, l'ambiance de la salle vous paraît. Retours de participants à Barcelone (ST : Sans terre crue ; AT : Avec terre crue).....247

Figure 214 Retour des participants sur la question : « Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit après ce moment dans la salle » - Grenoble.....248

Figure 215 Retour des participants sur la question : « Notez 5 mots qui vous viennent à l'esprit après ce moment dans la salle » - Barcelone.....249

Figure 216 Synthèse des notions abordées par les participants de Barcelone sur la question : Comment définiriez-vous l'ambiance générale / le ressenti de cette salle ? Décrivez les environnements / ambiances générales qui caractérisent cette salle ? Qu'est-ce qu'on ressent ?.....251

Figure 217 Synthèse des notions abordées par les participants du profil 3 et 2 de Barcelone sur la question : Comment définiriez-vous l'ambiance générale / le ressenti de cette salle ? Décrivez les environnements / ambiances générales qui caractérisent cette salle ? Qu'est-ce qu'on ressent ?.....252

Figure 218 Synthèse des notions abordées par les participants en réponse à : « Pensez-vous que la présence de la terre crue contribue à votre perception du lieu général (du point de vue de votre ressenti) ? Si oui, comment expliquez-vous cela ? Si non, pourquoi ? ». Grenoble.....256

Figure 219 Synthèse des notions abordées par les participants en réponse à : « Pensez-vous que la présence de la terre crue contribue à votre perception du lieu général (du point de vue de votre ressenti) ? Si oui, comment expliquez-vous cela ? Si non, pourquoi ? ». Barcelone.....256

Figure 220 Retours de participants de Grenoble à la question : D'après vous, quels sont les sens les plus stimulés en étant dans la salle ? Note : première position seulement.....257

Figure 221 Retours de participants de Barcelone à la question : D'après vous, quels sont les sens les plus stimulés en étant dans la salle ?.....257

Figure 222 Traçage des mouvements des tous les participants de Grenoble.....265

Figure 223 Traçage des mouvements des tous les participants de Barcelone.....265

Figure 224 Traçage des mouvements des participants du profil 2.....266

Figure 225 Question : Du point de vue de votre ressenti, l'ambiance de la salle vous paraît. Retours des participants sur l'ambiance thermique (température et humidité) – Barcelone (à gauche) et Grenoble (à droite). Note : ST : Sans terre crue ; AT : Avec terre crue.....268

Figure 226 Question : Du point de vue de votre ressenti, l'ambiance de la salle vous paraît. Retours des participants sur l'ambiance thermique (température et humidité) – Profils 3 et 5 à Barcelone.....268

Figure 227 Retours sur la température des participants des profils 3 et 5 à Barcelone.....267

Figure 228 Température et humidité relatives mesurées à Barcelone (région hygrothermique - confort humain).....269

Figure 229 Question : Du point de vue de votre ressenti, l'ambiance de la salle vous paraît. Retours des participants sur l'ambiance sonore – Barcelone (à gauche) et Grenoble (à droite). Note : ST : Sans terre crue ; AT : Avec terre crue.....271

Figure 230 Question : Du point de vue de votre ressenti, l'ambiance de la salle vous paraît. Retours des participants du profil 3 sur l'ambiance sonore – Barcelone (à gauche) et Grenoble (à droite). Note : ST : Sans terre crue ; AT : Avec terre crue.....271

Figure 231 Mise en œuvre Grenoble (briques) et Barcelone (enduit).....273

Chapitre 6

Figure 232 Facteurs déterminants par rapport à la terre crue....282

Figure 233 Rapports sensibles à la terre crue....284

Figure 234 Traits significatifs identifiés dans la construction des ambiances sonores perçues et vécus par les usagers....285

ANNEXES

Annexe 1

Figure 235 Niveaux de puissance acoustique maximum sur 1/3 d'octave pour l'OmniPower avec un générateur de puissance de type 2716....313

Figure 236 Source omnidirectionnelle utilisée....313

Figure 237 Directivité pour OmniPower selon la norme ISO 140 : écart maximal de la moyenne pour un arc de 30° «glissant». Les courbes supérieures et inférieures sont les tolérances ISO140....313

Figure 238 Directivité pour OmniPower selon la norme ISO3382 : déviation maximale de la moyenne pour un arc de 30° «glissant». Les courbes supérieures et inférieures sont les tolérances ISO3382....314

Figure 239 Amplificateur....314

Figure 240 Réponse en fréquence typique du microphone....314

Figure 241 Sonomètre de classe 1 - BEDROCK SM90.....315

Figure 242 Source calibrée Talkbox BTB65....315

Figure 243 Zoom H5....316

Figure 244 Source et sonde PU....316

Figure 245 Tube de Kundt – EPSEB-UPC....317

Figure 246 HOBO temp/RH logger » de ONSET. Source : ONSET....318

Annexe 2

Figure 247 Unity Hub - Installs....322

Figure 248 Unity Hub - Add Unity version....322

Figure 249 Unity Hub - Add modules....322

Figure 250 Unity Hub - Liste de Projets....323

Figure 251 Unity Editor....323

Figure 252 Positionnement des encientes (à gauche) et Subwoofer (à droite)....325

Figure 253 Ampli Yamaha – Branchement....325

Figure 254 Carte son AUREON XFire 8.0 HD – Branchement....325

Figure 255 Dossier Scènes....326

Figure 256 Audio Listener....327

Figure 257 Audio Source....327

Figure 258 Fenêtre - Audio Mixers....327

Figure 259 Fenêtre - Audio Reverb Zone....328

Figure 260 Fenêtre Animation....329

Figure 261 Fenêtre Animator....329

Figure 262 Fenêtre - Play Menu....330

Figure 263 Fenêtre - Object Parameter....330

Figure 264 Fenêtre - Object List Handler....331

Figure 265 Fenêtre – Save Slot....331

Figure 266 Fenêtre – Save Manager....332
Figure 267 Fenêtre – Sound Calibration....332
Figure 268 Fenêtre – Sound List Handler....332
Figure 269 Fenêtre – Configuration Menu (Script)....333
Figure 270 Fenêtre – Options Menu (Script)....333
Figure 271 Fenêtre – Sound Manager (Script)....335
Figure 272 Fenêtre – Height Adapter (Script)....336
Figure 273 Fenêtre – Drag Object (Script)....336
Figure 274 Fenêtre – Rotation (Script)....336
Figure 275 Fenêtre – Third Person Movement (Script)....337
Figure 276 Fenêtre – Pause Menu (Script)....337
Figure 277 Fenêtre – Change Listener (Script)....337
Figure 278 Fenêtre – Library (Script)....338
Figure 279 Réglage de cible – Objet Parameter....339
Figure 280 Ligne de sauvegarde – Save Slot....339
Figure 281 Ligne de son et sa réduction – Sound Calibration....340
Figure 282 Personnage – Audio Listener....340
Figure 283 Cube Sound....341
Figure 284 Cibles utilisés....342
Figure 285 Fenêtre – Menu principal....342
Figure 286 Fenêtre – Menu Option....343
Figure 287 Fenêtre – Menu Sons....343
Figure 288 Fenêtre – Menu Sons (emplacement)....344
Figure 289 Fenêtre – Menu Calibration....344
Figure 290 Fenêtre – Menu Configuration....345
Figure 291 Fenêtre – Mode 3D....346
Figure 292 Fenêtre – Mode HR....347
Figure 293 Fenêtre – Mode AR....347

Annexe 3

Figure 294 Plans 3D et photographies de la classe étudiée – Bouvron....362
Figure 295 Positions des sources et des points de mesure – CLASSE 3....363
Figure 296 Pendant la mesure – Signal MLS - CLASSE 3....363
Figure 297 Ensemble des points mesure du Tr – Signal MLS – CLASSE 3....364
Figure 298 Positions des sources et des points de mesure – Méthode du bruit interrompu - CLASSE 3....365
Figure 299 Ensemble des points mesurés du Tr - Méthode du bruit interrompu – CLASSE 3....365
Figure 300 EDT Bouvron – Moyennes. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure....366
Figure 301 EDT Baulon – Moyennes. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure....367
Figure 302 EDT Fégréac – Moyennes. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure....368
Figure 303 EDT Mouais – Moyennes. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents

points de mesure....369

Figure 304 EDT Treffieux – Moyennes. Les barres d'erreur représentent l'écart type standard entre les différents points de mesure....369

Figure 305 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique par fréquence et photographies de la mesure. Mur en bauge (partie basse) – Bouvron....382

Figure 306 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus par fréquence. Mur bauge (partie basse) – Bouvron....382

Figure 307 Comparatif entre la valeur moyenne d'absorption en incidence normale et en champs diffus. Mur en bauge (partie basse) – Bouvron....383

Figure 308 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique par fréquence et photographies de la mesure. Mur en bauge (partie haute) – Bouvron....383

Figure 309 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus par fréquence. Mur en bauge (partie haute) – Bouvron....384

Figure 310 Comparatif entre la valeur moyenne d'absorption en incidence normale et en champs diffus. Mur en bauge (partie haute) – Bouvron....384

Figure 311 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique par fréquence et photographies de la mesure. Mur en terre et chanvre (torchis) – Baulon....385

Figure 312 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus par fréquence. Mur en terre et chanvre (torchis) – Baulon....385

Figure 313 Comparatif entre la valeur moyenne d'absorption en incidence normale et en champs diffus. Mur en terre et chanvre (torchis) – Baulon....386

Figure 314 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique par fréquence et photographies de la mesure. Mur en terre et chanvre (terre allégée) – Baulon....386

Figure 315 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus par fréquence. Mur en terre et chanvre (terre allégée) – Baulon....387

Figure 316 Comparatif entre la valeur moyenne d'absorption en incidence normale et en champs diffus. Mur en terre et chanvre (terre allégée) – Baulon....387

Figure 317 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique par fréquence et photographies de la mesure. Mur en brique de terre crue stabilisé à la chaux (BTC) - Fégréac....388

Figure 318 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus par fréquence. Mur en brique de terre crue stabilisé à la chaux (BTC) - Fégréac....388

Figure 319 Comparatif entre la valeur moyenne d'absorption en incidence normale et en champs diffus Mur en brique de terre crue stabilisé à la chaux (BTC) - Fégréac....389

Figure 320 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique par fréquence et photographies de la mesure. Enduit terre sur support terre-paille – Mouais....389

Figure 321 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus par fréquence. Enduit terre sur support terre-paille – Mouais....390

Figure 322 Comparatif entre la valeur moyenne d'absorption en incidence normale et en champs diffus Enduit terre sur support terre-paille – Mouais....390

Figure 323 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique par fréquence et photographies de la mesure. Enduit terre sur bottes de paille – Mouais....391

Figure 324 Mesures in situ du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus par fréquence. Enduit terre sur bottes de paille – Mouais....391

Figure 325 Comparatif entre la valeur moyenne d'absorption en incidence normale et en champs diffus. Enduit terre sur bottes de paille – Mouais....391

Annexe 4

Figure 326 Diffraction des rayons X. Terre 1 - Baulon....396

Figure 327 Diffraction des rayons X. Terre 3 – Baulon....396
Figure 328 Diffraction des rayons X. Terre 2 – Bouvron....396
Figure 329 Coefficient d'absorption - Terre 1 - Chanvre....398
Figure 330 Exemple des échantillons, Terre 1- Chanvre....399
Figure 331 Coefficient d'absorption - Terre 1- Paille....401
Figure 332 Exemple des échantillons, Terre 1- Paille....402
Figure 333 Coefficient d'absorption - Terre 1- Lin....404
Figure 334 Exemple des échantillons, Terre 1- Lin....405
Figure 335 Coefficient d'absorption - Terre 2 – Chanvre....407
Figure 336 Exemple des échantillons, Terre 2 – Chanvre....408
Figure 337 Coefficient d'absorption - Terre 2 – Paille....409
Figure 338 Exemple des échantillons, Terre 2 – Paille....410
Figure 339 Coefficient d'absorption - Terre 2 - Lin....411
Figure 340 Exemple des échantillons, Terre 2 – Lin....412
Figure 341 Coefficient d'absorption - Terre 3 - Chanvre....413
Figure 342 Exemple des échantillons, Terre 3 – Chanvre....414
Figure 343 Coefficient d'absorption - Terre 3 – Paille....416
Figure 344 Exemple des échantillons, Terre 3 – Paille....417
Figure 345 Coefficient d'absorption - Terre 3 – Lin....419
Figure 346 Exemple des échantillons, Terre 3- Lin....420

Annexe 7

Figure 347 Différences entre les jugements des travailleurs de Bouvron sur l'ambiance ressenti à l'école et à la classe en comparaison avec le jugement de l'ambiance de leurs logements....467

Figure 348 Différences entre les jugements des travailleurs de Baulon sur l'ambiance ressenti à l'école et à la classe en comparaison avec le jugement de l'ambiance de leurs logements....467

Figure 349 Différences entre les jugements des travailleurs de Fégréac sur l'ambiance ressenti à l'école et à la classe en comparaison avec le jugement de l'ambiance de leurs logements....468

Figure 350 Différences entre les jugements des travailleurs de Mouais sur l'ambiance ressenti à l'école et à la classe en comparaison avec le jugement de l'ambiance de leurs logements....468

Annexe 8

Figure 351 Exemple du résume fourni aux parents sur le travail développé autour de la maquette....478
Figure 352 Exemple du placement des images dans « l'échelle du bruit »....486
Figure 353 Exemple du placement des images dans « l'échelle de gêne»....490
Figure 354 Parties du zoom H5 Handy Recorder....493
Figure 355 Branchement des micros (à gauche) et calibreur (à droite)....493
Figure 356 Parties du menu....494
Figure 357 Positionnement des deux microphones des mesures....495

Indice Tableaux

Chapitre 2

Tableau 1 Sources bibliographiques sur l'acoustique de la terre crue....43

Tableau 2 Résumé des données sur l'isolation acoustique....45

Tableau 3 Références bibliographiques sur l'acoustique interne....48

Chapitre 3

Tableau 4 Appréciation subjective de la réduction du niveau sonore (dB) (Reardon and Australian Greenhouse Office, 2010)....68

Tableau 5 Fréquences de modulation pour le STI en tiers d'octave (Jácome González, 2017, p. 22)....84

Tableau 6 «L'isolement acoustique standardisé pondéré DnT,A (dB) » Source JO du 28/05/2003 page 9102 - L'isolement acoustique entre locaux (établissements autres que les écoles maternelles)....86

Tableau 7 «L'isolement acoustique standardisé pondéré DnT,A (dB) » Source JO du 28/05/2003 page 9102 - L'isolement acoustique entre locaux (écoles maternelles)....87

Tableau 8 Nombre minimal de positions et de mesurage NF EN ISO 3382-2 : 2008....90

Tableau 9 Nature et surfaces des matériaux de la classe 7- Bouvron....99

Tableau 10 Nature et surfaces des matériaux de la classe 7- Bouvron....101

Tableau 11 Enregistrements pour les travaux d'écoute....123

Chapitre 4

Tableau 12 Ensemble des mesures analysées au cours de ce chapitre....136

Tableau 13 L_{Aeq} en dB par bande d'octave, valeurs globales et L_{nAT} – Bourvon (bruit de fond)....138

Tableau 14 L_{Aeq} en dB par bande d'octave, valeurs globales et L_{nAT} – Baulon (bruit de fond)....139

Tableau 15 L_{Aeq} en dB par bande d'octave, valeurs globales et L_{nAT} – Fégréac (bruit de fond)....139

Tableau 16 L_{Aeq} en dB par bande d'octave, valeurs globales et L_{nAT} - Mouais (bruit de fond)....140

Tableau 17 Distance minimale pour les mesures du temps de réverbération (T30) – Bouvron....145

Tableau 18 Information sur les conditions de la mesure du temps de réverbération – Bouvron....145

Tableau 19 Moyennes des temps de réverbération (calculées à partir du T30) des différentes classes mesurées – Bouvron. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce....146

Tableau 20 Distance minimale pour les mesures du temps de réverbération (T30) – Baulon....147

Tableau 21 Information sur les conditions de la mesure du temps de réverbération - Baulon....147

Tableau 22 Moyennes des temps de réverbération (calculées à partir du T30) des différentes classes mesurées – Baulon. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce....148

Tableau 23 Distance minimale pour les mesures du temps de réverbération (T30) – Fégréac....149

Tableau 24 Information sur les conditions de la mesure du temps de réverbération – Fégréac....149

Tableau 25 Moyennes des temps de réverbération (calculées à partir du T30) des différentes classes mesurées – Fégréac. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce....150

Tableau 26 Distance minimale pour les mesures du temps de réverbération (T30) – Mouais....151

Tableau 27 Information sur les conditions de la mesure du temps de réverbération – Mouais.....151

Tableau 28 Moyennes des temps de réverbération (calculées à partir du T30) des différentes classes mesurées – Mouais. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce.....152

Tableau 29 Distance minimale pour la mesure du temps de réverbération (T30) – Teffieux.....153

Tableau 30 Information sur les conditions de la mesure du temps de réverbération – Tréffieux.....153

Tableau 31 Moyenne du temps de réverbération (calculée à partir du T30) de la classe mesurée – Tréffieux. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce.....153

Tableau 32 Éléments de la fluorescence de chaque terre (voir l'annexe 4.2).....167

Tableau 33 Éléments et pourcentages de chaque terre - diffraction de rayons X (voir l'annexe 4.2).....168

Tableau 34 Résultats des limites d'attenberg.....168

Tableau 35 Proportions des fibres des échantillons.....169

Tableau 36 Coefficients d'absorption utilisés (voir l'Annexe 5 pour plus de détail) – Bouvron.....178

Tableau 37 Coefficients d'absorption utilisés (voir l'Annexe 5 pour plus de détails) – Baulon.....180

Tableau 38 Convergence entre les réponses des parents de Bouvron à la question : l'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et la situation de votre logement.....188

Tableau 39 Convergence entre les réponses des parents de Baulon à la question : l'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et la situation de votre logement.....188

Tableau 40 Travailleurs par école et pourcentage des retours aux questionnaires.....195

Tableau 41 Réponses des travailleurs des écoles à la question : Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entré à l'école ?.....202

Tableau 42 Réponses des travailleurs des écoles à la question : Quelle est la première chose que vous avez remarquée la première fois que vous êtes entré dans la classe ?.....205

Chapitre 5

Tableau 43 Profils des participants de Grenoble.....238

Tableau 44 Profils des participants de Barcelone.....239

Tableau 45 T30 de salles d'expérimentation de Grenoble et Barcelona avec et sans terre crue par bande d'octave. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce.....240

Tableau 46 Bruit de fond pris en compte pendant la mesure de STI – Grenoble.....241

Tableau 47 Bruit de fond pris en compte pendant la mesure de STI – Barcelone.....241

Tableau 48 Recueil des températures et humidités enregistrés, (Id= participant, G = Grenoble et B = Barcelone). En vert les valeurs les plus hautes et en rouge les valeurs les plus basses. Les flèches montrent s'il y a eu des montées ou des descentes par rapport à la première expérience.....244

ANNEXES

Annexe 3

Tableau 49 EDT Bouvron. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce.....366

Tableau 50 EDT Baulon. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce 367

Tableau 51 EDT Fégréac. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce 368

Tableau 52 EDT Mouais. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce 368

Tableau 53 EDT Tréffieux. L'écart type correspond à la différence entre les points de mesure d'une même pièce 369

Tableau 54 Informations sur la pièce mesurée, les parties du mur et la vitesse du son de la mesure (en fonction de la température, de l'humidité relative et de la pression atmosphérique de la pièce) - Bouvron.....382

Tableau 55 Informations sur la pièce mesurée, les parties du mur et la vitesse du son de la mesure (en fonction de la température, de l'humidité relative et de la pression atmosphérique de la pièce) – Baulon.....384

Tableau 56 Informations sur la pièce mesurée, les parties du mur et la vitesse du son de la mesure (en fonction de la température, de l'humidité relative et de la pression atmosphérique de la pièce).....387

Tableau 57 Informations sur la pièce mesurée, les parties du mur et la vitesse du son de la mesure (en fonction de la température, de l'humidité relative et de la pression atmosphérique de la pièce).....389

Annexe 4

Tableau 58 Densités moyennes (kg/m^3) et écarts types des éprouvettes avec du chanvre.....397

Tableau 59 Densités moyennes (kg/m^3) et écarts types des éprouvettes avec de la paille.....397

Tableau 60 Densités moyennes (kg/m^3) et écarts types des éprouvettes avec du lin.....397

Annexe 7

Tableau 61 Question 5.1 Votre logement est situé – Réponse des parents de Bouvron (par famille).....443

Tableau 62 Question 5.1 Votre logement est situé – Réponse des parents de Baulon.....443

Tableau 63 Question 5.2 Autour de votre logement il y a – Réponse des parents de Bouvron (par famille)...443

Tableau 64 Question 5.2 Autour de votre logement il y a – Réponse des parents de Baulon.....443

Tableau 65 Question 5.3 Votre logement est (type d'habitat) - Réponse des parents de Bouvron (par famille)...444

Tableau 66 Question 5.3 Votre logement est (type d'habitat) - Réponse des parents de Baulon.....444

Tableau 67 Question 5.7 Connaissez-vous les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement* ? - Réponse des parents de Bouvron (par famille).....444

Tableau 68 Question 5.7 Connaissez-vous les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement* ? - Réponse des parents de Baulon.....444

Tableau 69 Question 5.8 Les finitions intérieures des murs et sols de votre logement sont principalement* : -Réponse des parents de Bouvron (par famille).....445

Tableau 70 Question 5.8 Les finitions intérieures des murs et sols de votre logement sont principalement* : - Réponse des parents de Baulon.....445

Tableau 71 Convergence entre les réponses des parents de Bouvron entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et votre logement est (type d'habitat)...446

Tableau 72 Convergence entre les réponses des parents de Baulon entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et votre logement est (type d'habitat).....446

Tableau 73 Convergence entre les réponses des parents de Bouvron entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement.....447

Tableau 74 Convergence entre les réponses des parents de Baulon entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement.....447

Tableau 75 Convergence entre les réponses des parents de Bouvron entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement.....448

Tableau 76 Convergence entre les réponses des parents de Baulon entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et les finitions utilisés de votre logement...448

Tableau 77 Réponses des parents de l'école de Bouvron sur l'ambiance de leur logement, l'école et la classe (du point de vue de leur ressenti).....450

Tableau 78 Réponses des parents de l'école de Baulon sur l'ambiance de leur logement, l'école et la classe (du point de vue de leur ressenti).....451

Tableau 79 Réponses des parents de l'école de Baulon sur les mots utilisés couramment leurs enfants pour exprimer sa perception (du point de vue de son ressenti) de l'école et la classe. 99= pas de réponse.....452

Tableau 80 Convergence entre les réponses des travailleurs de Bouvron à la question : Par rapport aux tâches développées dans votre travail, êtes-vous d'accord avec les affirmations suivantes? et leurs poste de travail dans l'école.....453

Tableau 81 Convergence entre les réponses des travailleurs de Baulon à la question : Par rapport aux tâches développées dans votre travail, êtes-vous d'accord avec les affirmations suivantes? et leurs poste de travail dans l'école.....454

Tableau 82 Convergence entre les réponses des travailleurs de Fégréac à la question : Par rapport aux tâches développées dans votre travail, êtes-vous d'accord avec les affirmations suivantes? et leurs poste de travail dans l'école.....455

Tableau 83 Convergence entre les réponses des travailleurs de Mouais à la question : Par rapport aux tâches développées dans votre travail, êtes-vous d'accord avec les affirmations suivantes? et leurs poste de travail dans l'école.....456

Tableau 84 Retours des travailleurs des écoles à la question : Quel est le besoin le plus important pour le bon déroulement de vos tâches ?.....457

Tableau 85 Question 3.1 Votre logement est situé – Réponses des travailleurs.....458

Tableau 86 Question 3.2 Autour de votre logement il y a – Réponses des travailleurs.....459

Tableau 87 Question 3.4 Votre logement est (type d'habitat) : – Réponses des travailleurs.....459

Tableau 88 Question 3.9 Connaissez-vous les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement* ? Réponses des travailleurs.....460

Tableau 89 Question 3.10 Les finitions intérieures des murs et sols de votre logement sont principalement* : Réponses des travailleurs.....460

Tableau 90 Convergence entre les réponses des travailleurs entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et votre logement est (type d'habitat).....461

Tableau 91 Convergence entre les réponses des travailleurs entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et les matériaux utilisés dans les murs des façades de votre logement.....462

Tableau 92 Convergence entre les réponses des travailleurs entre la question : L'ambiance sonore de votre logement vous paraît (du point de vue de votre ressenti) et les finitions utilisés de votre logement.....463

Tableau 93 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron sur l'ambiance de leur logement, l'école et la classe (du point de vue de leur ressenti).....464

Tableau 94 Réponses des travailleurs de l'école de Baulon sur l'ambiance de leur logement, l'école et la classe (du point de vue de leur ressenti).....465

Tableau 95 Réponses des travailleurs de l'école de Fégréac sur l'ambiance de leur logement, l'école et la classe (du point de vue de leur ressenti).....465

Tableau 96 Réponses des travailleurs de l'école de Mouais sur l'ambiance de leur logement, l'école et la classe (du point de vue de leur ressenti).....466

Tableau 97 Retours des travailleur à la question : Quelle est votre impression générale de l'école? Que ressentez-vous ? Tentez de le décrire brièvement (du point de vue de votre ressenti).....469

Tableau 98 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : Par rapport à l'acoustique de l'école avez-vous remarqué un effet particulier ? Si oui, quoi ? Si non, pourquoi ?.....470

Tableau 99 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : Par rapport à l'acoustique de votre classe avez-vous remarqué un effet particulier ? Si oui, quoi ? Si non, pourquoi ?.....470

Tableau 100 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : Pensez-vous que l'école a une bonne acoustique (vous avez un bon ressenti) ? Si oui, pourquoi ? Si non, pourquoi ?.....471

Tableau 101 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : Pensez-vous que votre classe a une bonne acoustique (vous avez un bon ressenti) ? Si oui, pourquoi ? Si non, pourquoi ?.....471

Tableau 102 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : La classe est bien isolée des bruits extérieurs du bâtiment (du trafic, de la rue, etc.) ? Si oui, pourquoi ? Si non, pourquoi ?.....472

Tableau 103 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : La classe est bien isolée des bruits intérieurs, externes à votre classe ? Si oui, pourquoi ? Si non, pourquoi ?.....472

Tableau 104 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : Êtes-vous obligé de forcer la voix ? Si oui, dans quelles situations ?.....473

Tableau 105 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : Percevez-vous un effet de réverbération (écho) dans votre classe ? Si oui, comment le décririez-vous ?.....473

Tableau 106 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : Pensez-vous que la présence de la terre crue contribue positivement à votre perception du lieu en général (du point de vue de votre ressenti)? Si oui, comment expliqueriez-vous cela ? Si non, pourquoi ?.....474

Tableau 107 Réponses des travailleurs de l'école de Bouvron et Baulon à la question : Pensez-vous que la présence de la terre crue contribue positivement à votre perception de l'ambiance sonore (du point de vue de votre ressenti)? Si oui, comment expliqueriez-vous cela ? Si non, pourquoi ?.....474

Tableau 108 Résumé des réponses des travailleurs de l'école de Bouvron à la question : Pour les activités de la question précédente 7.2, désignez les sources de bruit qui vous gênent le plus pour développer votre activité ainsi que leur fréquence et leur volume sonore.....475

Tableau 109 Résumé des réponses des travailleurs de l'école de Baulon à la question : Pour les activités de la question précédente 7.2, désignez les sources de bruit qui vous gênent le plus pour développer votre activité ainsi que leur fréquence et leur volume sonore.....476

Tableau 110 Résumé des réponses des travailleurs de l'école de Bouvron à la question : Désignez les sources de bruit qui vous gênent le plus pour développer votre activité de transmission de la parole dans la classe ou l'espace de travail ainsi que leur fréquence et leur volume sonore (* si vous êtes enseignant, ATSEM, AESH ou si pour le développement de votre activité vous avez besoin de la parole).....476

Annexe 8

Tableau 111 Retours sur l'évaluation du volum sonore des 8 images des élèves de Bouvron.....484

Tableau 112 Retours sur l'évaluation du volum sonore des 8 images des élèves de Baulon.....485

Tableau 113 Retours sur l'évaluation de la gêne des 8 images des élèves de Bouvron.....488

Tableau 114 Retours sur l'évaluation de la gêne des 8 images des élèves de Baulon.....489

Tableau 115 Liste des sons enregistrés avec les enfants et enseignants dans l'école de Bouvron et Baulon...492

Annexe 9

Tableau 116 Participants à Grenoble.....498

Tableau 117 Participants à Barcelone.....499

Acronymes

Acronymes organismes

EPSEB : l'École Polytechnique Supérieure d'édification de Barcelone.

Laboratoire AAU : Ambiances Architectures Urbanités.

Laboratoire MAST-GPEM : Granulats et procédés d'élaboration des matériaux.

fcppf : Fédération des centres pluralistes de planning familial ASBL.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé .

ONU : Organisation des Nations unies.

UNESCO : Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture.

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change.

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

CNB : Conseil national du bruit.

Acronymes terre crue et bâtiment

BTC Briques de terres compressées.

BTP : Bâtiment et Travaux Publics.

COV : composés organiques volatils.

Acronymes école

ATSEM : Agent territorial spécialisé des écoles maternelles.

AESH : Accompagnant des élèves en situation de handicap.

Classe CP : Cours préparatoire. Première classe de l'école élémentaire française.

Classe CE1 : Le cours élémentaire 1re année. La deuxième classe de l'école élémentaire française.

Classe CE2 : Le cours élémentaire 2e année. La troisième classe de l'école élémentaire française.

Classe CM 1 : Le cours moyen 1re année du cycle 3.

Classe CM 2 : Le cours moyen 2e année du cycle 3.

EPAT : association pour une École Publique à Treffieux).

Acronymes questionnaires et entretiens

Id : Identifiant de la personne questionnée ou interviewée.

Id.A : Réponse des interviewé architectes.

Id.M : Réponse de maitrise d'ouvrage.

Id.E. : réponse des enseignants.

Titre : La terre crue à l'épreuve des ambiances sonores. Un dialogue entre la mesure physique et les expériences sensibles.

Mots clés : terre crue, architecture, ambiances, ambiances sonores, acoustique, sensible.

Résumé : La terre crue présente des valeurs environnementales fortes, notamment une faible énergie grise, une réduction des émissions de gaz à effet de serre et une réversibilité infinie. De nos jours, ces avantages suscitent un intérêt croissant pour les constructions en terre crue afin de contribuer à relever un des plus grands défis actuels de nos sociétés qu'est « l'urgence climatique ». En outre, la terre crue présente de nombreux avantages qui peuvent contribuer au confort intérieur des bâtiments et c'est dans ce champ-là que ce travail de thèse va trouver son défi.

Pour cela, nous étudions un champ encore peu exploré dans la recherche scientifique sur la terre crue que sont les ambiances et en particulier les ambiances sonores. L'investigation sous le prisme des ambiances nous a permis de capturer plus fidèlement la complexité des modes représentés, perçus et vécus des espaces construits en terre crue, ainsi qu'approfondir sur dialogue à établir entre la donnée physique et la donnée sensible. Cela avec l'objectif final d'évaluer les effets, à la fois physiques et sensibles, qu'un matériau naturel comme la terre crue peut avoir sur la qualité de vie des usagers.

Pour répondre à nos questionnements, nous avons travaillé simultanément avec des données physiques, principalement des données acoustiques, et des données sensibles, dans deux contextes. Un premier basé sur l'étude de cas des établissements scolaires existants avec différents profils d'usagers et différentes mises en œuvre de la terre crue, et un deuxième focalisé sur la comparaison d'un même environnement avec et sans terre crue.

Title : Raw earth put to the test of sound ambiances. A dialogue between physical measurement and sensory experiences

Keywords : raw earth, architecture, atmospheres, sound ambiances, acoustics, sensory..

Abstract: Raw earth provides important environmental benefits, such as low embodied energy, lower greenhouse gas emissions, and infinite reversibility. Today, these already well-known benefits are boosting interest in raw-earth construction to help overcome one of our societies' most pressing challenges: the «climate emergency». Yet, earth can further contribute to building interior comfort in many ways. The study of these other advantages is where this thesis finds its field of research.

To do this, we inquire about atmospheres, in the field of sound atmospheres in particular, which tends to receive little attention in scientific research on raw earth. Through the lens of ambiences, this study allows us to more faithfully capture the complexity of the represented, perceived, and lived modes of raw earth spaces. It also contributes to deepening the yet-to-be-strengthened dialogue among physical data and sensitive data. This is done with the ultimate goal of evaluating the physical and sensitive effects that a natural material like raw earth can bring to users' quality of life.

To find answers to our questions, we study physical data, mainly acoustic data, and sensitive data in two contexts at the same time. Being the first of them based on a case study on existing schools with various user profiles and a set of raw earth implementations. The second compares the same environment with and without raw earth.