

L'ACOUSTIQUE POUR LE CONFORT DE L'HABITAT

DE_Instrumenter

Auteur : Lucas Bisson

ENSAB _ 15/01/2024

Directeur de mémoire : Vincent Gassin

Remerciements

Rendre ce mémoire marque, pour moi, la fin d'un travail laborieux et intéressant qui m'a énormément enrichi. J'aimerais remercier Vincent Gassin, mon directeur de mémoire, pour avoir passé beaucoup de son temps à me relire, me conseiller et me corriger tout au long de ce mémoire. Et, Damien Marchal, enseignant en art, à l'ENSAB, pour ses aides concernant différentes recherches autour de l'acoustique et m'aidant pour trouver des entretiens.

Je remercie également Alexandre Durr, acousticien chez GreenAffair, pour m'avoir accordé un entretien, avoir répondu à mes interrogations, et de m'avoir partagé son expérience, ce qui m'a grandement aidé pour comprendre différents points autour de l'acoustique.

Enfin, je souhaite remercier Hugo et Anna qui m'ont aidé dans la relecture de ce mémoire.

Sommaire

Introduction	p.07
I. Fonctionnement et théories autour de l'acoustique architecturale	p.19
A. Les bases de l'acoustique	p.19
Les éléments à prendre en compte	
La formule de Sabine	
B. Comprendre l'acoustique architecturale	p.22
Les différentes ondes sonores	
La loi "Masse-Ressort-Masse"	
L'influence de la forme	
C. L'évolution de l'acoustique	p.26
Les failles autour de la formule de Sabine	
Les mystères de l'acoustique	
II. L'habitat, la fin d'une conception conventionnelle ?	p.31
A. L'habitat comme lieu permettant le ressourcement	p.31
L'importance d'un "chez-soi"	
L'habitat sain	
Les effets sur notre santé	
B. Le confort selon Loos et Heidegger	p.35
La recherche du confort par le dimensionnement	
La recherche du confort par la matière	
C. Le confort par l'acoustique	p.37
L'acoustique comme créateur d'ambiance	
Falling water	
Thermes de vals	
III. À la recherche de l'optimisation	p.45
A. Protocole d'amélioration acoustique	p.47
B. L'acoustique comme créateur de ressentis	p.53
Conclusion	p.61
Bibliographie et Annexes	p.64

Introduction

L'acoustique est une science qui étudie les propriétés des vibrations des particules d'un milieu susceptible d'engendrer des sons, infrasons ou ultrasons, de les propager et de les faire percevoir.¹

Plus simplement, l'acoustique est l'étude de tout ce qui se rapporte au son, que ce soit par ses déplacements, sa puissance et sa qualité.

Cette physique est étudiée depuis l'Antiquité, d'abord par l'observation et l'expérimentation, de manière empirique, en effectuant des essais soldés par des réussites, qui serviront pour construire des bâtiments, et parfois des échecs.

Entre le VIème siècle et le Vème siècle avant Jésus-Christ, nous avons découvert les premiers théâtres. Il est important de parler ici des théâtres, car ce sont les premiers éléments qui montrent un travail autour de l'acoustique. On peut retrouver le théâtre d'Epidaure, en Grèce, construit au IVème siècle avant J-C. Les Grecs se servaient de leurs connaissances et techniques pour amplifier le son, ils construisaient leurs théâtres face à la mer pour avoir le vent qui porte les voix des choristes vers les auditeurs. Eux-mêmes étaient assis sur un flanc de colline, pour que les ondes sonores des orateurs arrivent au plus grand monde tout en respectant un angle bien spécifique, en forme de palourde, pour que les voix profitent à tous en même temps. Plusieurs autres petites architectures permettent d'entendre plus aisément, on peut par exemple retrouver un bassin placé entre les choristes et les auditeurs pour réverbérer le son. Également, sur ce théâtre grec, il y a des vases appelés "résonateurs"² placés derrière les assises, dans le mur, pour que le son arrive bien aux oreilles du public et évite la gêne d'un écho.

¹ Définition de l'acoustique, Larousse, 2022

² VibraTec, Techniciens, Ingénieurs, Docteurs en technologies
<https://vibratec.fr/blog/news/du-traitement-acoustique-des-theatres-de-lantiquite-a-celui-des-aeronefs-da-ujourdhui-le-resonateur-de-helmholtz/>

Au théâtre d'Orange, en France, réalisé au II^{ème} siècle après J-C, les auditeurs peuvent se chuchoter à 80 mètres de distance en réverbérant leurs voix sur des murs courbes face à la scène. On comprend facilement que toutes ces constructions ont été extrêmement bien pensées et réalisées pour un confort acoustique optimal.

Ces performances ne sont pas nées de la technique, mais de la recherche, grâce aux observations et aux expériences, qui s'étendent depuis des centaines d'années. Pourtant, on trouve des résultats fascinants, notamment dans des espaces extérieurs, donc avec des éléments climatiques desquels ils se sont accommodés.

Les théâtres ont ensuite évolué vers des lieux clos, surtout avec les romains, en milieu de ville, et ils avaient toujours des qualités acoustiques spécifiques, particulièrement par le choix des matériaux, les épaisseurs de mur, etc. Le but était d'apporter un confort le plus agréable possible, car les personnes qui allaient aux théâtres étaient la plupart du temps aisées et il était nécessaire d'y aller pour rencontrer d'éventuels clients pour certaines affaires. Un travail des lieux a été réalisé en rapport avec l'acoustique et les sonorités. La qualité acoustique est devenue très ancrée et marquée dans la société, cela a permis d'améliorer leurs capacités à contrôler le son.

Ce n'est qu'au début du XX^{ème} siècle que l'on met des chiffres sur ce phénomène qu'est l'acoustique. Wallace Clement Sabine³, un physicien américain, est le premier à écrire un article à ce sujet, dans lequel il énonce les bases de cette science encore non étudiée. Le fait de poser des chiffres sur ces expériences est très important, d'une part, pour archiver les connaissances apprises jusqu'alors, il devient plus facile de comparer les meilleurs lieux pour comprendre exactement quels éléments permettraient de changer l'acoustique. D'autre part, il permet de prédire l'acoustique d'une pièce avant même de la construire, cela octroie en même temps la possibilité de plus se baser sur sa propre créativité, sans réaliser un lieu s'inspirant d'une expérience passée qui aurait convenu.

³ Sabine, Wallace Clement. « Architectural Acoustics. Part. I. Reverberation, Reprints of the American Architect, 1900 ». *Journal de Physique Théorique et Appliquée* 10, n° 1 (1901): p.38-48.

Un son est défini par un nombre incalculable d'ondes qui se propagent par un émetteur dans toutes les directions et qui réfléchissent sur des parois pour arriver jusqu'à un récepteur. Ces ondes arrivent avec un léger retard, qui est représenté par le temps mis sur le trajet jusqu'au récepteur. Le temps de réverbération signifie le temps que met l'onde sonore audible pour l'Homme la plus lente à arriver jusqu'au récepteur.

À partir de la formule créée par Sabine, il y a désormais des chiffres et des preuves concernant les performances acoustiques des matériaux. C'est la fin d'une ère qui n'a connu que des méthodes empiriques et rationnelles à ce sujet et la première fois que cette science expérimentale devient explicable. Depuis, il est possible de prévoir des temps de réverbérations adaptés pour l'usage qu'aura la pièce après construction. On intègre dorénavant des valeurs scientifiques dans la conception architecturale.

Cependant, le temps de réverbération n'est pas le seul facteur d'une bonne qualité sonore, c'est pourquoi Leo Leroy Beranek⁴, américain et expert en acoustique, a ajouté six autres facteurs perceptifs à prendre en compte dans les calculs :

1- La puissance sonore, qui attribue le volume sonore en décibel qui arrive aux oreilles de l'auditeur.

2- La qualité de l'espace qui traite les ondes parvenant latéralement après avoir été réverbérées sur les murs.

3- La clarté du son, signifiée par l'absence d'écho.

4- L'intimité, c'est-à-dire le temps que met l'onde la plus rapide à atteindre l'auditeur, c'est la distance entre l'auditeur et l'émetteur.

5- La chaleur, apportée par le temps de réverbération à basse fréquence pour ressentir le rythme correctement.

6- Enfin, l'habileté des musiciens ou des orateurs sur scène qui ne peut être mesurée.

⁴ Beranek, Leo L. *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture. 2^e ed.*, nd Ed., Softcover version of orig. hardcover ed. 2004. New York, NY: Springer, 2010

L'acoustique est un sujet qui englobe beaucoup d'acteurs, on peut penser en premier lieu aux musiciens, étant à la fois les émetteurs et les récepteurs des sons. Émetteurs, en jouant, ils produisent un son, mais à la fois récepteur, puisque leur ouïe s'est développée par l'expérience à recevoir des sons d'autres musiciens. Dans les orchestres, les musiciens placés devant les cuivres, portent pour la plupart du temps des protections à leurs oreilles. Mais ce ne sont pas les seuls impactés. Le son est un champ dont on est tous acteurs et récepteur. L'ouïe est l'un de nos cinq sens, nous sommes tous sensibles à notre manière aux sons que ce soit par la musique, les déambulations, les nuisances sonores, etc.

La forte présence du son impact sur notre confort de vie, notre bien-être ou même nos repères. La gêne des nuisances sonores impacte chaque personne, les situations dans lesquelles le son prend trop de place autour de nous et crée une gêne sont communes . Ce son s'introduit dans notre bulle intime, et peut créer des inconforts s'il n'est pas voulu, comme l'introduit l'anthropologue Edward T. Hall⁵, par l'approche de la proxémie. En effet, les sphères proxémiques varient en fonction des nuisances sonores, elles sont plus petites si de fortes nuisances se font entendre dans nos alentours. Une habitation près d'une rue passante, d'un endroit festif, ou avoir des voisins bruyants, illustrent bien ces nuisances.

Aujourd'hui, la pollution sonore et les bruits constants qui nous entourent que l'on ne souhaite pas recevoir, ont des conséquences sur la santé, pouvant aller de petites gênes à des douleurs intenses. Le répit auditif est une notion qui provient de Juliette Volcler, une critique sonore et chercheuse indépendante, dans son livre "L'orchestration du quotidien, design et écoute sonore au 21eme siècle"⁶ qui évoque tous les bruits, même infimes qui nous entourent et nous manipule. La musique choisie dans quelques métros donne un rythme pour que les utilisateurs marchent à une certaine vitesse par exemple, ou alors le "BIP" des machines exprimant si notre ticket de métro est

⁵ Hall, Edward Twitchell. *La dimension cachée*. Points. Paris: Éditions du Seuil, 1978.

⁶ Volcler, Juliette. *L'orchestration du quotidien: design sonore et écoute au 21e siècle*. Paris: la Découverte, 2022.

admissible ou non. Le répit auditif est, selon elle, un besoin qui n'est pas correctement partagé par la population, les personnes vivant en milieu rural, avec une maison individuelle, auront un répit auditif assez facilement. Tandis que les personnes vivant dans des habitations se situant dans des barres d'immeubles en milieu de ville auront bien plus de mal à trouver leurs propres répits acoustiques.

Il est d'autant plus important de résoudre les problèmes d'acoustique avec l'arrivée récente du télétravail. Un rapport a été réalisé par la DARES (Direction de l'Animation de la Recherche, des Études et des Statistiques)⁷ qui montre qu'avant l'épidémie de la COVID-19, 3% des actifs travaillaient en télétravail, et en décembre 2021, 23 % des actifs travaillaient en moyenne trois jours par semaine en télétravail. Aujourd'hui, dans beaucoup de cas, lorsqu'une matière isolante acoustiquement est utilisée, elle vise à répondre à une problématique sonore. On peut retrouver cet exemple au travers des isolants acoustiques souvent dissimulés entre deux plaques de plâtre. Ces isolants n'ont pas pour but d'être visibles, ils sont uniquement là pour réduire le bruit entre les pièces. Le fait de ne pas avoir ce matériau en surface visible et le remplacer par un matériau lisse n'a pour effet que d'isoler la pièce pour ne pas être entendu dans les pièces alentour, mais n'interfère pas sur le temps de réverbération de celle-ci. C'est exclusivement un confort acoustique pour les usagers des pièces alentour. Les personnes se situant dans cette pièce n'ont pas de confort ni d'ambiance adaptée par les murs l'entourant, car les murs en plâtre ont une surface très réverbérante.

C'est un besoin et il devient nécessaire de se soucier du sujet qu'est le son. Pour un enfant énervé, un endroit calme, en plein silence, le calmera bien plus rapidement, comme l'a démontré Rem Koolhaas à la Casa De Musica⁸. Il a attribué une salle qui serait exclusivement dédiée pour calmer les enfants qui pleurent dans la salle de spectacle, cette salle est tellement isolée

⁷ Dares. « Télétravail durant la crise sanitaire Quelles pratiques? Quels impacts sur le travail et la santé ?.pdf ». Consulté le 29 décembre 2023. https://dares.travail-emploi.gouv.fr/sites/default/files/5171e9d0f2d214774c44afc82353563a/Dares-Analyses_Teletravail-durant-crise-sanitaire-Partiques-Impacts.pdf.

⁸ Rem Koolhaas, casa da musica, Porto, Portugal, 2005

acoustiquement que cela produit aussitôt un calme dans notre corps et ainsi permet de calmer les enfants.

Le son impacte énormément le comportement humain à entendre constamment, que ce soit par du positif ou que du négatif. Il devient important de traiter ce sujet qui n'est pas encore assez expliqué.

Comme l'énonce Juliette Volcler, la question de l'habitat est très importante, le logement est le seul lieu où l'on peut se sentir seul, de manière intentionnelle, sans voir personne. C'est un lieu privatif dans lequel on peut se sentir comme on le souhaite sans craindre d'être dérangé par la population environnante. C'est une sorte de refuge personnel dans lequel on peut être tranquille et se couper du monde bruyant et désordonné extérieur. C'est dans notre habitat que l'on pourra trouver notre véritable répit auditif.

Demain, il deviendra rare de construire sur de nouveaux emplacements, la loi ZAN (Zéro Artificialisation Nette) de 2030, obligera de se soucier des bâtiments déjà existants pour éviter l'étalement urbain et le grignotage des terres fertiles.⁹ Il sera nécessaire de travailler des réhabilitations ou des rénovations de différentes structures existantes. De plus, avec le réchauffement climatique et les prises de conscience, il faudra construire avec des matériaux réutilisables, locaux et naturel pour éviter un trop gros impacte carbone.

Au-delà de l'importance environnementale, les matériaux naturels et locaux apportent plus de bonheur et de confort qu'un matériau artificiel par leur diffusion d'énergies positives. C'est ce que définit le concept architectural de biophilie et ce qu'énoncent également les géobiologues.

La biophilie est une science initiée en 1960 par Erich Fromm, un psychanalyste, elle définit l'amour crucial entre l'humain et le vivant. Cette science a été complétée par Edward Osborne Wilson dans son livre intitulé *Biophilie* en 1980.¹⁰ L'auteur évoque la partie intégrante de la nature dans le développement de l'Homme. Suite à un développement dans des

⁹ Bihouix, Philippe, Sophie Jeantet, Clémence de Selva, et Estelle Klugstertz. *“La ville stationnaire: comment mettre fin à l'étalement urbain ?”*, Domaine du possible. Arles: Actes Sud, 2022.

¹⁰ Wilson Edward Osborne, traduit par Guillaume Villeneuve. *Biophilie*. Paris: J. Corti, 2012.

environnements naturels, nous avons des prédispositions biologiques qui nous font aimer la nature pour les avantages qu'elle offre pour notre survie, notre santé et notre bien-être. La biophilie peut se manifester de différentes manières, par l'appréciation esthétique des éléments naturels, par le désir de passer du temps en extérieur dans un milieu naturel, par le plaisir d'observer des animaux, plantes ou paysages, ou même la biophilie peut se manifester dans la recherche de motif rappelant des éléments naturels. Les géobiologues cherchent eux, à rediriger de flux d'énergies positives ou négatives, se trouvant autour de nous pour apporter du bonheur aux êtres vivants.¹¹

Ce sujet vaste qu'est l'acoustique interroge plusieurs champs de travail.

L'architecture, car elle modifie l'acoustique par le travail de la forme, de la spatialité, des matériaux et de l'isolation.

La musique qui est un émetteur d'ondes sonores et qui nécessite un travail par dans les lieux de représentations.

Les ondes, bien qu'elles soient présentes dans la musique comme énoncé précédemment, certains animaux interagissent et dialoguent grâce aux ondes, comme les chauves souris ou les baleines.

Les sens, puisque "L'ouïe est le premier sens pour compenser l'absence de vision"¹², pour les personnes aveugles ou malvoyantes, est celui qui leur permet de se repérer dans le monde qui nous entoure.

Le bien-être, car l'acoustique crée une atmosphère dans un lieu qui peut permettre de changer nos émotions.

Et l'infiniment petit à travers le moléculaire, effectivement les matériaux ont des surfaces spécifiques, une dureté, une élasticité propre à chacune, qui varie la qualité acoustique d'une matière.

Dans le livre "Le regard des sens"¹³, l'essai théorique de Juhanni Pallasmaa, celui-ci énonce sa vision de l'évolution de l'architecture et expose

¹¹ Selon David Antunes, géobiologue et formateur en thérapie holistique (Communication par conférence, 2023/11/19)

¹² Okeena, " 8 idées reçues sur les aveugles", 15-01-19
<https://webzine.okeenea.com/8-idees-recues-aveugles/>

¹³ Pallasmaa, Juhani, et Mathilde Bellaigue. *Le regard des sens*. Librairie de l'architecture et de la ville. Paris: Éd. du Linteau, 2010.

une critique de l'hégémonie de la vue dans la conception architecturale, appauvrissant les réalisations contemporaines. Il s'intéresse au rôle des sens dans la perception du monde. Pallasmaa rappelle l'importance des quatre autres sens en les expliquant un par un. Il exprime les bienfaits de chaque sens en les rapprochant à celui de la vue pour pouvoir comparer. Cela permet au lecteur de s'interroger sur ses propres ressentis. Il est simple de s'identifier et de comprendre le propos, car l'auteur dévoile ses propres ressentis par des expériences universellement partagées. Cet essai est devenu une référence du métier d'architecte. Pallasmaa lie l'architecture à ces sens en dénonçant des architectes dits « de la vue » et met en avant d'autres qui se préoccupent des sens pour le confort de la population.

La relation entre le son et l'architecture est intimement liée. Carlotta Darò est une docteure en histoire de l'art et maître de conférences à l'ENSA de Paris-Malaquais. Elle s'intéresse notamment à la liaison entre le son et l'architecture. Dans son livre "Avant-gardes sonores en architecture"¹⁴, elle réalise un état des lieux des choses connues vis-à-vis de l'acoustique artistique et architecturale depuis le XXème siècle. Elle examine comment les architectes et les artistes sonores ont utilisé le son comme moyen d'exprimer des idées, de créer des expériences et d'influencer l'environnement bâti. Le livre se concentre sur les mouvements d'avant-garde qui ont émergé au XXe siècle. Il examine également les pratiques contemporaines, telles que l'architecture sonore, l'installation sonore et la performance sonore. Elle explore aussi les questions théoriques et philosophiques liées à la relation entre le son et l'architecture, telles que la perception, l'espace, le temps et le mouvement. C'est un ouvrage qui permet de découvrir la relation complexe entre le son et l'architecture à travers l'histoire de l'art et de l'architecture du XXe siècle jusqu'à aujourd'hui. Ce livre important permet de se renseigner sur différents sujets, pour bien comprendre l'acoustique.

¹⁴ Darò, Carlotta. *Avant-gardes sonores en architecture*. Ohcetecho, vol. 4. Dijon: les Presses du réel, 2013.

Dans le domaine qu'est l'acoustique, certains sujets sont plus intéressants que d'autres. J'ai d'abord décidé de me pencher sur la question du confort acoustique vis-à-vis des personnes en situations de cécité.

En étudiant ce sujet, une citation d'un livre m'a déstabilisé. Dans le livre « Avant-gardes sonores en architecture », Carlotta Darò reprend une citation du célèbre architecte et théoricien Adolf Loos.

« L'acoustique d'une salle n'est pas une question d'espace, mais une question de matériau »¹⁵

« Le matériau de la salle a changé. Ce matériau n'a absorbé que de la bonne musique pendant quarante ans, il s'est imprégné des sons de nos philharmonistes et des voix de nos chanteurs. Une telle imprégnation produit de mystérieuses mutations moléculaires, que nous n'avons pu observer jusqu'ici que sur le bois des violons (...) Pour conférer à une salle une bonne acoustique, faut-il donc y jouer de la musique ? Non, cela ne suffit pas. Il faut y jouer de la bonne musique. Car, on peut tromper les âmes des Hommes, mais non pas l'âme du matériau. Les salles où on n'a joué que de la musique de cuivre garderont toujours une mauvaise acoustique. L'âme du matériau est si sensible qu'il suffirait de faire éclater des fanfares pendant huit jours dans la salle Bösendorfer pour que sa célèbre acoustique s'en allât immédiatement au diable. »¹⁶

Afin de recontextualiser, ces citations datent de 1912 et proviennent d'une discussion qu'a eu Loos lors d'un échange concernant la potentielle destruction de la salle Bösendorfer à Vienne. L'avis de l'architecte est de ne pas détruire la salle, car elle a emmagasiné beaucoup de bonne musique et a apporté une acoustique encore jamais égalée. Il suppose donc que si la salle

¹⁵ "Le mystère de l'acoustique", Loos, Adolf, et Cornelius Heim. *Paroles dans le vide (1897-1900) : chroniques écrites à l'occasion de l'exposition viennoise du jubilé (1898). Autres chroniques des années 1897-1900. Malgré tout (1900-1930)*. Paris: Ivrea, 1994.

¹⁶ *Ibid*

était reconstruite à l'identique, que ce soit par sa forme, sa matière et sa taille, l'acoustique serait nettement moins bonne.

Loos affirme que la bonne musique est jouée par des virtuoses avec des instruments à cordes ou à vent, mais surtout pas par des cuivres. Il ajoute également que si une fanfare jouait dans une salle pendant 8 jours, cela enlèverait toute la qualité acoustique qu'avait emmagasinée la paroi durant 40 ans d'écoute de "belle" musique.

Même si le champ de l'esthétique existe, et peut discriminer avec pertinence, il est impossible de juger si une musique est belle ou non, car cela relève de la subjectivité de chacun. Avec tous les éléments très techniques et les connaissances dans le domaine de l'acoustique connues, la citation de Loos remet pas mal de choses en question. Même si Adolf Loos a prononcé ces mots avec comme unique but de conserver la salle, sans savoir si ce qu'il énonçait pourrait être véridique, sa citation révèle un grand mystère. En lisant ces mots, beaucoup d'interrogations sont venues sans aucune réponse. Comment Loos peut-il penser qu'un matériau soit capable de s'adapter à une bonne musique ? Cela est absurde. Je pense plutôt qu'un matériau peut hypothétiquement s'adapter à de la musique plus ou moins forte, ou une fréquence qui deviendrait habituelle, cela ne reste que des hypothèses. De plus, comment un matériau pourrait-il juger quels musiciens sont des virtuoses ou non ? Comment un son peut-il modifier un matériau ? Et surtout, comment un matériau peut-il être plus réceptif à certains sons qu'à d'autres ? Pourquoi, toujours dans la définition de la "bonne musique" selon Loos, un virtuose d'instrument cuivre ne pourrait pas améliorer une acoustique tandis qu'un virtuose violoniste le pourrait ?

Et, à une échelle temporelle très vaste, si, selon Loos, l'acoustique d'une pièce dépendait uniquement de l'artiste, alors n'importe quelle pièce pourrait avoir une acoustique optimale. Dans le cas où, dans le processus de construction, laisser des musiciens jouer dans une pièce devenait une étape pour améliorer l'acoustique, ainsi le travail préalable concernant la capacité acoustique des matériaux n'aurait plus aucune utilité. Cela changerait entièrement le travail d'un acousticien. Il est également possible que les

matériaux s'altèrent au fil du temps, suivant la longévité de leurs propres vies et se modifient au fil du temps. Les matériaux naturels et souples comme le bois sont logiquement plus enclins à se modifier par eux-mêmes. En cherchant des réponses, je n'ai rien trouvé expliquant cette affirmation qui date de plus d'un siècle.

C'est suivant toutes ces interrogations et mes intentions de départ que je me suis mis à me demander : Comment l'acoustique peut-elle accompagner l'architecture dans une recherche de confort dans l'habitat ?

Pour amorcer ce mémoire, nous allons d'abord expliquer les bases de l'acoustique architecturale grâce à l'entretien avec un acousticien. Les failles autour de cette science par la formule de Sabine ainsi que le mystère qu'a soulevé Adolf Loos. D'autre part, nous verrons comment l'acoustique peut permettre de créer des ambiances au sein d'une pièce par l'environnement du local.

Ensuite, dans un second temps, nous expliquerons les raisons de la nécessité de s'intéresser à l'habitat en tant qu'espace amenant des sensations positives à travers plusieurs enquêtes ainsi que par la conception en partant de différents langages architecturaux. Cette partie sera l'occasion de démontrer la création d'ambiance grâce à l'acoustique dans l'architecture par le salon de la FallingWater de Frank Lloyd Wright et Les Thermes De Vals de Peter Zumthor.

Enfin, en dernière partie, nous allons prolonger le travail d'Adolf Loos, sur le confort au sein de l'habitat de la villa Müller, à Prague, en y optimisant l'acoustique des pièces pour donner une ambiance adaptée à chacun des usages. L'habitation, part de simples modifications, passera d'une habitation réverbérante à une maison permettant le répit auditif.

I. Fonctionnement et théories autour de l'acoustique en architecture ?

Dans cette partie, nous allons développer et comprendre les calculs et les bases de l'acoustique architecturale. Mais cette science est encore en pleine exploration et développement, nous allons démontrer à travers la citation de Loos les possibilités d'interprétation de cette hypothèse.

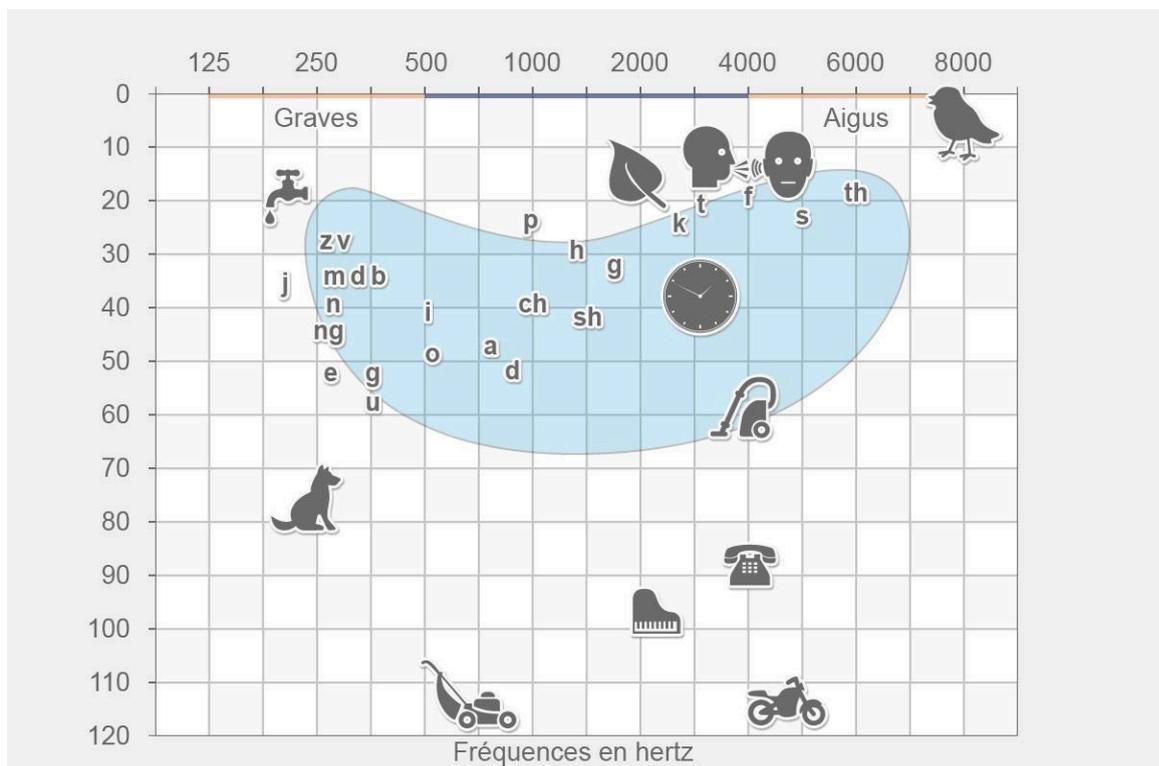
A. Les bases de l'acoustique

Les éléments à prendre en compte

Pour commencer, il existe deux types de bruits différents, les bruits aériens et les bruits solidiens. Les bruits solidiens, ou de chocs, correspondent à la diffusion d'un bruit dans le milieu solide. Par exemple, lorsque quelqu'un utilise un marteau-piqueur contre un mur dans un immeuble en béton, le bruit de choc retentit dans l'entièreté du bâtiment, par contre le bruit en lui-même de la machine s'entendra moins. Les bruits de chocs sont l'inverse des bruits aériens, plus un matériau sera souple, plus il atténuera les bruits de chocs, comme les isolants. Les bruits les plus présents dans ce mémoire vont être principalement les bruits aériens. C'est sur ce bruit-là que les chercheurs se sont le plus appuyés, car ce sont les bruits les plus importants auxquels se protéger.

Comme évoqué dans l'introduction, les ondes sonores se déplacent dans l'air jusqu'à atteindre nos oreilles. La célérité d'une onde peut varier en fonction de la température et de l'humidité ambiante, elle sera mesurée et intégrée uniquement dans des cas très précis qui nécessitent un temps de réverbération exacte. Dans l'habitat, la température peut varier entre 16°C et 25°C, et l'humidité aussi sera contrôlée pour avoir un habitat le plus confortable possible. Même si la vitesse d'une onde peut varier dans certains cas, dans ce cas-là, on peut négliger le calcul de la célérité, car la température et l'humidité n'auront pas des valeurs extrêmes.

La fréquence mesurée en Hertz correspond à la tonalité du son qui sera émis. Pour une personne parlant aiguë, la fréquence correspondra environ à 4000 Hz et à l'inverse, une personne ayant une voix grave aura une fréquence d'environ 500 Hz. Le schéma ci-contre désigne des éléments connus et distingue leurs fréquences en Hertz et leur volume en décibel. (III.1) La zone bleue représente la bande de fréquence d'une voix humaine et de la variation en fonction des tonalités des parleurs. Également, le graphique montre des sons de différents objets, animaux ou des phonèmes pour pouvoir le comprendre plus facilement. Les fréquences qui sont utilisées en acoustique se situent souvent entre 65 Hz et 8000 Hz, en fonction du type de son de l'émetteur.



III. 1 : Graphique représentant en abscisse les fréquences de différents sons et en ordonnées le volume sonore en décibel. Fréquences conversationnelles, Stéphane Rossetto, Audioprothésiste à Marseille.

La formule de Sabine

Comme vue précédemment, Wallace Clement Sabine a été le premier chercheur à créer une formule permettant de prévoir l'acoustique d'un lieu avant même de le construire. Il a trouvé une solution mathématique qui calcule ce temps de réverbération d'un son dans un lieu clos.

Il y a deux façons pour calculer ce temps de réverbération avec des outils de précision montrant le nombre de décibels. Soit, ce temps calculé est celui mis par un volume sonore à atteindre 1/1 000 000ème de sa valeur initiale dans un lieu clos. Lorsqu'un son fort atteint 1/1 000 000ème de sa valeur initiale, il devient inaudible pour un être humain, c'est pour cette raison que Sabine a choisi cette valeur. La seconde manière de faire est d'émettre un son fort jusqu'à ce qu'il perde soixante décibels, le temps que met le son à perdre ses 60 décibels, est également le temps de réverbération. Ces deux méthodes sont similaires, le résultat est presque identique. Seulement pour qu'un son perde 60 décibels, il doit déjà être assez fort, lorsqu'on ne peut pas vraiment réaliser un diagnostic en émettant un son fort, l'autre méthode est utilisée. Sabine a trouvé une formule mathématique permettant d'estimer le temps de réverbération d'une pièce avant de la construire :

$$TR = \frac{0.163 \times V}{A}$$

TR = Temps de réverbération

V = Volume de la pièce en m³

A = Aire d'absorption équivalente de la pièce

= (Surface (S) de « z » x coefficient d'absorption (α) de « z ») + (Surface (S) de « y » x coefficient d'absorption (α) de « y ») + ...

La formule développée entièrement :

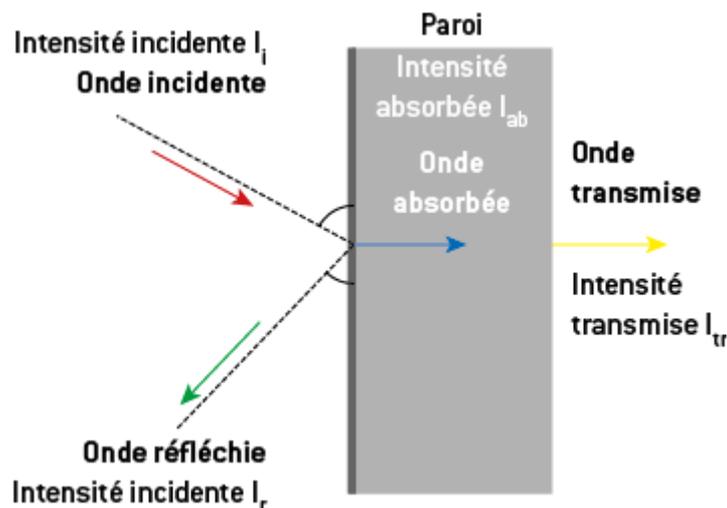
$$TR = \frac{0.163 \times V}{\Sigma [S \times \alpha]}$$

Cette formule utilise certains éléments de la pièce, comme le volume, les surfaces (sols, plafonds, murs...), et le coefficient d'absorption (α) de chaque matériau, ce coefficient définit leurs qualités pour absorber un son. Cette formule fonctionne uniquement dans un espace contrôlé, dont les variables sont connues. Elle ne peut fonctionner en extérieur pour plusieurs raisons, le volume de la pièce est nécessaire, donc dans un espace ouvert, le volume n'est pas précis. Le coefficient d'absorption acoustique (α) des matériaux doit se situer entre 0 et 1, et un espace ouvert correspond à 1. À la manière des romains, les espaces intérieurs sont acoustiquement privilégiés.

Sa formule intègre plusieurs éléments, le volume (V), la surface (S) du matériau et son propre coefficient d'absorption (α).

B. Comprendre l'acoustique architecturale

Les différentes ondes sonores



Ill. 2 : Coupe schématique, "La transmission et l'absorption des ondes sonores", Annabac, <https://www.annabac.com/revision-bac/la-transmission-et-l-absorption-des-ondes-sonores>

Il est important d'expliquer ce qu'est un coefficient d'absorption (α) pour mieux comprendre comment la formule fonctionne. Il faut imaginer qu'un son, lorsqu'il est émis, déploie une infinité d'ondes sonores, souvent signifiées par des rayons ou des flèches qui se déploient dans l'espace dans tous les sens,

ces rayons rebondissent sur les parois des murs et dès qu'un de ces rayons arrive à nos oreilles, on l'entend alors. Lorsque l'énergie sonore émise par un son touche une matière, le rayon se divise en trois différentes ondes, l'onde réfléchie qui rebondit sur le mur, l'onde absorbée qui passe dans la paroi et l'onde transmise la traverse, comme indiqué sur le schéma ci-contre (III.2).

La partie absorbée définit entre 0 et 100 % le coefficient d'absorption (α) d'un matériau en fonction d'une fréquence donnée. Afin de déterminer exactement le coefficient d'absorption (α) d'un matériau, des tests sont effectués en laboratoire, avec des normes spécifiques, dans une salle calibrée, vérifiée, adaptée et où l'humidité, la température, la célérité et tous les aléas sont comptabilisés. Des tests seront d'abord effectués sans le matériau pour avoir des temps de réverbérations en fonction des fréquences de son, et dans un second temps, le test sera recommencé avec le matériau. En fonction du résultat et de la différence entre ces temps de réverbérations, les chercheurs établiront un coefficient par bande d'octave de fréquence. Ils établiront aussi un coefficient pondéré, qui est la moyenne des coefficients d'un même matériau sur l'entièreté des fréquences. C'est celui-là que l'on utilisera dans la formule de Sabine. Plus un matériau aura un coefficient proche de zéro, plus il sera absorbant.

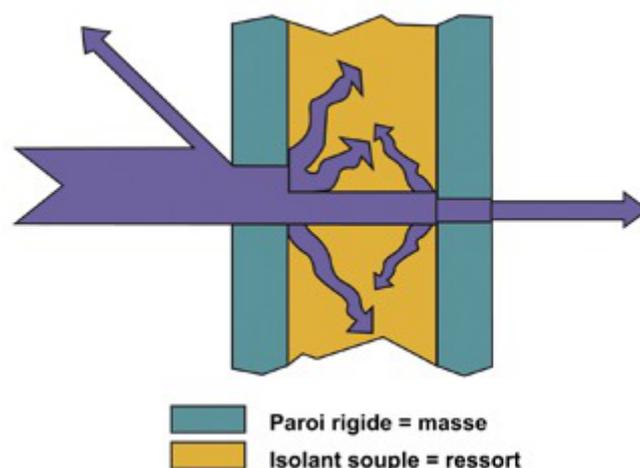
L'onde réfléchie équivaut à la quantité d'énergie qui rebondira sur la surface du matériau. Plus, il aura une surface lisse, plus il sera réfléchissant, également plus il sera dense, plus il réfléchira d'énergie à l'onde sonore. Par exemple, le béton (2800kg/m³) ou l'acier (7800kg/m³) sont des matériaux ayant une surface très lisse et qui sont très denses, ils permettent de réfléchir davantage d'énergie. Cela leur permet d'avoir une bonne isolation phonique face aux bruits aériens, ils ne transmettront que très peu de son d'une pièce à une autre, mais n'auront aucunes efficacités pour réduire le temps de réverbération d'une pièce. Afin d'absorber un maximum d'énergie, le matériau doit être le plus léger possible et, lorsque le matériau est utilisé en surface

directe, il doit avoir une surface la moins lisse possible pour qu'il soit plus efficace dans son absorption.

Enfin, l'onde transmise, correspond à la quantité d'énergie qui traverse le matériau ou le mur composite et arrive dans un autre espace.

La loi "Masse-Ressort-Masse"

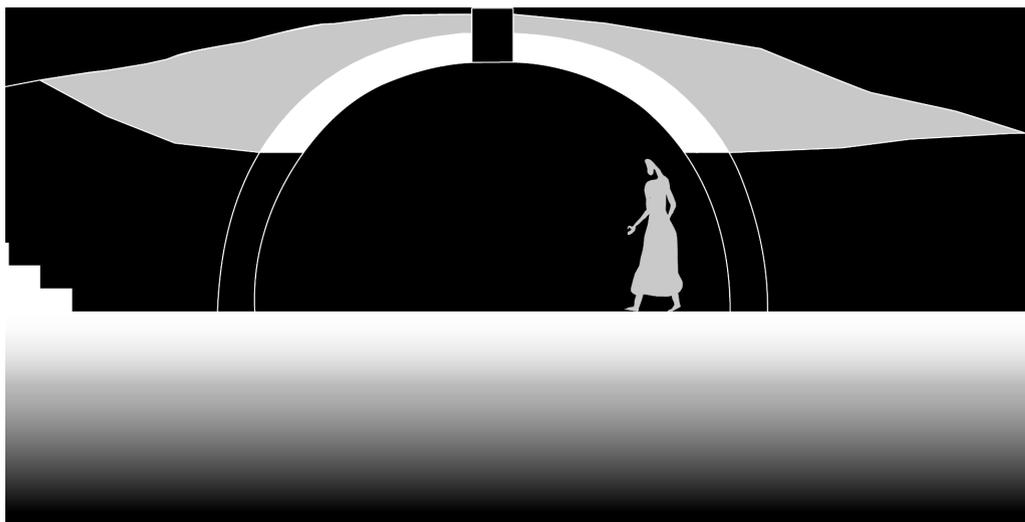
Dans l'acoustique des bâtiments aujourd'hui, lorsque l'on souhaite isoler une pièce vis-à-vis d'une autre pièce pour éviter d'entendre son voisin, on utilise le système composite appelé, la loi masse, ressort, masse. (III.3) La masse correspond à un matériau rigide permettant de réverbérer une grande quantité d'énergie, mais n'en absorbe que très peu. Tandis que le ressort est un matériau ayant un bon coefficient acoustique et donc permet d'absorber énormément d'énergie. Le mur a donc trois couches, le son transmis depuis le premier matériau "masse" sera en partie absorbé par le matériau central "ressort", puis rebondira sur le matériau "masse" suivant, pour s'atténuer de plus en plus, jusqu'à ce qu'il devienne inaudible. Ce système est régulièrement utilisé sur des murs intérieurs avec une composition plâtre, isolant, plâtre. Ce système fonctionne très bien pour éviter la transmission d'un bruit d'une pièce à l'autre, mais n'a pas pour but d'améliorer la qualité acoustique par le temps de réverbération d'une pièce en elle-même.



III. 3 : Coupe schématique Loi Masse-Ressort-Masse,
<https://insonorisation.weebly.com/lois-disolation.html>

L'influence de la forme

Les éléments qui influent le plus l'acoustique que recevra une pièce sont à la fois la qualité des matériaux utilisés et la forme qu'aura celle-ci. Les églises sont des lieux où l'acoustique a une grande importance, surtout dans la réverbération, pour que les voix des chants se propagent le plus possible. Une église aura toujours une résonance par la forme qu'elle constitue. L'exemple cité dans l'introduction du théâtre d'orange en est un modèle par la réverbération qui est créé par la forme que constitue le lieu. Donc, plus un bâtiment aura un gros volume intérieur, plus, il sera difficile de l'isoler acoustiquement. De la même manière, une forme arrondie augmentera toujours le temps de réverbération d'une pièce malgré le fait qu'elle ait une grande surface de matière par rapport au volume de la pièce. Nous allons nous baser sur une expérience personnelle de la visite d'une glacière à Venise, malgré son volume très faible, et sa surface de murs élevée, la pièce avait une résonance très importante, car elle était en forme de dôme. (III.4) Le son émit, rebondit une infinité de fois sur les murs pour ensuite atteindre nos oreilles. Il est possible d'entendre clairement un chuchotement d'une personne ayant le dos tourné, à deux côtés opposés de la glacière, en chuchotant en direction d'un mur.



III. 4 : Coupe glacière, Venise, 15/01/2024

C. L'évolution de l'acoustique

Les failles autour de la formule de Sabine

Pour revenir à la formule de Sabine, même si elle permet de simuler un éventuel temps de réverbération dans une salle, elle possède quelques failles. D'une part, il faut que le local soit clos et défini de chaque côté par au moins un matériau masse ou alors par un revêtement déposé sur matériau masse. La loi d'étanchéité signifie les interstices dans lesquels l'air passe, par exemple sous une porte, dans une serrure, etc. Ces interstices ne sont pas traités dans cette formule. D'autre part, elle ne comprend pas l'emplacement de la source sonore, de l'auditeur et des surfaces des matériaux dans la pièce, elle considère que l'énergie sonore de la salle est transmise uniformément dans toute la pièce. La géométrie du local n'est pas prise en compte, mais uniquement son volume. Toutes ces choses font qu'il est impossible de prévoir précisément le temps de réverbération d'une pièce par la formule de Sabine.

Après avoir réalisé quelques tests, une seconde formule a été créée. Lorsqu'il est nécessaire de calculer un temps de réverbération pour les salles aspirant à avoir une absorption plus importante, la formule d'Eyring est plus précise, tandis que la formule de Sabine fonctionne mieux dans les salles plus réverbérantes.

$$TR = \frac{0.163 \times V}{\Sigma - [S \times \ln(1-\alpha)]}$$

Cette seconde formule est relativement similaire à celle de Sabine, elle précise plus le calcul sur les coefficients d'absorption. Mais aucune d'entre elles ne traite la géométrie du local, aujourd'hui, la seule solution pour prendre en compte la géométrie est d'effectuer le calcul sur un logiciel acoustique comprenant une modélisation 3D où l'on peut indiquer les emplacements exacts des matériaux.

Les normes de confort acoustique, comme la NF Habitat, imposent des seuils à ne pas dépasser en fonction des usages, et aujourd'hui, les

acousticiens, pour être sûr de ne pas dépasser ces seuils malgré l'imprécision des formules, définissent eux-mêmes leurs propres seuils, plus contraignants que ceux des normes, pour être sûr de ne pas les dépasser lors du test final. Elle reste la formule la plus utilisée en acoustique aujourd'hui, car la formule est simple et, pour la plupart du temps, ne nécessite pas une extrême précision, effectivement la valeur de la norme à respecter est un seuil maximal à ne pas dépasser, et non une valeur précise à atteindre.

Les mystères de l'acoustique

Pour revenir à la citation de Loos, qui émet l'hypothèse qu'un matériau aurait des capacités acoustiques ayant la possibilité de s'améliorer dans le temps en s'imprégnant de la musique dans son environnement proche. Le ressenti entre en compte dans ce débat, mais rien n'a été prouvé, en discutant avec un acousticien de ce sujet. Il nous a dit que ce débat avait déjà eu lieu, mais ne connaissait pas cette citation.¹⁷ C'est un mystère qui n'est pas encore résolu, il y a principalement deux parties, les un défendant le fait qu'un matériau ne puisse pas se bonifier, car il est pour l'instant incompréhensible que ça soit le cas. Et d'un autre côté, les autres étant persuadées qu'un son s'améliore au fil du temps. Le fait qu'un matériau se bonifie n'est pas quelque chose que l'acousticien trouve étonnant, étant guitariste, il a déjà eu l'impression d'avoir eu un plus beau son avec un vieil instrument, plutôt que dans une guitare neuve. Il nous explique qu'il y a possiblement un effet placebo, à jouer dans un bel ancien instrument.

"Perceptuellement, il y a quelque chose qui se passe, mais je ne sais pas si c'est placebo ou si c'est un truc un peu psychologique où tu te dis, j'utilise une vieille guitare, un vieil instrument, le bruit est différent, la manière dont je joue est un peu différente, ce que je peux dire c'est : Est-ce qu'il se passe vraiment des mutations moléculaires ? Je ne suis pas sûr pas, ça peut, à la rigueur, se modifier un peu, c'est peut-être un effet psychologique de jouer dans des espaces là, ça te met dans un

¹⁷ Selon Alexandre Durr, Acousticien chez GreenAffair (Entretien en annexe, 2023/11/24)

certain état d'esprit et tu joues différemment, tu as une sensibilité différente peut-être, c'est comme ça que je le ressens"¹⁸

*"S'il y a un véritable changement, je pense qu'il sera minime, mais certaines personnes diront que ce sont les 1% qui changent tout."*¹⁹

Il existe plusieurs hypothèses pour donner un sens à la citation de Loos. Il y aurait deux raisons pour comprendre l'éventuelle véracité de sa citation. D'une part, de manière mesurée, les matériaux s'altèrent avec le temps, suivant l'humidité, la température et la charge environnante. Et d'autre part, d'une manière plus hypothétique, un matériau a des capacités élastiques, qui lui permettent de respirer. L'onde sonore produit sur les matériaux des micros vibrations. Chaque matériau à son aptitude élastique et s'il bouge trop, le matériau peut atteindre sa phase dite « plastique ». Lorsqu'un matériau vibre, il est possible qu'il garde une empreinte de ces modifications précédentes. Si on prend l'exemple d'un élastique, à force de l'étirer, il ne reprend pas entièrement sa forme initiale, même s'il n'a pas atteint sa phase plastique. Il serait alors possible d'avoir le même phénomène à une échelle moléculaire dans des matériaux utilisés dans l'architecture. Ce serait, suivant ce phénomène, que la citation de Loos deviendrait véridique.

La science autour de l'acoustique est en constante évolution. L'hypothèse de Loos n'a toujours pas été vérifiée. Une réponse explicative et prouvée sera sûrement donnée dans le futur et aidera la compréhension des ressentis sensoriels des êtres humains.

¹⁸ Selon Alexandre Durr, Acousticien chez GreenAffair (Entretien en annexe, 2023/11/24)

¹⁹Ibid

II. L'habitat, la fin d'une conception conventionnelle ?

Parler de l'acoustique et de l'ambiance qu'elle crée est la chose la plus importante à traiter dans ce mémoire. Cependant, nous allons traiter l'atmosphère répondant à l'acoustique comme confort de l'utilisateur, c'est pour cette raison que s'intéresser à l'habitat est tout aussi important.

A. L'habitat comme lieu permettant le ressourcement

L'importance d'un "chez-soi"

Pour comprendre la nécessité de travailler autour de l'habitat, nous allons nous baser sur une enquête réalisée par l'institut de recherche du bonheur. Selon une enquête "Good Home"²⁰ de 2019, sur les éléments qui nous apportent du bonheur, la maison est le second élément le plus cité derrière la santé mentale. L'institut de recherche du bonheur est un groupe de réflexion indépendant qui mène des enquêtes pour des professionnels afin de permettre à ceux-ci de savoir quels produits mettre en avant. Ce rapport n'est pas le premier de cet institut indépendant, il permet aux entreprises de les mettre en avant, mais ce rapport permet à la fois d'aider ces entreprises à créer des objets ou meubles adéquats, répondant aux attentes des futurs acheteurs. Les réponses de cette enquête ne sont pas à requestionner, malgré le fait qu'ils aient été commandités par une entreprise aspirant à pousser à la consommation. Il est d'autant plus important de se pencher sur cette question de l'habitat, puisqu'on y passe environ 16,2 heures chaque jour²¹, selon une enquête de Santé Publique France. Ce n'est pas tout d'avoir un toit sous lequel se loger, le plus important est d'avoir un "chez-soi", un lieu que l'on habite, familial, dans lequel on se retrouve, on se sent bien et on est heureux. Plus notre habitat nous sera accommodé, plus il nous permettra de nous ressourcer et de lâcher prise. Lorsque l'on souhaite s'abstenir de toute nuisance sonore,

²⁰ Wiking, Meik. « Good Home ». Happiness Research Institute, 2019.

²¹ Zeghnoun A, Dor F, Kirchner S, Gregoire A, Lucas JP, "Estimation du temps passé à l'intérieur du logement de la population française". Journées de Veille Sanitaire, Paris, 26-28 novembre 2008

l'habitat devrait être le lieu idéal de ressourcement, il devrait permettre le répit acoustique.²²

L'habitat sain

Il est donc important d'avoir un habitat sain, selon l'ADEME²³, agence spécialisée dans la transition écologique, un habitat sain répond à minimiser les impacts carbone dans la construction de l'habitat et dans la qualité de l'air. Mais ce n'est pas tout d'avoir une habitation écologique qui minimise les émissions carbone, l'habitat sain répond également à la santé des habitants, en comprenant la qualité acoustique, thermique et la protection aux champs électromagnétiques.

David Antunes, un géobiologue, nous a enseigné sa pratique durant un approfondissement à l'école d'architecture de Rennes. Son métier aspire à révéler des flux d'ondes positives ou négatives qui se trouvent autour de nous et de les déplacer selon le besoin. Selon lui, ces mouvements d'énergies influent directement sur notre corps. Si on se situe à l'emplacement d'un flux d'ondes positives, alors nous pourrions être plus facilement heureux, au contraire, rester longtemps à l'emplacement d'un flux négatif pourrait nous donner des maux de tête, vomissements, mauvaises humeurs, .. Son métier a pour but d'apporter du confort à un habitat, et de déplacer des flux d'énergies négatives à l'extérieur si elles se situent dans une maison. Il dit ressentir toutes les énergies, positives comme négatives, autour de lui et essaiera de les déplacer selon le besoin.

Contrairement à la biophilie, la géobiologie est une pratique sensorielle qui est ressentie et manipulable par une poignée de personnes prétendant être capable de discerner ces énergies. On retrouve la géobiologie dans des métiers tels que les magnétiseurs, les hypnothérapeutes et les géobiologues.²⁴

²² Volcler, Juliette. *L'orchestration du quotidien: design sonore et écoute au 21e siècle*. Paris: la Découverte, 2022.

²³ L'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

²⁴ Selon David Antunes, géobiologue et formateur en thérapie holistique (Communication par conférence, 2023/11/19)

La géobiologie est une pseudo-science, elle ne se fonde sur aucune méthode scientifique, cependant certaines de ces explications correspondent aux concepts de biophilie, un concept académique vérifié.

Lorsque David Antunes se trouve dans une maison, il dit ressentir l'énergie positive et négative des éléments l'entourant, selon lui, les éléments naturels comme le bois, la terre, les fruits, et autres éléments naturels émettent une énergie positive, contrairement aux éléments artificiels qui émettent de l'énergie négative. Également, un matériau procurant du bonheur, ou une sérénité à l'humain, dégage potentiellement une énergie positive.

On voit ici que David Antunes, sous couvert d'énergies, s'appuie sur des ressentis réels, ceux de la biophilie. Ce qui permet de favoriser les matériaux naturels et sains, plutôt que d'utiliser du béton, du plâtre, de la mousse expansive ou autres matériaux artificiels dans les intérieurs.

La raison qui nous pousse à parler de biophilie est le rapport à l'habitat sain qui permet le ressourcement. Le rapport à l'acoustique se fait par l'utilisation méticuleuse de matériaux naturels et sains pour améliorer la sensation de confort en plus du répit acoustique.

Les effets sur notre santé

Beaucoup de personnes travaillant en télétravail rencontrent des difficultés de concentration, l'acoustique et l'ambiance de la pièce de travail en sont l'une des causes. Les maisons standards ne sont pas adaptées au télétravail, les pièces sont souvent en plaque de plâtre et sont surdimensionnées. La pièce aura donc un temps de réverbération inadapté pour travailler dans un confort optimal. Il va être plus difficile de se concentrer longtemps et d'être productif. C'est notamment pour cette raison que beaucoup d'étudiants travaillent dans des bibliothèques publiques plutôt que de rester chez eux. Même si les bibliothèques sont des espaces habituellement très ouverts, l'atmosphère créée par l'atténuation des bruits via des moquettes, des étagères, des tissus, des murs perforés et autres permet d'avoir un temps de réverbération relativement agréable pour travailler.

L'effet Lombard est un phénomène qui arrive lorsqu'une personne parle alors que des bruits sont dans son environnement, instinctivement l'utilisateur parlera plus fort. Cet effet s'applique également lorsqu'on se trouve dans un lieu avec une résonance légère, l'oreille va capter plus de sons et par cet effet l'orateur voudra parler plus fort pour être plus entendu. Par contre, on va avoir tendance à parler moins fort dans les lieux avec une acoustique plus absorbée. Le temps de réverbération influe directement l'intelligibilité, si on veut être le plus compréhensible possible, alors il faudra avoir un temps de réverbération le plus petit possible. Certains rapports en psychoacoustique ont diagnostiqué que lorsque le temps de réverbération est très faible, la parole sera plus compréhensible, mais, l'atmosphère peut créer une certaine gêne, les personnes auront moins envie de communiquer entre elles. On peut retrouver cet exemple dans certains bureaux d'open space, pour éviter d'être distrait.

Il est plus difficile d'avoir une conversation entre plusieurs personnes lorsqu'un temps de réverbération est élevé. Les personnes doivent alors plus se concentrer, cela produit un état de fatigue plus rapide et augmente le taux de cortisol, l'hormone liée au stress. La productivité et l'envie de travailler s'affaiblissent et provoquent potentiellement une envie de distraction. Justement, en acoustique, il existe un terme qui s'appelle "L'effet cocktail party", il signifie un lieu où les usagers se sentent obligés de parler fort, car le son résonne beaucoup. Cet effet est très présent notamment dans les salles des fêtes ou les gymnases, des lieux n'ayant pas pour but d'apporter un confort acoustique aux utilisateurs. Un temps de réverbération adapté est donc nécessaire pour le bien-être et le confort des usagers.

B. Le confort selon Loos et Heidegger

La recherche du confort par le dimensionnement

Aujourd'hui, en école d'architecture, lors de la licence, nous travaillons chacune de ces trois années sur le logement. On nous parlait beaucoup du plan libre, mais on nous a parlé du Raumplan qu'en Master 2, par un cours qui n'existait pas jusqu'alors. Il présente bien plus d'aspects concernant le confort de l'habitat, il est dommage que ce ne soit pas plus présent dans le cursus architectural.

Le plan libre développé par Le Corbusier est une façon de créer des bâtiments de manière réversible, en effet, un logement peut changer de fonction, rien qu'en abattant quelques cloisons. Le plan libre est une technique de construction devenue conventionnelle aujourd'hui, qui dispose les étages à certaines hauteurs sur toute la surface du bâtiment, les uns par-dessus les autres, supportés uniquement par des poteaux porteurs. Il devient plus facile pour le dessinateur de disposer les pièces, car une trame est créée par le rythme des poteaux. Mais le problème avec cette manière de fonctionner, est que toutes les pièces ont alors la même hauteur sous plafond, alors qu'elles nécessitent chacune des hauteurs sous plafond et dimensions adaptées à leurs fonctions.

Le Raumplan créé par Adolf Loos, quant à lui, adapte les planchers en fonction des usages prévus dans chaque pièce, car selon Loos chaque pièce à un dimensionnement approprié. Les pièces plus intimes comme les dressings, toilettes et cuisines auront un dimensionnement assez étroit tandis que les pièces à vivre comme les salons et les halls seront plus amples. Également, la matérialité sera travaillée de manière à créer un confort de l'utilisateur. Son but est d'offrir un confort maximal aux habitants, selon lui les logements devraient s'autosuffire, sans nécessiter une belle vue, un bon climat ou autres. Il considère les fenêtres avant tout comme des surfaces permettant d'apporter de la lumière dans un lieu plutôt qu'une surface permettant de regarder l'extérieur. Il est persuadé que le bonheur se trouve dans son logement et non dans l'extérieur. Les façades de ses bâtiments sont pour la plupart du temps

simples et épurées. Selon lui, le but d'un architecte est de permettre à ses clients de vivre du mieux possible chez eux, de leur apporter un confort maximal, le but de l'architecte est avant tout de créer une architecture utile et agréable plutôt qu'esthétique. L'aspect intérieur est plus important que celui extérieur. C'est un des précurseurs de l'architecture minimaliste, il dénonce l'ornementation principalement en façade extérieure, en la considérant comme un crime²⁵, l'ornementation est quelque chose de cher qui a comme utilité d'embellir, et non d'être utile, c'est pour lui un gaspillage de matériaux. Il a souvent exagéré ses propos pour les rendre plus populaires, mais la plupart du temps, ils permettent de requestionner les sujets qu'il aborde, comme on a pu le voir dans la précédente partie avec ces citations sur l'acoustique.

La recherche du confort par la matière

À l'inverse, le théoricien Heidegger s'intéresse également à la question de l'habiter, notamment à l'aspect haptique des matériaux au sein d'un logement, mais considère qu'il est important d'apporter l'extérieur à l'intérieur en utilisant des matériaux de l'environnement proche. Dans son livre, Céline Bonicco²⁶ compare les écrits d'Heidegger à certains exemples architecturaux, comme la maison FallingWater de Frank Lloyd Wright. Par la création d'un salon, la maison transparaitra la roche sur laquelle elle s'implante en utilisant de la pierre comme matériau d'intérieur, le second matériau le plus utilisé est le bois, il rappelle la forêt dans laquelle s'implante la FallingWater. Tout le long de la pièce se trouve une vue vers le paysage forestier environnant.

Heidegger considère que le confort est plus important dans un espace respectueux et esthétique, rappelant la nature proche, plutôt qu'un espace intérieur utile et sublime comme le pense Loos. En effet, Loos intervient dans le logement en apportant des mobiliers, des tapis et des tableaux qui, pour lui, ne font qu'un avec le bâtiment, ce sont des éléments nécessaires au confort.

²⁵ Loos, Adolf. *Ornement et crime: et autres textes*. Paris: Éditions Payot et Rivages, 2003.

²⁶ Bonicco-Donato, Céline. *Heidegger et la question de l'habiter: une philosophie de l'architecture*. Collection Eupalinos. Marseille: Parenthèses, 2019.

Dans les deux cas, la chose la plus importante à mettre en avant est le confort de l'utilisateur.

Aujourd'hui, beaucoup d'habitations individuelles conventionnelles respectent le plan libre avec des hauteurs identiques dans chaque pièce, car il facilite la conception de l'ouvrage et le rend réversible, ce qui crée un manque de confort dans l'habitat en lui-même.

C. Le confort par l'acoustique

L'acoustique comme créateur d'ambiance

L'ambiance est la qualité du milieu qui environne et conditionne la vie quotidienne d'une personne, d'une collectivité²⁷.

« En première approximation, l'ambiance peut être définie comme un espace-temps éprouvé en terme sensible. Avec l'ambiance, il s'agit moins de percevoir un paysage ou de mesurer un environnement, que de ressentir des situations et d'éprouver la contexture sensible de la vie sociale. C'est dire que l'ambiance est de nature fondamentalement pluri-sensorielle, convoquant simultanément toutes les modalités de la perception (vision, audition, olfaction, toucher, goût, mouvement) »²⁸

En architecture, l'ambiance créée par un local permet à l'utilisateur de ressentir des émotions grâce aux stimuli de nos différents sens. L'atmosphère alentour active des performances sensori-motrices de notre corps qui nous font ressentir des émotions : tristesse, joie, nostalgie, etc..

Le mot ambiance est intimement lié au calme, au bien-être et à l'intimité. Lorsque l'on parle de mettre un son d'ambiance, ou une lumière d'ambiance,

²⁷ Définition "ambiance", CNRTL

²⁸ Marchand, Dorothée, Enric Pol et Karine Weiss, "Psychologie environnementale: 100 notions clés", Univers psy. Malakoff: Dunod, 2022. Chapitre « Ambiance » par Jean-Paul Thibault, page 20-21,

cela signifie souvent d'apporter un éclairage, ou une musique calme ou intime, souvent très faible, apportant une sérénité à l'utilisateur.

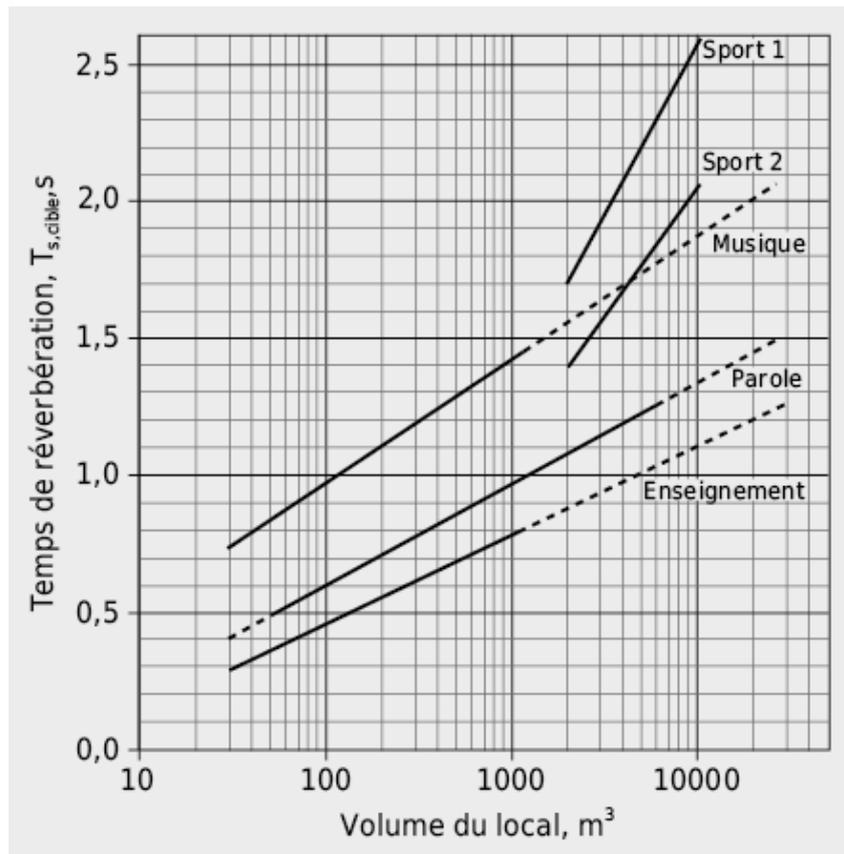
Au travers de deux projets, nous expliquerons comment l'architecte a réussi à créer une ambiance. D'abord, la FallingWater de Frank Lloyd Wright, construite en 1939, est un exemple de la création d'ambiance, il amène l'extérieur à l'intérieur et crée des ressentis par l'utilisation ingénieuse des matériaux choisis. Dans un second temps, les thermes de Vals, de Peter Zumthor, réalisé en 1996, il est l'exemple de la création de bien-être en architecture par l'effet des cinq sens. Ces thermes sont une halte presque obligatoire au pèlerinage d'un architecte dans une vie.²⁹

Comme vu précédemment, l'architecture peut créer des ambiances par un travail de la matière. Pour avoir une atmosphère agréable, il existe des normes françaises qui établissent un seuil de temps de réverbération en fonction des usages d'un espace. La norme DIN 18041, datant de mars 2016, adapte ce temps de réverbération en fonction du volume de la pièce et de son usage, de manière linéaire avec un groupe de personnes ou avec peu de personnes. (III.5)

On remarque que plus un local sera grand, plus il nécessitera un temps de réverbération faible, cela est dû à la plus grande présence de personnes dans le local qui eux-mêmes atténuent les sons ambiants. L'abbaye du Thoronet est un lieu dans lequel le temps de réverbération peut dépasser 10 secondes lorsque la pièce est vide. Un test a été réalisé avec une assemblée de 700 personnes et la résonance de la pièce s'est volatilisée. En effet, la fréquentation d'un lieu est un élément à prendre en compte dans la définition du seuil de confort de ce même espace.³⁰

²⁹ Site archivé : ARtchidesign, "Les thermes de Vals Peter Zumthor / Vals - Suisse / 1996", 04/11/2013 <https://archive.wikiwix.com/cache/index2.php?url=http%3A%2F%2Fartchidesign.fr%2Fles-thermes-de-val-s-peter-zumthor-vals-suisse-1996%2F#federation=archive.wikiwix.com&tab=url>

³⁰ Machart Renaud, "Le Thoronet, un miracle sonore", *Le Monde*, 22/07/2006



III.5 : Graphique des temps de réverbérations par rapport à leurs volumes et usages, Loi DIN 18041, 2016

Falling water

Frank Lloyd Wright a travaillé son projet comme un extérieur se révélant à l'intérieur du bâtiment. Le projet se situe dans une forêt, au-dessus de la rivière "bear run", accolée à une roche. L'architecte a décidé d'utiliser des matériaux de l'environnement proche pour les intégrer dans le projet. De cette manière, l'habitant sera dans une atmosphère agréable et saine qui rappellera la nature environnante. On retrouve dans le salon, l'utilisation de matériaux comme le bois, le plâtre et la pierre pour les matériaux de masse, et l'utilisation de moquettes et de mousses pour les matériaux ressorts. (III.6) Frank Lloyd Wright joue de deux aspects contraires pour donner une acoustique agréable à la pièce de vie. L'acoustique est à la fois atténuée par l'aspérité du rocher sur lequel s'implante une cheminée, atténuée également avec une étagère ainsi qu'une cloison en bois ajourée. Néanmoins, la pierre et le béton utilisé ne sont

pas des éléments qui réduisent le temps de réverbération de la pièce, en effet un salon doit avoir un temps de réverbération qui ne doit pas être trop faible. Le salon, ayant une bonne qualité acoustique, se trouve à la fois être un espace agréable avec une atmosphère saine grâce aux matériaux utilisés.



Ill.6 : Salon de la maison des invités, Photo de JeremyWeate, FallingWater, Frank Lloyd Wright, 29/09/2017, <https://www.flickr.com/photos/73542590@N00/37365362916/>

Thermes de vals

Les thermes de Vals se situent dans la vallée de Vals-Les-Bains en Suisse, le bâtiment s'implante dans la pente de la vallée. Peter Zumthor, lorsqu'il imagine ce premier bâtiment de sa carrière d'architecte, souhaite créer une structure qui exalte tous les sens de notre corps.

D'abord, la vue, il veut que son bâtiment ressemble à une grande roche qui cadre des vues sur le paysage montagneux et qui offre des jeux de lumière pour mettre en évidence certains aspects de son architecture. L'Odorat, par l'aspect olfactif des matériaux qu'il utilise dans quelques salles de ces termes, choisit des essences de bois qui ont une odeur spécifique notamment pour relaxer les usagers. Le sens du toucher, car l'aspect tactile des matériaux procure une sensation bien spéciale. En effet, la rugosité des murs en pierres

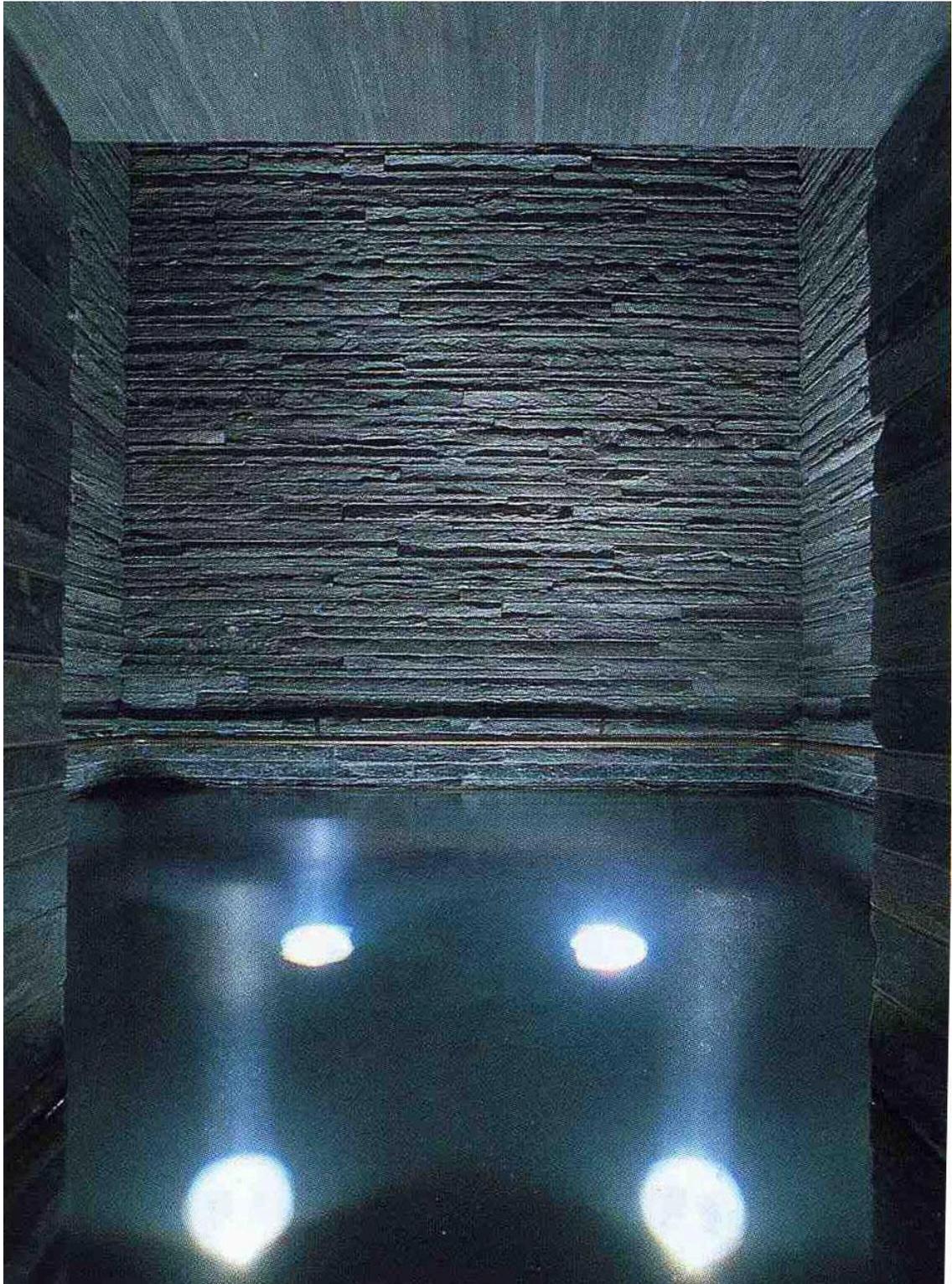
et l'aspect lisse, mais qui laisse transparaître quelques imperfections des structures en aciers, sont à la fois froids, et pourtant très attrayants. Le goût est, lui aussi, mis en avant dans son projet, il propose, en suivant une fontaine d'acier, de goûter l'eau de la montagne qui ruisselle et appelle en s'éclaboussant sur une plaque d'acier.

“Je me rappelle avoir lu dans une description que l'on pouvait boire l'eau directement de la source dans un espace dédié. C'est peut-être à cet endroit-là. Cependant, je n'avais pas envie de boire dans ces récipients que tout le monde peut utiliser. Ce n'est pas très hygiénique. Je tends alors la paume de ma main sous la source et goûte l'eau. Je la recrache quelques secondes après. Elle avait un goût minéral très prononcé. J'avais presque aussi l'impression d'avoir léché le cuivre qu'elle effleure.”³¹

Enfin, l'Ouïe, présent dans l'entièreté de son projet, que ce soit par la présence du silence dans les salles visant à se recentrer sur soi-même ou par l'invitation à goûter l'eau en faisant résonner des éclaboussures sur l'acier. Également, de manière plus sobre, en cloisonnant le nageur dans des tunnels étroits avec une faible hauteur sous plafond. Cela laisse l'auditeur avec le son que réverbère son propre corps nageant dans cet espace cloisonné, le temps de réverbération de ce lieu est assez élevé, pourtant il permet par ailleurs de se recentrer sur soi-même, cette espace est si restreint que l'on ne peut qu'être seul. (III.7)

³¹ Cognon Gaétan, “Appréhension de l'architecture en tant qu'espace sensible”, Mémoire d'architecture, sous la direction de Andrés Martinez, ville, école nationale supérieure de Montpellier, 2020, p.27

Dans son mémoire, il dédie une partie à un récit de son aventure dans les thermes de vals. N'étant jamais allé, il nous a beaucoup aidés pour la compréhension de ce lieu prestigieux.



Ill.7 : Salle étroite et réverbérante permettant au nageur d'entendre son propre bruit, Photo de Gaétan Cognon, "Appréhension de l'architecture en tant qu'espace sensible", Thermes de Vals, Peter Zumthor, 2020

Toute la mise en scène de l'architecte procure un éveil des cinq sens. Selon Peter Zumthor, le ressourcement est possible grâce au silence, au mystère et au vide.

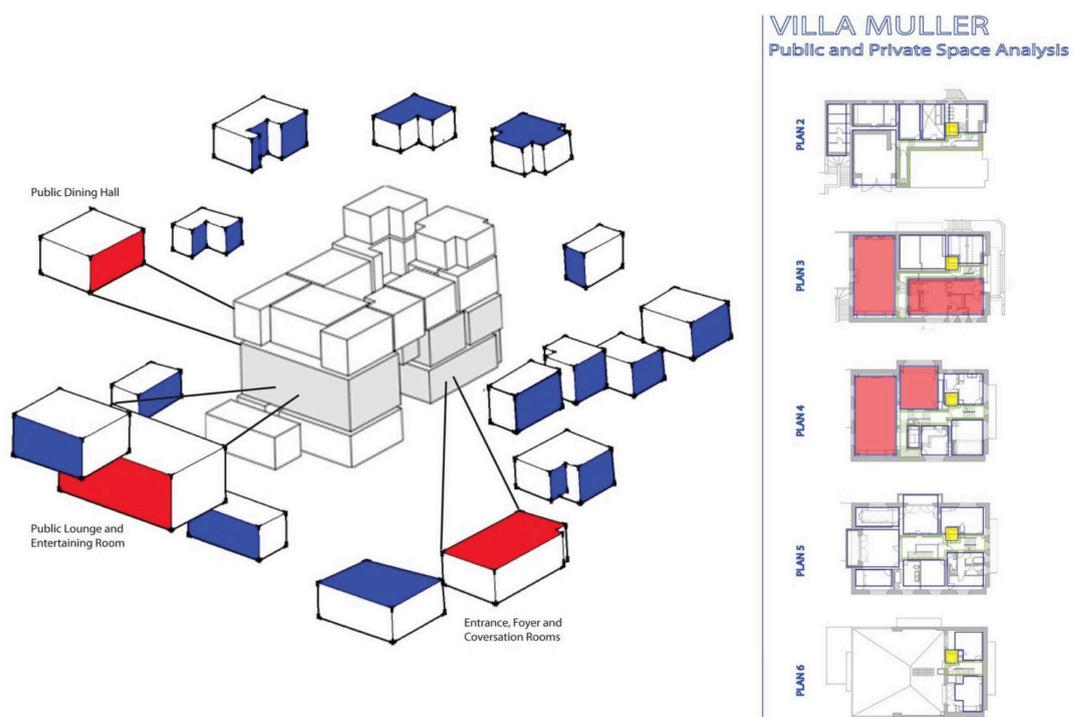
« Peter Zumthor, dans ce projet, cherche à développer un mode de communication susceptible de toucher le destinataire. L'univers minéral, les effets de lumière, l'intervention de nos sens (olfactif, tactiles, auditifs, visuels) nous invitent à découvrir une expérience unique : celle du silence, du mystère, du vide. Le lieu suggère au destinataire d'interpréter le lieu uniquement avec ses sens et son corps. C'est ainsi que Peter Zumthor définit la notion de ressourcement. L'espace de bain devient un espace pour le corps et l'esprit. »³²

La prise en compte de l'acoustique dans le projet architectural amène à créer des ambiances. Ce confort créé permet aux usagers de ressentir différentes émotions. Cette notion de confort est très importante, comme l'ont montré Adolf Loos et Martin Heidegger, elle est encore aujourd'hui définie de différentes manières, il est important de prendre en compte tous ces avis pour chercher à apporter un confort à une plus grande échelle, en effet, le confort est un ressenti personnel, différent à chaque individu.

³² Site archivé : ARtchidesign, "Les thermes de Vals Peter Zumthor / Vals - Suisse / 1996", 04/11/2013 <https://archive.wikiwix.com/cache/index2.php?url=http%3A%2F%2Fartchidesign.fr%2Fles-thermes-de-vals-peter-zumthor-vals-suisse-1996%2F#federation=archive.wikiwix.com&tab=url>

III. À la recherche de l'optimisation

Cette troisième partie se concentre sur la Villa Müller, imaginée par Adolf Loos, à Prague et vise à poursuivre son travail sur l'optimisation du confort des usagers. Cette maison a été construite pour la famille Muller, de riche propriétaire qui souhaitent s'installer à Prague. Adolf Loos a décidé de donner un aspect simple et fonctionnaliste d'extérieur et d'apporter une richesse à l'intérieur pour assurer un confort optimal à cette famille. Cette villa suit le Raumplan, les pièces sont comme des cubes ayant chacun des dimensions personnelles disposées les unes autour et au-dessus des autres. (III.8)



III.8 : Représentation des pièces sous forme de cube pour décrire cette Villa, Neuvesse, Jelassi et Lahlou, "AI 2A 2012-16 S2 Analyse - Villa Muller - Loos 7", 2016

A. Protocole d'amélioration acoustique

N'ayant pas eu l'occasion de visiter la villa, les supports sur lesquels nous nous appuyons seront un ensemble de plans et de photographies des intérieurs. Il paraît important de confronter le travail de Loos face aux citations évoquées précédemment. Surtout que cette villa semble être l'apogée de sa recherche de confort vis-à-vis du Raumplan, effectivement, il est le support le plus utilisé dans les explications du Raumplan.

Il est donc pertinent d'effectuer un travail d'analyse poussé sur ce projet pour en développer un équivalent acoustique dont les réponses sont architecturales, et visent un confort optimal.

Il est important de noter qu'Adolf Loos a réalisé ce projet en visant la notion de confort qui lui est propre, expliquée en partie 2. Nous allons chercher à accentuer ce confort grâce à l'acoustique, et par une recherche de solutions architecturales.

Adolf Loos, lors de la création de la Villa Müller, a voulu la rendre la plus agréable possible par rapport à chaque usage de la maison. C'est un bâtiment qui sert souvent d'exemple pour expliquer le Raumplan. Les dimensions des pièces ont une taille agréable et adaptée, ce qui permet à l'habitant de se sentir bien.

Après avoir effectué une analyse acoustique de la maison grâce à la formule de Sabine, nous avons pu remarquer qu'un problème de réverbération se révélerait dans le cas où le mobilier superflu choisi par Adolf Loos ne serait plus présent sur le lieu. Sans les suppléments intérieurs que l'architecte a choisis, que ce soit les tapis, certains mobiliers ou les tableaux, l'acoustique serait inadaptée.

Afin d'en faire une maison optimale au confort de l'habitant comme l'a voulu initialement Adolf Loos, nous allons chercher à améliorer l'acoustique des pièces, et cela, sans avoir recours à différentes ornementsations et mobiliers intérieurs. Cela se fera tout en respectant l'architecture de Loos, en conservant

l'aspect des surfaces, les emplacements des murs et des ouvertures, car cela joue un rôle très important dans l'apport de lumière souhaité par l'architecte.

À partir des plans et des coupes de la Villa, il a été possible de relever un certain nombre de pièces intéressantes à retravailler. (III.9)

Les principaux espaces étudiés sont ceux qui relèvent d'une utilisation essentielle et universelle à toute maison de mêmes dimensions, et dont l'acoustique présentait de potentielles faiblesses. Nous parlerons donc de la chambre parentale, ainsi qu'une des chambres pour enfants, le bureau, le grand salon, réputé comme exemplaire de l'architecture de Loos, ainsi que la cuisine, la salle à manger, et enfin le hall d'entrée et les toilettes.

Il n'existe pas de seuil de temps de réverbération optimal dans les pièces d'un habitat, nous allons donc estimer des seuils en nous basant sur des ressentis personnels et un livre de Junichiro Tanizaki.

Le ressenti varie en fonction de chaque individu, nous sommes tous différents et avons des besoins différents. Dans cette analyse, les seuils seront expliqués selon des ressentis et une logique qui suit les normes connues, comme dans les bureaux, dont le seuil du temps de réverbération doit se situer entre 0.4 et 0.8 seconde en fonction des individus.³³

Pièce	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Volume (m3)	Surface de murs	Surface de Plancher	Surface de plafond	Surface vitrée
Chambre enfant	6,1/2,35	4,23/1,685	3,34	72,9564 55	76,6642	21,84325	21,84325	3,596
Chambre parentale	5,83	4,8	3,34	93,4665 6	62,6104	27,984	16,032	8,398
Bureau	4,9/-2,05	2,23/-1,68	2,8	20,9524	38,488	7,483	7,483	1,44
Grand salon	10,5	5,55	4,02	234,265 5	113,542	58,275	22,311	15,5
Salle à manger	4,95	4,76	2,83	66,6804 6	47,1486	23,562	13,4708	7,81
Cuisine	4,235	3,4	2,83	40,7491 7	39,6541	14,399	9,622	3,56
WC	2,4	1,475	2,72	9,6288	19,579	3,54	4,012	1,501
Entrée	4,15	1,5	2,72	16,932	26,656	6,225	4,08	0

III. 9 : Tableau de dimension des pièces de la Villa Müller, Lucas Bisson, 15/01/2024

³³ Norme en vigueur, NF S 31-080, janvier 2006

Pour améliorer l'acoustique et offrir un confort plus adapté aux pièces, il est d'abord nécessaire de répertorier les coefficients acoustiques des matériaux et de certains mobiliers nécessaires à chaque espace, pour les utiliser ensuite dans les calculs de la formule de Sabine (III.10 et III.11).

Matériau	125 (Hz)	250 (Hz)	500 (Hz)	1000 (Hz)	2000 (Hz)	4000 (Hz)
Plâtre	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,04
Béton Chaux Chanvre allégé	0,1	0,3	0,78	0,5	0,7	
Bois bardage intérieur	0,1	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04
Pierre poli	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Vitre	0,08	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
Carrelage	0,05	0,08	0,02	0,03	0,03	0,03
Marbre	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Rideaux	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,37
Parquet Bois	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06
Bois Vernis	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
Linoléum	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05
Tomettes	0,05	0,08	0,02	0,03	0,02	0,02
Béton Chaux Chanvre compact	0,1	0,3	0,3	0,35	0,4	

III.10 : Tableaux représentant le coefficient absorption acoustique de matériaux sous différentes fréquences, Lucas Bisson, 15/01/2024

Mobilier	125 (Hz)	250 (Hz)	500 (Hz)	1000 (Hz)	2000 (Hz)	4000 (Hz)
Canapé 2p	1,4	1,8	2,4	2,8	3,2	3,6
Canapé 3p	2,1	2,3	3,2	4	4,7	5,2
Fauteuil	0.15	0.20	0,3	0,4	0,5	0,6
Chaise	0,1	0,12	0,17	0,2	0,35	0,5
Table	0,22	0,28	0,25	0,2	0,2	0,28
Bureau	0,6	0,4	0,18	0,18	0,18	0,18
Étagère	0,25	0,25	0,35	0,4	0,6	0,9

III.11 : Tableaux représentant le coefficient absorption acoustique de mobiliers sous différentes fréquences, Lucas Bisson, 15/01/2024

Pour avoir un résultat plus précis, il est nécessaire d'effectuer les calculs sous trois différentes fréquences, soit les fréquences de la voix humaine, à 500, 1000 et 2000 Hz³⁴, représentés par un fond bleu sur les tableaux. Ensuite, il faut effectuer la moyenne de ces trois résultats.

Comme présenté sur le tableau représentant le temps de réverbération théorique des pièces suivant les matériaux initiaux, (III.12) nous avons défini hypothétiquement les temps de réverbération initiaux des pièces de la Villa Müller.

Ces temps sont bien plus élevés que les seuils que nous avons définis, il faudra donc effectuer quelques changements pour obtenir une acoustique optimale.

³⁴ Selon Alexandre Durr, Acousticien chez GreenAffair (Entretien en annexe, 2023/11/24)

	Sabine			Valeur acoustique initiale	Tolérance 0,15
Pièce	500 Hz (s)	1000 Hz (s)	2000 Hz (s)	Moyenne 500-1000-2000 Hz	Temps de réverbération espéré (s)
Chambre enfant	3,021	2,313	1,953	2,43	0,5
Chambre parentale	3,799	3,001	2,636	3,15	0,4
Bureau	0,876	0,754	0,648	0,76	0,3
Grand salon	3,148	2,807	2,609	2,85	0,8
Salle à manger	2,063	1,792	1,480	1,78	0,7
Cuisine	3,074	2,374	2,041	2,50	0,5
WC	1,688	1,307	1,104	1,37	0,3
Entrée	2,238	1,722	1,445	1,80	0,4

Ill.12 : Tableau représentant le temps de réverbération théorique des pièces suivant les matériaux initiaux, Lucas Bisson, 15/01/2024

À partir des qualités des matériaux existants, nous comparons ces derniers à des matériaux possédant un meilleur coefficient acoustique pour améliorer le temps de réverbération des pièces. Le but est de chercher un matériau alternatif qui se rapproche le plus possible de l'esthétique du matériau initial souhaité par Loos, en le remplaçant par un matériau ayant un coefficient d'absorption acoustique plus efficace que celui prévu initialement.

Par exemple, pour remplacer un bois vernis ayant un coefficient acoustique peu efficace, nous pourrions choisir un bois d'aspect lisse ayant un coefficient plus adapté. Le plâtre utilisé par Adolf Loos pourrait se décliner en un mélange de béton de chaux-chanvre blanc, l'aspect blanc du plâtre restera présent, mais avec une meilleure qualité acoustique. Ce matériau naturel, écologique et sain, répond aux attentes des biophiliques pour avoir un matériau qui amène du bonheur dans l'habitat. Le béton de chaux-chanvre est un matériau innovant et très pratique, il a été testé en laboratoire en 2018³⁵ pour en définir les coefficients acoustiques. Ce matériau à plusieurs propriétés,

³⁵ Arthur Hellouin de Menibus, Matthias Degrave Lemeurs, Philippe Glé, (2019). Propriétés acoustiques des bétons biosourcés à base de chanvre et de liant chaux ou argile. *Academic Journal of Civil Engineering*, 36(1), 620-623.

il peut être allégé, moyen ou alourdi. En fonction de la quantité de chanvre à l'intérieur, le matériau possède des densités plus ou moins élevées qui permettent de l'utiliser soit comme un matériau masse, soit comme un matériau ressort. C'est un matériau naturel et possédant une liberté dans l'isolation souhaitée. Tous les matériaux n'ont pas encore été vérifiés en laboratoire, par exemple, la plupart des déclinaisons du matériau terre n'ont pas encore été testées.

	Sabine			Valeur acoustique modifiée	Tolérance 0,15 ou 0,1
Pièce	500 HZ (s)	1000 HZ (s)	2000 HZ (s)	Moyenne 500-1000-2000 Hz	Temps de réverbération espéré (s)
Chambre enfant	0,353	0,509	0,386	0,42	0,5
Chambre parentale	0,299	0,450	0,328	0,36	0,4
Bureau	0,190	0,263	0,194	0,22	0,3
Grand salon	0,698	0,961	0,741	0,80	0,8
Salle à manger	0,637	0,818	0,619	0,69	0,7
Cuisine	0,528	0,449	0,394	0,46	0,5
WC	0,249	0,214	0,189	0,22	0,3
Entrée	0,335	0,285	0,251	0,29	0,4

Ill.13 : Tableau représentant le temps de réverbération théorique des pièces suivant la correction acoustique, Lucas Bisson, 15/01/2024

Pour avoir un temps de réverbération juste, les acousticiens se donnent un seuil maximal inférieur à celui prescrit pour être sûr de ne pas dépasser lors du test final. Avec l'emplacement du mobilier ajouté après les calculs, et le type de matière les recouvrant, le temps de réverbération peut alors se modifier. Ici, nous choisirons des seuils qui nous semblent corrects et justifiés.

Ajouter un seuil inférieur n'est ici pas nécessaire, puisque les temps de réverbération sont déjà faibles et qu'ils ne doivent pas être trop proches de zéro, au risque de créer un inconfort. Nous allons donc remplacer le seuil

inférieur par une tolérance inférieure d'environ 0.15 seconde pour les pièces ayant une espérance de temps de réverbération de plus de 0.4 seconde. Pour celles qui ont un temps de réverbération plus faible, la tolérance le sera aussi et passera à 0.1 seconde, pour éviter d'avoir un temps de réverbération trop proche de zéro. (III.13) Effectivement, il est impossible d'obtenir un temps de réverbération exact en modifiant uniquement les murs, sols et plafonds et en conservant une homogénéité de l'architecture de Loos.

B. L'acoustique comme créateur de ressentis

Chambres

La chambre parentale est la pièce la plus réverbérante, elle est sûrement la pièce nécessitant le plus d'attention quant à son acoustique. En effet, la pièce possède une grande dimension et son acoustique n'est pas atténuée par des étagères ou d'autres éléments de mobilier, puisque les rangements se situent dans d'autres pièces. (III.14)

Cette grande chambre est exclusivement meublée par un lit double, une petite table et deux chaises. La chambre étant l'espace de repos et d'intimité privé, il semble nécessaire que son ambiance soit la plus paisible et apaisante possible. Comme le montre le tableau des valeurs acoustiques initiales, le temps de réverbération hypothétique est dans les environs de 3.15 secondes. Faire chuter ce temps à 0.4 seconde serait un minimum pour assurer un confort optimal. En remplaçant exclusivement les murs en plâtre par un béton de chaux-chanvre, le temps de réverbération descend directement à 0.36 seconde, cela est suffisant et s'inscrit dans la tolérance de 0.15 seconde.

Les chambres d'enfants ne nécessitent pas une réverbération aussi faible. Les jeunes sont plus sensibles au monde qui les entoure, et puisque le temps de réverbération dépend de la dimension d'une pièce, si la dimension et le temps de réverbération ne sont pas communs, l'enfant peut ressentir une

sensation de malaise.³⁶ (III.15) Suivant ces informations, le temps de réverbération de la chambre pour enfant optimale est dans les alentours de 0.5 seconde. Ici, en remplaçant les murs en plâtre par deux murs en bois et deux murs en béton de chaux-chanvre allégés, et en remplaçant le sol en linoléum par un sol en bois vernis, le temps passe de 2.43 secondes à 0.42 seconde.



III. 14 : Chambre parentale, Photo "Villa Müller", Eva Turečková, 10/12/2020

III. 15 : Chambre d'enfant, Photo "Villa Müller", Eva Turečková, 10/12/2020

Bureau

Le bureau existant possède déjà une bonne acoustique. La pièce est un volume restreint possédant plusieurs étagères qui réduisent dès lors son temps de réverbération. (III.16) Le temps de réverbération se situe déjà entre 0.4 et 0.8. Grâce à l'ensemble des mobiliers présents, la pièce a une réverbération de 0.76 seconde.

Pour travailler dans de bonnes conditions, il ne faut pas avoir un temps de réverbération trop élevée, autrement, on risque de se distraire trop facilement. Pour y associer une ambiance calme, qui permettra de maintenir une meilleure concentration, le seuil idéal se situerait dans les environs de 0.3 seconde. En remplaçant les murs en plâtre par deux murs en bois, qui répondrait aux étagères incrustées et deux murs en béton de chaux chanvre allégés, le temps de réverbération descend à 0.22 seconde.

³⁶Selon Alexandre Durr, Acousticien chez GreenAffair (Entretien en annexe, 2023/11/24)



Ill. 16 : Bureau, Bibliothèque, Photo "Villa Müller", Eva Turečková, 10/12/2020

Salon

Le grand salon est la pièce maîtresse de cette villa. C'est la première pièce dans laquelle on arrive lorsque l'on monte les étages. (Ill.17) Son importance est notamment mise en avant par une hauteur sous plafond de 4 mètres, et Loos a utilisé des matériaux très réverbérants comme du marbre et du plâtre. Les tableaux et les six tapis qui jonchent la pièce diminuent ce temps, mais il reste encore très important.

Le salon étant un espace convivial, il semble nécessaire que son ambiance soit la plus chaleureuse possible. Selon les calculs du temps initial avec du marbre, du plâtre et du mobilier, il serait approximativement dans les 2.85 secondes. Cette pièce s'illustrerait d'autant plus avec un temps de réverbération qui ne dépasserait pas 0.8 seconde. En remplaçant le plâtre par du béton de chaux-chanvre allégé, le temps est aussitôt réduit à 0.8 seconde.



Ill. 17 : Salon, Photo de Frédéric Morin, architecte-conférencier 10/06/2023

Salle à manger

La salle à manger est une pièce dans laquelle on est pour la plupart du temps assis, une grande hauteur sous plafond n'est donc pas nécessaire. Adolf Loos a fait le choix de dédier cette salle à la table à manger. Ses dimensions permettent uniquement la présence de cette dernière (Ill.18).

L'acoustique est alors plus facile à travailler puisque le volume de la pièce est moins important. Les sons sont principalement des bruits aériens. Le temps de réverbération idéal devrait se situer vers les 0.7 seconde. Cette pièce possède quelques meubles en bois lisse. Si on remplace le plâtre des murs de béton de chaux-chanvre allégé, le temps de réverbération passe de 1.78 seconde à 0.69 seconde et répond au seuil prévu.



Ill.18 : Salle à manger, Photo "Villa Müller", Eva Turečková, 10/12/2020

Cuisine

Aujourd'hui, la cuisine est une pièce bruyante, que ce soit à cause des robots ménagers ou tout simplement avec le bruit de la vaisselle, ce ne sont pas des bruits agréables à entendre et ces derniers peuvent être très forts. (Ill.19) Cette pièce nécessite d'être insonorisée vis-à-vis des autres pièces avec un matériau masse. L'acoustique initiale de cet espace est assez élevée, car l'architecte a décidé d'utiliser du linoléum sur le sol pour des raisons pratiques et les murs sont uniquement en plâtre. La cuisine est trop petite pour mettre beaucoup de mobilier, ce qui influe sur la résonance de la pièce. Les sons sont à la fois aériens et solidiens, il faudra modifier en prenant en compte les bruits de chocs.

On ne souhaite pas avoir un grand temps de réverbération dans une pièce où il y a beaucoup d'ustensiles qui font du bruit métallique. Le temps de réverbération idéal dans cette pièce serait d'environ 0.5 seconde. Pour arriver à ce seuil, nous décidons de mettre du béton de chaux-chanvre compact à la place des murs en plâtre, un matériau ayant comme capacité d'être à la fois ressort et masse. Il permet à la fois de réduire la réverbération de la pièce, tout en évitant de transmettre les bruits aux autres pièces par sa fonction de matériau masse. En faisant uniquement cela, la pièce aurait une réverbération trop basse, ce qui pourrait être désagréable. De ce fait, il peut être intéressant de remplacer le linoléum par un carrelage, un matériau tout aussi pratique au nettoyage et qui absorbe moins les sons. La résonance de la pièce passerait de 2.50 secondes à 0.46 seconde.



Ill. 19 : Cuisine, "16", Photo de Stephen Varady, 07/04/2018

WC

Comme le précise Junichiro Tanizaki dans son livre "L'éloge de l'ombre", toutes les pièces ont une importance, même les toilettes. Au Japon, le confort au sein des toilettes est très important, notamment dans celles extérieures au bâtiment, dans les temples, ce lieu est "*aux sommets du raffinement*"³⁷.

³⁷ Pallasmaa, Juhani, et Mathilde Bellaigue. *Le regard des sens*. Librairie de l'architecture et de la ville. Paris : Éd. du Linteau, 2010.

"Au risque de me répéter, j'ajouterai d'ailleurs qu'une certaine qualité de pénombre, une propreté absolue et un silence tel que le chant d'un moustique offenseraient l'oreille, sont des conditions indispensables."³⁸

Ici, Tanizaki explique qu'il est indispensable d'avoir un silence absolu. On considère que cela permet de se recentrer sur soi-même, car l'espace est intime et nous sommes seuls dans l'espace environnant. Alors, nous allons estimer un temps de réverbération adapté de 0.3 seconde. Contrairement aux toilettes dont parle Tanizaki, il sera impossible de respecter ce choix. Effectivement, une fenêtre a déjà été imaginée par l'architecte et on ne peut pas l'enlever. Dans les conditions actuelles de la pièce, recouvrir l'espace de bois tel que l'idolâtre Tanizaki n'est pas une solution, puisque le temps de réverbération serait encore trop élevé pour avoir un silence absolu. En ajoutant un mélange de béton de chaux-chanvre compact à la place des murs en plâtre et du bois sur le plafond et le sol, le temps de réverbération diminuerait jusqu'à atteindre 0.22 seconde. Un coefficient inférieur à celui espéré et qui respecte la tolérance de 0.1 seconde pour les seuils inférieurs à 0.5 seconde.

Hall d'entrée

Le hall d'entrée est la première pièce dans laquelle l'habitant entre. Elle est essentielle à l'introduction du bâtiment, c'est la première impression qu'offre le logement (III.20). Le hall est un espace dans lequel on ne reste pas très longtemps, les bruits que l'on fait sont ceux de nos vêtements que l'on retire, les vibrations dues aux chocs lorsqu'on s'appuie contre un mur et ceux des éclats de voix assez forts. Il y a autant de bruits aériens que de bruits solidiens. Nous allons estimer un temps de réverbération dans les alentours de 0.4 seconde. L'ambiance doit permettre de donner une première expérience du lieu dans lequel on rentre. En remplaçant les murs en plâtre par un béton de ciment de chaux-chanvre compact de la même couleur que ceux initiaux,

³⁸ Pallasmaa, Juhani, et Mathilde Bellaigue. *Le regard des sens*. Librairie de l'architecture et de la ville. Paris : Éd. du Linteau, 2010.

les bruits des éclats de voix ne traverseraient plus les pièces. Le temps de réverbération atteindrait 0.29 seconde au lieu de 1.8 seconde initialement. L'entrée dans la Villa pourrait laisser une impression positive par son acoustique dès le premier pas dans le hall d'entrée.



Ill. 20 : Hall d'entrée, Photo de Martin Polak, autorisé par le musée de la ville de Prague

Au travers de cette analyse, nous avons pu démontrer que l'acoustique a un rôle à jouer dans l'architecture d'un logement. Effectivement, elle améliore la concentration dans un bureau, elle permet de créer une ambiance plus chaleureuse dans le salon, un temps de réverbération plus faible aidera au repos dans une chambre. Lors de cette analyse, nous avons modulé l'espace pour avoir moins d'ornementations, ce lieu peut convenir et être aménagé par des habitants sans nécessité de décorations obligatoire, néanmoins, nous avons décidé de garder les meubles communs aux usages de chaque pièce dans nos calculs. L'acoustique fait entièrement partie du confort de l'habitant, elle l'amène à avoir un répit de l'environnement extérieur comme le souhaitait initialement Adolf Loos lors de la création de cette villa. Il est alors préférable de choisir des matériaux avec des bonnes propriétés acoustiques tout en gardant un aspect naturel quand c'est possible.

Conclusion

Tout du long de ce mémoire, nous avons pu observer que l'acoustique est un élément fort à prendre en compte dans le confort humain, notamment dans l'habitat.

Nous avons d'abord pu comprendre les différents types sons qui sont importants à traiter et desquels on souhaite se protéger. D'une part les sons aériens comme la voie, qui sont les plus entendus, et d'autre part les sons dits "solidiens" qui sont ceux des vibrations ou de chocs dans des parois. Les sons aériens sont les plus présents et donc les plus importants à traiter pour créer un confort acoustique.

Ce confort acoustique, qui permet le repos et le répit auditif, est possible grâce à un temps de réverbération adapté dans chaque pièce. La science pour calculer ces phénomènes est récente, Clement Wallace Sabine, a créé une formule permettant de calculer ce temps de réverbération en 1900. Cette formule a été créée initialement pour comprendre et améliorer l'acoustique des salles de théâtre et de concert. Cette formule est utilisée encore aujourd'hui par les acousticiens et aide à vérifier la qualité acoustique d'une pièce.

Bien qu'elle soit la plus utilisée, il existe plusieurs éléments que cette formule ne prend pas en compte, la science autour de l'acoustique est en pleine évolution, et certains mystères ne sont toujours pas résolus, notamment, le ressenti des individus. Adolf Loos en parlait en 1912, comme un mystère acoustique qui n'était pas explicable mathématiquement.

Aujourd'hui, nous voulons nous protéger des bruits environnants, mais oublions notre propre confort. En effet, dans l'architecture de l'habitat, nous nous protégeons grâce à des parois composites "masse, ressort, masse" permettant de s'isoler acoustiquement de son voisin, mais nous oublions de nous protéger de notre propre bruit. Comme on a pu le voir, certains effets, comme l'effet lombard ou l'effet cocktail party, peuvent nous atteindre et nous

faire nous sentir mal, d'où l'importance de s'intéresser au temps de réverbération. Cela amène à rechercher un confort optimal qui permettrait de se sentir bien et de se ressourcer.

Il existe divers avis de ce qui définit le confort et le bonheur dans l'habitat. Bien que le ressenti soit une perception personnelle propre à chacun, il est tout de même important de comprendre les recommandations évoquées par différents acteurs. D'une part, l'habitat "sain", décrit par l'ADEME, est un habitat répondant à une meilleure qualité de l'air et à un impact carbone faible. C'est ce que confirme David Antunes, un géobiologue biophilique, qui explique qu'un matériau sain, en plus d'avoir un faible impact carbone, augmentera notre bonheur en diffusant des ondes positives.

Martin Heidegger et Adolf Loos ont tous les deux une pensée du confort de l'utilisateur dans l'habitat, l'un interpellant le fait d'avoir un lien haptique entre l'extérieur et l'intérieur, rappelant la nature proche. Tandis qu'Adolf Loos, lui, grâce au Raumplan, assure le fait d'avoir un dimensionnement de pièces par la hauteur, la largeur, et la longueur adaptée au corps et à l'utilisation de l'espace, par une hiérarchisation de l'intimité des espaces. Il accorde également une importance bien supérieure aux espaces intérieurs, que l'on vit chaque jour, plutôt qu'aux espaces extérieurs, qui sont moins vécus.

Par ailleurs, il existe des normes prédéfinies pour assurer un confort dans certains lieux comme on a pu le voir avec les bureaux. À partir de toutes ces infos, nous avons démontré une utilisation optimale de l'acoustique dans la Villa Muller pour un confort de l'utilisateur. Cette villa, en plus d'avoir un confort voulu par Loos grâce à ses dimensions, nous avons pareillement intégré les recommandations précédemment établies. Le plâtre, remplacé par un béton de chaux-chanvre, permet d'apporter un matériau naturel, émettant des ondes positives, avec un impact carbone faible, tout en ayant une capacité acoustique efficace et pratique qui lui permet de s'isoler aux bruits aériens et solidiens.

Chaque pièce de la villa a un temps de réverbérations optimal par rapport à l'usage qui lui en est dédié, ce qui lui apporte son propre confort. Le

problème lié à la formule de Sabine est de ne pas avoir d'emplacement exact des matériaux. La formule fonctionne comme moyenne réverbérante de la pièce, les matériaux ne sont pas définis à un emplacement exact, ils sont définis comme un pourcentage par matériau dans une pièce. Cela apporte un manque de précision dans le ressenti sensoriel. Ce mémoire pourrait se poursuivre en un travail spécifique à chaque pièce et définir l'emplacement de matériaux et de meubles pour assurer une acoustique spécifique à l'endroit où l'on se trouve dans chaque pièce.

Bibliographie

Arthur Hellouin de Menibus, Matthias Degrave Lemeurs, Philippe Glé, (2019). Propriétés acoustiques des bétons biosourcés à base de chanvre et de liant chaux ou argile. *Academic Journal of Civil Engineering*, 36(1), 620-623

Beranek, Leo L. *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture*. 2., nd Ed., Softcover version of orig. hardcover ed. 2004. New York, NY: Springer, 2010.

Bihouix, Philippe, Sophie Jeantet, Clémence de Selva, et Estelle Klugstertz. *La ville stationnaire: comment mettre fin à l'étalement urbain ?* Domaine du possible. Arles: Actes Sud, 2022.

Bonicco-Donato, Céline. *Heidegger et la question de l'habiter: une philosophie de l'architecture*. Collection Eupalinos. Marseille: Parenthèses, 2019.

Cognon Gaétan, "Appréhension de l'architecture en tant qu'espace sensible", *Mémoire d'architecture*, sous la direction de Andrés Martinez, ville, école nationale supérieure de Montpellier, 2020, p.27

Darò, Carlotta. *Avant-gardes sonores en architecture*. Ohcetecho, vol. 4. Dijon: les Presses du réel, 2013.

Hall, Edward Twitchell. *La dimension cachée*. Points. Paris: Éditions du Seuil, 1978.

Junichiro Tanizaki. *Eloge de l'ombre*. Lagrasse: Verdier, 2017.

Loos, Adolf, et Cornelius Heim. *Paroles dans le vide (1897-1900) : chroniques écrites à l'occasion de l'exposition viennoise du jubilé (1898). autres chroniques des années 1897-1900. Malgré tout (1900-1930)*. Paris: Ivrea, 1994.

Machart Renaud, "Le Thoronet, un miracle sonore", *Le Monde*, 22/07/2006

Marchand, Dorothée, Enric Pol et Karine Weiss. *Psychologie environnementale: 100 notions clés*. Univers psy. Malakoff: Dunod, 2022.

Pallasmaa, Juhani, et Mathilde Bellaigue. *Le regard des sens*. Librairie de l'architecture et de la ville. Paris: Éd. du Linteau, 2010.

Sabine, Wallace Clement. « Architectural Acoustics. Part. I. Reverberation, Reprints of the American Architect, 1900 ». *Journal de Physique Théorique et Appliquée* 10, n° 1 (1901): 38-48

Santé Publique France, Estimation du temps passé à l'intérieur du logement de la population française. Journées de Veille Sanitaire, Paris, 26-28 novembre 2008

Volcler, Juliette. *L'orchestration du quotidien: design sonore et écoute au 21e siècle*. Paris: la Découverte, 2022.

Wilson Edward Osborne, traduit par Guillaume Villeneuve. *Biophilie*. Paris: J. Corti, 2012.

Ziani Abdelouahab, Cours d'acoustique architecturale Destinés aux étudiants du Master en Architecture, 2021-2022, République Algérienne Démocratique et Populaire, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, Université TAHRI Mohamed Béchar,

Zumthor, Peter. *Penser l'architecture*. Basel: Birkhäuser, 2007.

Sitographie

Annabac, "La transmission et l'absorption des ondes sonores", Consulté le 30 décembre 2023
[2023.https://www.annabac.com/revision-bac/la-transmission-et-l-absorption-de-s-ondes-sonores](https://www.annabac.com/revision-bac/la-transmission-et-l-absorption-de-s-ondes-sonores)

ARtchidesign, "Les thermes de Vals Peter Zumthor / Vals - Suisse / 1996", 04/11/2013
<https://archive.wikiwix.com/cache/index2.php?url=http%3A%2F%2Fartchidesign.fr%2Fles-thermes-de-vals-peter-zumthor-vals-suisse-1996%2F#federation=archive.wikiwix.com&tab=url>

Dares. « Teletravail durant la crise sanitaire Quelles pratiques ? Quels impacts sur le travail et la santé ?.pdf ». Consulté le 29 décembre 2023.
https://dares.travail-emploi.gouv.fr/sites/default/files/5171e9d0f2d214774c44afc82353563a/Dares-Analyses_Teletravail-durant-crise-sanitaire-Pratiques-Impacts.pdf.

Insonorisation.weebly, Loi Masse-Ressort-Masse,
<https://insonorisation.weebly.com/lois-disolation.html>

JeremyWeate, FallingWater, Frank Lloyd Wright, 29/09/2017,
<https://www.flickr.com/photos/73542590@N00/37365362916/>

Okeena, " 8 idées reçues sur les aveugles", 15-01-19
<https://webzine.okeenea.com/8-idees-recues-aveugles/>

VibraTec- Techniciens-Ingénieurs-Docteurs en technologies
<https://vibrattec.fr/blog/news/du-traitement-acoustique-des-theatres-de-l-antiquite-a-celui-des-aeronefs-daujourd'hui-le-resonateur-de-helmholtz/>

Retranscription d'entretien avec Alexandre Durr du 24 novembre 2023

On a décidé de se tutoyer avant de réaliser l'oral de notre entretien

- Alors pour m'introduire, je suis un étudiant en école d'architecture, je m'intéresse à tout ce qui est l'aspect un peu sensoriel des matériaux, donc j'aime bien travailler, toucher un matériau, toucher un mur ou un truc. Même l'acoustique que ça crée et tout, en fait, tout ce qui est sensoriel vis-à-vis des matériaux et du coup, je vais faire un mémoire là-dessus, je ne savais pas vraiment vers où je voulais aller, et là finalement, je me dirige sur l'habitat, sur le confort acoustique dans l'habitat. Je ne t'ai pas envoyé mon mémoire, enfin ce que j'ai fait pour le moment.

J'aimerais pour commencer savoir ton parcours et savoir ce qui t'a donné envie de faire ce métier ?

- Alors moi de mon côté, j'ai commencé par faire une école d'ingénieur qui s'appelle qui s'appelle INSA qui est à Lyon. J'ai fait le département Génie mécanique, donc c'est le département où l'on touche un peu à tout, on touche à la fois à la mécanique des fluides, à la mécanique des matériaux, c'était vraiment un département très général, qui ouvre après sur beaucoup de possibilités. Après moi, pendant ma formation, je me suis rendu compte que ce n'était pas vraiment ingénieur comme ça que je voulais faire, c'était plutôt dans la musique, je me suis rendu compte que ça me plaisait beaucoup, donc après cette école d'ingénieur, j'ai fait un master spécialisé dans l'acoustique/audio, c'est-à-dire, ce n'est pas vraiment de l'acoustique comme je fais maintenant, de l'acoustique pour le bâtiment, c'était plus de l'acoustique pour appliquer au traitement du signal, appliquer au développement d'outils, de plugin audio, plus pour la production musicale. Après, dans cette formation, j'ai aussi eu des cours sur tout ce qui est de l'architecture en acoustique, donc les traitements des salles de concert, tout ça, ce n'était vraiment pas le cœur de la formation, donc voilà, j'ai fait ce master. Dans le but après de m'orienter vers un métier dans le sound design, un métier dans la production musicale et tout, donc c'était un peu post covid et c'était très dur de trouver là-dedans, du coup au final, j'ai trouvé un stage qui était dans l'audio et le traitement du signal, ça ne m'a pas énormément plu finalement et donc, après de fil en aiguille, j'ai été sur Paris et je me suis retrouvé en acoustique pur et dur, donc je suis retourné un peu en ingénierie, mais cette fois-ci en acoustique du bâtiment. Donc depuis un an et quelques, je suis chez GreenAffair, j'ai commencé l'acoustique dans le bâtiment, là, j'ai commencé des études de conception acoustique, par exemple, c'est pour des

bâtiments, des entrepôts logistiques, des rénovations, des bâtiments de bureaux dans Paris. Mais je vais faire aussi des mesures sur les sites, des études d'environnement. Et puis voilà, je suis revenu vers l'ingénierie, mais pour l'instant ça me plaît, c'est cool.

- Tu es donc musicien, c'est ça ?
- J'ai découvert la musique assez tard en fait, j'avais eu un peu une crise d'adolescence tardive, c'est-à-dire que pendant mes études, j'ai commencé à découvrir la musique, à m'y intéresser, c'est là que j'ai commencé à me dire « ah, mais en fait, c'est incroyable ce milieu », c'est ça que je voulais faire et aussi, c'est très compliqué comme domaine la musique donc je suis encore en apprentissage en musique. Un jour peut-être, mais pour l'instant, c'est plus un loisir sur le côté et une passion. Voilà pour mon parcours, si tu as besoin d'autres précisions, n'hésite pas.
- Ok, et donc chez GreenAffair, exactement, qu'est-ce que tu fais ?
- Du coup quand je suis arrivé chez GreenAffair, je ne connaissais pas vraiment en fait le milieu de l'acoustique dans le bâtiment, j'avais des bases, mais en acoustique du bâtiment, c'était vraiment assez spécifique parce que c'était plus du dimensionnement des espaces de bureaux par exemple, des logements, des cloisons, de l'isolement acoustique des cloisons, de l'isolement acoustique des façades pour atténuer le bruit qui vient de l'extérieur, le traitement de la réverbération, donc, c'est-à-dire, je pense que tu sais ce qu'est la réverbération mais... Donc voilà quel type de matériaux, quel type d'isolation acoustique, on peut mettre dans ces espaces-là pour réduire la réverbération, le contrôle des bruits et des équipements publics, dans le bâtiment. Et aussi un sujet à part, mais très important, le bruit qui est généré par un site vers son extérieur, vers son environnement, donc ça, ça rentre dans des contextes plus règlementaires, des contextes de bruits, de voisinages, tout ça, donc ça amène aussi à faire des études, comme je disais des études de l'environnement, du bruit généré par une usine dans son environnement. Après, il y a plein d'autres domaines que moi, je ne touche pas trop, par exemple l'éolien, la bio acoustique aussi, c'est l'impact d'un élément sur son environnement, sur la faune ou la flore, ça, on ne fait pas encore chez GreenAffair, mais là en gros ce que tu peux retenir c'est que moi, je fais beaucoup de correction acoustique, c'est-à-dire que chez GreenAffair, il y a tous ceux qui font la conception, la partie environnementale d'un bâtiment, comment on peut gérer les économies d'énergie, la thermique, tout ça. Moi, je fais vraiment la partie acoustique, c'est assurer un bon confort pour les occupants et pour l'environnement autour du site. Du coup, c'est très précis et très particulier, car c'est des indicateurs, des grandeurs qu'il faut maîtriser et qui sont propres à ce milieu-là.
- D'accord, et c'est qui, qui fait appel à vous, ça va être des architectes ou des clients qui vont venir pour faire des rénovations, un architecte qui a besoin de vous pour réaliser une rénovation ou un bâtiment, ça va être un peu de tout, c'est quel type de bâtiment, tout ça que vous vous occupez ?
- Il va y avoir un peu de tout, souvent, il va y avoir des maîtrises d'œuvre, il va y avoir la maîtrise d'ouvrage qui va demander un bâtiment, la rénovation d'un

bâtiment, ou la construction d'un bâtiment, donc qui fait appelle à un maître d'œuvre, et le maître d'œuvre il va faire appelle à des bureaux d'études (CDC, structures, tout ça), du coup GreenAffair c'est le bureau d'étude environnementale, on a un tout petit bureau d'étude acoustique, on essaie d'être ensemble liés sur ça, donc moi ceux qui me demandent le plus de mission sont les maîtres d'œuvres, qui coordonnent les corps d'état technique. Mais de temps en temps ça peut arriver que ce soit un architecte qui demande de faire telles études acoustiques dans tel projet qu'il est en train de réaliser, ça m'est arrivé depuis que je suis à GreenAffair, peut-être 3 ou 4 fois, c'est des trucs que je pourrais te montrer si tu veux, ce sont des architectes qui demandent. Et sur les types de bâtiments sur lesquelles je vais intervenir, ça va beaucoup être pour l'instant des entrepôts logistiques donc des entrepôts qui sont un peu à la campagne, c'est juste des plateformes pour permettre le transit des poids lourd, donc ça, c'est quelque chose que je fais beaucoup, c'est assez facile et c'est bien pour se former parce que moi aussi, je suis encore en formation, je me fais former par un autre acousticien, c'est bien pour commencer, mais j'arrive de plus en plus à réaliser pour des bâtiments dans Paris, des bâtiments Haussmannien tout ça, rénové pour mettre des bureaux, il y a Hugo qui travaille sur un projet, qui s'appelle pépinière, qui est à côté de la gare saint Lazare, rénovation d'un vieux bâtiment Haussmannien et c'est lui qui se charge de ça, l'architecte du projet fait aussi appelle à nous pour tout ce qui est l'acoustique du projet. Tu peux retenir, beaucoup d'entrepôts logistiques, des bâtiments de bureaux que ce soit en construction ou en rénovation. C'est le gros, on va dire, environ 80% des projets.

- J'imagine que du coup, tu utilises des formules, notamment la formule de Sabine et tout ça ? Tu l'utilises souvent ou alors maintenant tout se fait automatiquement ?
- On utilise en gros, on va dire, quelques indices, quelques formules pour déterminer des indices propres, chacun des indicateurs dont je t'ai parlé juste avant, donc, c'est-à-dire l'isolement externe, l'isolement des cloisons internes, le temps de réverbération, le bruit ambiant, tout ça il va y avoir un indicateur qui revient à chaque fois, qui utilise très souvent. En parallèle, on peut utiliser aussi de la simulation sur un logiciel acoustique, il utilise les mêmes formules que l'on utilise à la main, mais il le fait à plus grande échelle sur une maquette de bâtiment, donc c'est juste plus rapide, mais les formules là sont les mêmes, si tu veux, je pourrai te les détailler et te les montrer, mais demande si tu as envie de voir le logiciel, les simulations acoustiques, n'hésite pas.
- Alors justement, je vais avoir besoin de te poser des questions un peu plus techniques comme ça parce qu'en architecture, forcément, on ne parle pas d'acoustique, j'ai fait des recherches par moi-même et forcément, il y a des trucs que je n'ai pas compris. Par exemple, la formule de Sabine, tu la connais, tu l'as tout le temps sur toi, tu l'utilises ?
- Oui, c'est la formule la plus basique pour calculer un temps de réverbération, c'est une approximation de la réalité, ça fait bien le travail pour des salles qui

sont assez simples, des locaux qui ne sont pas trop biscornus dans leurs formes.

- D'accord, parce que tu vois, j'ai réalisé un projet avec deux amies qui avait pour but de réduire le temps de réverbération d'une salle, c'était une salle qui avait un temps de réverbération énorme, genre 5 ou 6 secondes, une salle avec une grande hauteur sous plafond, il y avait environ 7 mètres.
- D'accord donc un gros local bien réverbérant avec des matériaux.
- Oui justement, c'était du béton aux murs avec du carrelage.
- Oui, ok, c'est encore pire.
- Mais il y a quelque chose qui m'a paru bizarre avec la formule de Sabine, quelque chose qui me rend perplexe, parce qu'il y a des choses que je n'ai pas réussi à prouver. En fait, avant de réaliser le projet, on va forcément, d'ailleurs, je ne sais pas si c'est la bonne manière de faire, mais on va commencer à créer un design et après, on va voir si ça marche ou non. Donc il y avait un acousticien qui était venu et qui avec un pistolet avait mesuré qu'il y avait environ 6, 7 secondes. Et donc à partir de tout ça, on va utiliser la formule de Sabine pour savoir si notre projet, fonctionnait, sauf que nous ce que l'on avait imaginé, était de recréer une sorte de plafond plus bas qui serait en tissus horizontale acoustique et qui rendrait la hauteur plus basse, alors que tu vois dans la formule de Sabine, on nous demande un volume de la pièce, et avec notre plafond en tissus, forcément, il y aura des endroits avec des trous et ça laissera passer les bruits, mais ces endroits seront minimes alors, est-ce qu'il faudrait réduire le volume initial de la pièce en fonction de la hauteur de notre second plafond en tissus ou alors conserver le volume de base ?
- Dans ces cas-là, en fait, ta formule de Sabine, elle est idéalisée pour une forme simple, par exemple un cube, ou pas forcément un cube, mais un volume où tu as sur les côtés, sur tes parois un matériau assez réfléchissant, c'est-à-dire sur la surface de ton volume intérieur, il faut qu'il y ait pour la majorité un matériau réfléchissant. Donc là si sur l'entièreté de ton plafond, tu viens ajouter un matériau absorbant, ça, tu peux le faire dans la formule de Sabine, mais c'est en considérant que ton volume, il s'arrête là, et sauf que dans ce cas-là, le son va passer dans tout le volume derrière et par des effets de rebondissements, des ondes qui vont rebondir sur le plafond et se re-transmettre, donc c'est un truc assez complexe-la dans ce cas particulier, donc là la formule de Sabine, elle ne va pas marcher, pour que ça marche, il faudrait que ton tissu, il soit collé directement sur ton plafond, mais ça si j'ai compris, tu crées un gros espace pour réduire la hauteur sous plafond. Donc là dans ce cas-là ce n'est pas la formule de Sabine qu'il faudrait utiliser, mais c'est un peu plus complexe, c'est justement là qu'il faudrait utiliser un logiciel de simulation, donc le logiciel, il prendra une simulation, donc là le pistolet qui tire, il va la placer dans la pièce, et il va tirer un grand nombre de rayons, qui sont assimilés à des particules sonores, et il va voir le comportement de chacun de ces rayons, ça on pourrait le faire à la main, mais ça prendrait un temps fou.
- Oui, il y a un nombre infini de rayons qui partent du même endroit.

- Ouais, c'est ça donc voilà, l'avantage du logiciel, c'est qui va faire un calcul compliqué, ça tu pourrais le faire à la main, je pense que dans certaines thèses ou recherches, il y a eu des formules qui ont été développés pour ce genre de cas particuliers, donc je pense que pour résoudre ce genre de cas particuliers, il faudrait partir dans une réflexion en termes d'énergie sonore, plus qu'en simple volume, donc c'est assez casse-gueule pour calculer ça. Donc oui, quand tu as un cas particulier comme ça, c'est assez compliqué.
- C'est ce que je voyais avec mes résultats qui n'étaient pas du tout juste alors que la plupart du budget pour le projet allait dans l'isolant acoustique. Là-dessus, je m'étais justement renseigné, car je ne comprenais pas ce qui était faux dans mes calculs, et j'ai vu qu'il y avait une seconde formule qui est apparue après celle de Sabine, c'est celle d'Eyring, et je ne comprends pas la différence entre les deux formules.
- Alors moi, je t'avoue dans les études que je fais, j'utilise que Sabine, parce que ça suffit en fait, en fait Sabine, moi, je vais l'utiliser, par exemple, je vais avoir un plateau de bureaux, un open space, à aménager, je calcule avec Sabine le temps de réverbération sur le volume vide et ensuite, je vais dire il y a 1.4 seconde, notre objectif est à 0.8 s, qu'est-ce qu'il faut que je mette en place comme panneau comme traitement acoustique, comme faux plafond, comme moquette, je n'en sais rien, pour arriver à cet objectif, donc là, je vais utiliser la formule de Sabine pour déterminer ça, ça te donne qu'une estimation, si en plus, je vais faire la mesure en temps réel, ce ne sera forcément pas la même chose, ce sera proche, mais pas forcément pareil, quand tu veux plus de précision, tu utilises la formule d'Eyring, elle est un peu plus précise, mais pour moi personnellement ça ne me sert pas d'être plus précis. Dans certains cas particuliers, dans les salles de concert ou ce genre d'application, tu as envie de bien contrôler et bien simuler ta salle, tu vas utiliser des formules un peu plus complexes, il faut juste imaginer, que c'est juste une approximation différente qui te donne une approximation qui est plus proche dans certains cas, après là, dans ce cas particuliers de l'utilisation de la formule d'Eyring par rapport à Sabine, je t'avoue que je ne l'utilise jamais donc je ne connais pas exactement les cas, ça doit jouer en fonction des formes, de la géométrie du local, type salle de concert ou opéra, on va plutôt utiliser notre simulation avec Eyring. Pour revenir sur les logiciels de simulation acoustique, tu peux aussi lui dire avec la simulation acoustique, tu peux lui dire de faire des simulations en fonction de la formule que tu choisis. Tu auras des résultats différents.
- J'ai vu que dans certains cas il y a la célérité, la température et l'humidité qui sont pris en compte, qu'est-ce que tu en penses ?
- Pour Sabine ou Eyring, on ne les prend pas en compte.
- Pour la température, souvent, on veut quelque chose d'agréable, mais pour l'humidité, on ne peut vraiment pas la modifier, tu penses que c'est trop minime pour s'en préoccuper ?
- Je pense que ça dépend de ton application finale, là, par exemple ton projet avec la grande hauteur sous plafond, c'était quel usage ?

- En fait, c'était un multiusage, en fonction de la hauteur sous plafond, car le plafond pourrait s'élever, ou se baisser, l'usage serait différent, par exemple si on veut en faire un espace de lecture, on baissera le plafond, et à l'inverse, on veut réaliser une salle de classe, il faudrait le remonter.
- Là, pour moi, ça fait vraiment, pour ce genre d'utilisation, c'est pour une utilisation assez scolaire, du travail, des zones de bureaux, prendre en compte l'amortissement de l'air et la température, c'est vraiment aller très loin pour dimensionner quelque chose qui de toute façon va changer quand tu mettras ton mobilier. Car une fois que tu mettras tes chaises, tes tapis, tes plantes, ça aura un impact aussi sur le temps de réverbération et comment le son réagit dans ton milieu, c'est pour moi aller assez loin pour au final pas grand-chose. Je pense que tu peux rester sur Sabine dans ces cas-là et ne pas les prendre en compte. Par contre, si tu me dis que ton projet, c'est un auditorium et que ton projet est de simuler l'ambiance sonore de la pièce en déplaçant le plafond de manière très précise, là, je te dirai de prendre en compte tous ces paramètres, car tu veux un truc précis. Mais bon, d'un point de vue architecte, ce qui va t'intéresser, c'est les seuils, des certifications et des choses comme ça qui te disent que pour avoir un bon confort acoustique, il ne faut pas avoir plus de 0.6 s dans une salle de réunion, et toi, tu vas dimensionner ton local et ton traitement acoustique avec un peu de marge avec Sabine de 0.45 seconde comme ça tu es sûr que ça passera. C'est un peu ça la méthode au final, tu fais un peu à la louche et ça marche, mais il n'y a pas besoin de prendre en compte tous les paramètres très précisément, en tout cas, c'est ce que l'on fait, nous, en bureau d'étude.
- Mais d'ailleurs vis-à-vis de ça, j'ai noté, comment sont calculés les coefficients acoustiques des matériaux, est-ce que c'est la surface d'un matériau qu'il représente en seul mètre carré avec la profondeur et tout cas et aussi le coefficient du matériau basique sans modification.
- Dans la formule de Sabine, il y a un alpha que l'on multiplie par l'aire, c'est un coefficient acoustique du matériau, je vais d'abord te faire la version scientifique de ce à quoi ça correspond et ensuite, comment on la mesure. L'énergie sonore qui arrive sur ton matériau, il y a une partie qui est transmise, une partie qui est absorbée et une partie qui est réfléchi, ton énergie totale sera la somme de ces énergies, et la seule partie absorbée va représenter cet alpha entre 0 et 100 %. Donc ça, c'est pour la théorie, on va dire, et pour la mesurer, en fait, c'est en labo, ils ne font pas en étudiant le matériau précisément, ils font bêtement avec une chambre où ils connaissent très bien la réverbération à nu. Toujours dans la même pièce, bien calibrée, où là pour le coup, tout est mesuré, la température, l'humidité et tout. Il mesure le temps de réverbération sans le matériau avec un pistolet et ensuite, il rajoute le matériau et mesure le temps de réverbération, et en comparant les temps de réverbérations, ils peuvent déduire l'énergie sonore qui a été absorbée par le matériau, donc c'est comme ça qu'ils déterminent l'alpha, donc en labo, ils ont une norme française qui décrit comment faire, quand tu vois un alpha d'un matériau normalement, c'est que ça a été évalué en laboratoire avec une

norme particulière, dans des conditions particulières et précises. C'est comme ça qu'ils regardent et tu peux tester les matériaux de cette manière.

- Ok donc tu ne peux pas prévoir à l'avance en construisant ton propre module acoustique ou en faisant quelque chose comme ça.
- Aujourd'hui, la plupart des matériaux ont été testés, si tu es sur un matériau R et D qui est en développement, la plupart des matériaux ont été testés, tu as des bases de données entières avec des produits en particulier qui te donnent l'alpha qui t'intéresse. De toute façon, ce sera un coefficient qui va servir dans une formule qui est approximative, la formule de Sabine, donc forcément, tu vas trouver des alphas de 0.6, 0.7, 0.8, mais ça ne sera jamais précis. Tu n'auras jamais du 0.6395. Et ça suffit pour faire du dimensionnement de confort acoustique.
- D'ailleurs en parlant des coefficients, toujours sur ce projet, quand on regardait sur internet les coefficients d'absorption des matériaux, il fallait faire un choix dans les fréquences, entre 500Hz jusqu'à 2000Hz et le coefficient dépendait en fonction, donc je ne comprenais pas et je ne savais pas lequel choisir et pourquoi choisir 1000Hz plus que 500Hz.
- Le son, vu qu'il fonctionne par fréquence, nous, généralement, c'est vrai que je ne l'ai pas précisé, mais nous, on travaille rarement par fréquence unique, on n'en choisit pas une, on va travailler en bande d'octave ou en tiers d'octave, c'est-à-dire que tu vas séparer ton spectre de fréquence, donc les bandes d'octave, tu vas avoir 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, ça double à chaque fois. Une tiers d'octave, c'est encore plus précis, le son, il va avoir un comportement différent à chacune de ces fréquences particulières, en fait des bandes d'énergie, il faut s'imaginer que c'est un spectre, et du coup ton alpha quand il est testé en laboratoire, on ne va jamais te donner un alpha unique, quand ça sort du labo, c'est un alpha par bande d'octave, donc c'est vrai que toi après quand tu veux faire ton dimensionnement, tu te retrouves avec toutes ces bandes de fréquences et tu es un peu perdu. Ce qu'ils font, c'est que pour discuter d'un matériau et le comparer à un autre, ils ont développé un symbole Alpha W, donc Weighted, ça veut dire pondéré en gros, et ça aussi ça utilise une norme française et du spectre alpha donner une valeur unique une valeur d'alpha unique, ça veut qu'entre un panneau acoustique A et un faux plafond B l'Alpha w est de « tant », ça permet de faire une comparaison grossière et pour dimensionner certains espaces, c'est suffisant de mesurer avec l'alpha W, donc si tu ne sais pas quoi utiliser, tu prends l'alpha W. Si par contre, tu connais l'usage du local, et que tu veux un local pour de l'enseignement, dans ce cas-là, tu vas choisir les alphas à 500, 1000 et 2000Hz. Généralement, c'est ce que l'on fait à ces bandes d'octaves là, car ce sont les fréquences qui correspondent à la voie. L'essentiel de l'information se trouve à ces fréquences-là. Donc, tu vas faire qu'à ces fréquences ton temps de réverbération ne soit pas trop élevé. Ce que tu fais, c'est que tu fais le calcul à partir de la formule de Sabine pour toutes les 3 différentes fréquences que tu as choisies, et ensuite, tu fais une moyenne des trois si tu veux une valeur unique pour comparer avec le seuil réglementaire ou voir si c'est en conformité

avec telle certification, par exemple le HQE (Haute qualité environnementale) demande de faire la moyenne sur ces 3 fréquences. Par contre, c'est toujours pareil, c'est totalement différent si tu dimensionnes une salle de concert, une salle de spectacle, etc. où là par exemple, tu as un temps de réverbération dans les graves qui est super important, du coup pour les basses, plus important, plus difficile à gérer, mais il va falloir trouver des solutions. Il existe des moyens de réduire le temps de réverbération à ces fréquences, mais ce ne seront pas les mêmes matériaux qui seront utilisés. Donc en gros pour répondre à ta question, si tu ne sais pas quoi choisir, tu utilises l'Alpha W, sinon si tu sais que c'est pour de la parole, tu calcules les trois et tu fais une moyenne. Si c'est pour de la musique, tu dois faire tout le spectre et surtout les fréquences qui t'intéressent, pour la musique électronique les basses fréquences seront très importantes, à l'opposé pour une salle d'orchestre, les basses fréquences seront moins à prendre en compte, mais plutôt des fréquences comme celles de la voix. Donc c'est vraiment variable.

- Donc au moins maintenant, je comprends mieux, merci beaucoup de m'avoir expliqué ça !

(...) On parle de l'écho, mais ce ne sera pas à prendre en compte dans le mémoire, l'écho est en quelque sorte un temps de réverbération, mais à une échelle tellement grande qu'on l'entend avec beaucoup de retard.

- Il y a différents bruits que l'on veut souvent atténuer, c'est les bruits de chocs d'une part et les bruits aériens, il y a des matériaux qui seront plus adaptés pour les bruits aériens comme les isolants, et d'autres seront plus adaptés à des bruits de chocs. J'ai pensé à un matériau qui pourrait être très adapté à ces deux bruits, je ne sais pas s'il y en a beaucoup d'ailleurs, c'est quelque chose que j'aimerais bien savoir, je pense notamment à la terre, là l'exemple le pisé, c'est un matériau qui est malléable, donc qui absorbe bien les chocs et en même temps est un très bon isolant acoustique. Donc est-ce qu'il y a des matériaux qui sont plus conseillés que d'autres ? Tu en conseilles en fonction des usages dans une maison, qu'est-ce que tu mettrais le plus ?
- Déjà, à savoir, il y a les bruits aériens et les bruits solidiens, donc les bruits de chocs, c'est vraiment une physique complètement différente, parce que bruit aérien du coup, c'est le bruit qui se transmet dans l'air, et dans l'autre cas, c'est un milieu solide, que ce soit du béton, du métal, de la terre comme tu as dit. Et le mécanisme de déplacement du son dans ces milieux-là est vraiment super différents, généralement le son va beaucoup plus vite dans les milieux solides comme le béton tout ça, le son va se propager très rapidement, c'est pour ça que quand tu as quelqu'un qui tape dans un immeuble ou qui fait de la perceuse, tu vas l'entendre dans tout l'immeuble, alors que le bruit en lui-même de la perceuse va potentiellement plus s'atténuer, le bruit de la perceuse, il va se divulguer dans l'air, ça, c'est un mécanisme en particulier, et le mécanisme de transmission dans le solide, c'est autre chose, il faudrait trouver des matériaux qui soient à la fois de l'air et du solide. Pour ça, il y a des

solutions, on va en parler juste après, juste, il faut faire attention avec la notion d'isolant parce qu'il y a une espèce de croyance qui fait que de l'isolant, c'est de la mousse, de la laine. En fait ça, ce n'est pas un isolant, on appelle ça un isolant, une laine isolante, ça peut être un isolant thermique, mais ce n'est pas un isolant acoustique, parce que en fait, là ça ressemble à un cours, désolé si ça prend la forme d'un cours, mais tu vas avoir deux manières, donc là, on parle spécifiquement du bruit dans l'air, du bruit aérien, tu vas avoir deux manières d'arrêter ce bruit qui se transmet dans l'air, ça va être beaucoup de masse dans ton matériau, c'est d'avoir un matériau très massif, plus tu as de masse, plus tu as d'isolement aux bruits qui se transmettent dans l'air, c'est pour ça que si tu veux une cloison en bois, le mieux c'est de prendre un bois qui a une essence la plus dense possible.

- Mais ça, c'est uniquement quand on veut isoler une pièce vis-à-vis des autres pièces alentours, si on veut isoler la pièce de son propre bruit, dans ce cas-là, ça serait des matériaux qu'il faudrait éviter ?
- Ça du coup, tu peux utiliser du bois ou n'importe quels matériaux béton pour isoler le bruit entre deux pièces et ensuite dans la pièce à l'intérieur, il faudrait du revêtement absorbant pour absorber la réverbération qui est un autre sujet, mais il faut imaginer une pièce d'un logement, généralement, si tu as du mobilier ça suffit, tu vois, dans beaucoup de pièces, quand tu commences à avoir assez de mobilier, ça réduit déjà bien la réverbération, après si tu as besoin pour une pièce en particulier, par exemple pour un Home Cinéma, tu peux rajouter des panneaux acoustiques et tout ça. Donc là, c'est un sujet différent de stopper le bruit d'une pièce qui va vers une autre pièce. La première manière, c'est de mettre un matériau dense, c'est ce que l'on appelle la loi de masse, plus il est dense plus il est massif, plus il va affaiblir le bruit, mais dans une certaine limite, il va avoir des faiblesses à certaines fréquences, c'est comme ça que ça marche, c'est pour ça que la laine isolante quand tu regardes sa densité, ce n'est pas incroyable au final, quand tu regardes sa densité au mètre cube, 15kg au m³, quand tu compares à du bois ou c'est 450kg/m³ ou du béton ou ces 2300kg /m³, ce n'est rien du tout, et en fait ce que tu vas faire en 2^e technique, qui est ce qui le plus utilisé au final, c'est de faire une espèce de système ou tu vas mettre un matériau dense, mais pas énorme non plus, un matériau peu dense, mais qui va fonctionner comme un ressort et un autre matériau dense, c'est ce que l'on appelle en acoustique un système masse ressort masse, dans d'autres domaines aussi, c'est la même chose, et c'est ce système-là, combien tu mets d'air ou de laine isolante entre les deux, la densité des trucs sur le côté, qui va permettre de créer des isolements super élevés pour des applications quand tu veux vraiment isoler deux locaux, tu mets ce genre de trucs et ça marche très bien, c'est sur ça que je voulais passer un peu de temps, car souvent, on se dit que pour isoler du bruit, il suffit de mettre de la laine de verre ou autre, et en fait, ce n'est pas vraiment comme ça que ça marche, c'est une croyance populaire, mais ça ne va pas faire grand-chose au final, il faut vraiment créer cette espèce de système masse ressort masse, et si tu vas sur un site qui fait du placo, tu regardes les

cloisons acoustiques, tu verras que c'est cloisons en plâtre rail métallique, avec à l'intérieur de l'air et de la laine et encore cloisons plâtre, et ça, c'est ça qui crée des isolements ou il peut se passer beaucoup de bruit dans la pièce d'à côté et tu ne vas rien entendre. Ta question, c'était spécifiquement dans les logements, c'est ça ?

- En fait oui parce que moi, je me dis, entre deux pièces, je trouve ça normal que l'on doive isoler, même si ça dépend de l'usage des pièces. J'aimerais dans mon mémoire définir un temps de réverbération adapté qui soit très agréable pour les sensations au corps dans chaque usage d'une maison, par exemple dans une chambre, on va peut-être vouloir avoir un espace un peu plus intime, avec un temps de réverbération le plus proche possible de 0.4s, mais pas être trop non plus parce que, par exemple dans les chambres anéchoïques, ce qui rend désagréable, c'est que comme le temps de réverbération est proche de 0, on commence à entendre notre propre corps, et ça peut être angoissant. Par exemple pour les chambres d'enfants, je ne verrai pas un temps de réverbération de 0.4, mais plutôt un temps de réverbération de l'ordre de 0.6s, j'aimerais bien définir pour chaque usage d'une maison un temps approprié, et aussi peut-être, définir les matériaux les plus appropriés dans chacune de ces pièces.
- Mais là ce que tu as dit, c'est vrai si jamais tu te rapproches trop de zéro, parce que ce qu'il se passe, c'est que le corps, on est habitué à sentir en fait la taille d'une taille grâce à la réverbération, naturellement, on le fait, dans une pièce anéchoïque, même si elle est très grande, comme il y a du matériau absorbant partout, tu as cette impression de grandeur, et pour le cerveau, ça fait un peu un effet de désorientation, c'est pour ça que ce n'est pas très agréable et c'est pour ça qu'il ne faut pas trop s'approcher de 0. De toute façon, c'est quasiment impossible d'être à zéro, et dans une maison, si jamais tu veux qu'un salon soit à 0.1 seconde, il va falloir mettre de l'absorbant de tous les côtés, ça ne sera pas forcément très agréable, même visuellement, donc là où je trouve compliqué, le sujet, c'est que pouvoir définir une ambiance acoustique adaptée dans chaque pièce de la maison, c'est un peu, je sais que dans les certifications, ils donnent par exemple dans une chambre le temps de réverbération doit être inférieur à telle valeur, dans un salon, on autorise à être inférieur à telle valeur, ça va être un peu plus haut, mais à chaque fois ça va être une valeur maximale. Je crois que je n'ai jamais vu dans une norme ou dans un document, un truc qui spécifie dans un espace de logement, une valeur vraiment adaptée, il faut que ce soit à 0.45 seconde pour que le corps se sente le mieux possible, tu vois, c'est plutôt des seuils maximaux qu'ils mettent en place. Moi, ce que je pourrais te donner ce serait les objectifs maximums de confort qui disent que ce qui est dangereux serait d'avoir trop de réverbération, ça rajoute du bruit ambiant, ça a d'autres effets, ce n'est pas agréable. Ils n'ont pas fait d'études très précises sur le sujet, on a un temps de réverbération adapté à chaque usage donc sur ce sujet, je ne peux pas trop là comme ça te répondre, sur quel serait le plus adapté entre telle chambre d'enfant et telle chambre d'adulte, tu vois moi ce que je conseille ça va être un

seuil, ça va être 0.6s pour les chambres. Ce qu'on met, c'est soit du mobilier, ça aide beaucoup, mais s'il y a besoin de descendre encore plus, on peut mettre, il y a des solutions qui existent, il y a des solutions absorbantes, décoratives qui vont venir réduire le temps de réverbération. Pour les matériaux que l'on utilise, là dans un contexte de logement, c'est sûr que de mettre des gros panneaux acoustiques suspendues comme on fait dans les bureaux, ça ne se fait pas trop, ils ont bien compris c'est les constructeurs, donc ils font des solutions plus décoratives, qui se collent au mur, qui ressemblent à des tableaux, des tableaux acoustiques, où tu as une œuvre d'art dessus, ça c'est possible. Par contre, là où tu vas pouvoir peut-être agir, c'est sur la diffusion du son, la diffusion, c'est en disant grossièrement, c'est l'homogénéité du son dans toute la pièce, que tu n'aies pas du son concentré à tel endroit, pour revenir aux effets de rebondissement qu'on parlait tout à l'heure, ces effets sur la géométrie de ta pièce, ils peuvent faire que ça va être super concentré à un endroit, donc un peu désagréable, donc ce que tu peux faire c'est mettre des diffuseurs acoustiques, en plus ça se fait tout seul, c'est assez stylé. Ce sont des espèces de cubes qui sont décoratifs et qui permettent de diffuser ton son de manière générale dans la pièce. C'est peut-être sur ça aussi qu'il faut que tu orientes ta recherche, sur la diffusion du son couplé à la réverbération.

- Donc là ce que tu m'as montré avec des parois en bois qui font de la diffusion acoustique, ça ne reviendrait pas au même si l'on mettait à la place d'un diffuseur acoustique, juste une paroi de béton qu'on laissait apparente. Le béton réfléchit au lieu d'absorber et donc diffuse non ?
- Tu veux dire ce que je viens de te montrer, ça diffuse, mais dans un objectif, tu peux coupler en fait de l'absorption acoustique avec , ça charge ça va être de diminuer la réverbération dans la pièce, c'est-à-dire tous les rayons qu'il va avoir arrivé vers lui, va les absorber, ça va diminuer l'énergie du son dans la pièce, par contre le rôle du diffuseur, ça va avoir un autre rôle, qui va diffuser encore plus les rayons non seulement pour qu'ils puissent être absorbés de manière plus efficace avec les absorbeurs, mais aussi pour avoir un son plus homogène, par exemple si tu veux faire une pièce chez toi, j'aime bien revenir sur le home cinéma, si tu veux que sur ton canapé, où que tu sois sur le canapé ce soit le même, ça un diffuseur, tu le mets juste au-dessus des enceintes ça permet de diffuser ton son de manière plus homogène dans l'espace, une fois qu'il est homogène, il est absorbé par les absorbeurs acoustiques. Après, c'est deux phénomènes qui se passent en même temps, pas l'un puis l'autre. J'essaye de relier ça à l'architecture et que tu puisses imaginer des pièces qui soient optimisées acoustiquement, plutôt que d'avoir une valeur parfaite, une valeur de réverbération absolument parfaite, ou finalement dans un espace de logement, ce n'est pas si important que ça d'avoir une valeur précise de réverbération, c'est important de ne pas en avoir trop, mais voilà. Si tu es dans un studio, par contre, c'est complètement différent.
- Est-ce que tu as des sites internet, ou tu as tous les temps de réverbération, par exemple, tu me disais que pour les chambres, c'était 0.6 s quelque chose

comme ça, parce que tu disais qu'il y avait des normes avec des seuils, on les trouve ou, elle s'appelle comment la norme, peut-être que je peux retrouver moi de mon côté.

- Attends, je te montre ça, je vais l'ouvrir, tu vas pouvoir voir à quoi ça ressemble. Je pense qu'il y a un référentiel, déjà est-ce que tu connais la notion de référentiels et de certification dans le bâtiment ?
- Oui, c'est lorsqu'on veut se donner l'objectif d'atteindre un seuil.
- En gros voilà, c'est des certifications, qui certifient que le bâtiment respecte un bon confort pour les occupants et est optimisé énergiquement, et énergétiquement, ce genre de chose. Une des certifications les plus connues pour le logement en France, c'est la NF Habitat, je ne sais pas si tu en as entendu parler, NF ça veut dire Norme Française et nous en gros chez GreenAffair, on a le référentiel, je ne sais pas si toi, tu peux l'obtenir, si tu veux, je pourrai te le passer, il n'y a pas de soucis, ou même, tu demandes à Hugo, je pense qu'il l'a, mais il n'y a pas de soucis. Comme tu le vois, il y a plein d'exigences techniques, en fait, c'est le référentiel pour la construction de logement, tu as la qualité de l'air, de l'eau, confort thermique et visuel, tu as un chapitre confort acoustique, p121, là, tu as des données super techniques, avec le seuil des bruits aérien extérieur, qui te demande d'être supérieur à l'indice réglementaire, ça tu le calcules avec une méthode particulière, ce ne nous intéresse pas ici. Donc ce qui nous intéresse, c'est la réverbération, comme tu le vois, il y a plein de trucs techniques, bruit de chocs, bruits des chaudières, bruits des chutes d'eau, c'est adapté aux logements. Il y a les escaliers, les couloirs, les halls d'entrée par contre, je ne trouve pas les chambres. Tu vois, je pensais que dans la NF, ils le mettaient, tu vois, ils demandent que dans les espaces secondaires. Tu vois là, j'apprends un truc, car je ne fais pas souvent de logement, ils ne demandent pas d'objectif dans cette certification de TR maximal pour la réverbération dans les chambres et tout ça, ils demandent uniquement dans les circulations communes et les halls.
- Ok, donc, ça sera plus à moi de les définir en fonction de mes ressentis.
- C'est ça en fonction, je pense, il faudrait trouver des études de confort acoustique, psychoacoustique, tout ça, mais c'est vrai qu'ils ne donnent pas de seuils particuliers ici. Si ça s'inspire des bureaux, ce sera quelque chose de l'ordre de 0.5 ou 0.6, quelque chose comme ça. Là où tu peux peut-être regarder c'est la réverbération par octave de fréquence, dans les basses fréquences ça peut être intéressant de regarder le confort, je pense qu'il y a des études qui sont faites, mais moi, je ne connais pas trop sur ce niveau-là les seuils. Retiens qu'il y a des valeurs par onde de fréquences et peut-être, orienter ta recherche sur les bandes de fréquence grave.
- Si moi de base, j'ai voulu faire ça, c'est parce que je me suis rendu compte que, une fois, en me rendant, dans une maison près de Nantes, dans une maison entièrement en terre, d'être juste près des murs du salon qui était tout en terre, c'était très agréable, et cette sensation, je n'ai pas réussi à la retrouver dans d'autres endroits.

- D'accord donc tu avais trouvé que particulièrement, ça a été un plus d'avoir des murs en terre par rapport à l'acoustique et la réverbération, et qu'il y avait en plus une ambiance en fait.
- Exactement oui, c'était pareil quand quelque temps après, je m'étais un peu plus penché là-dessus et quand je suis rentré chez mes parents le weekend, ils ont un endroit où ils ont une grande baie et ils ont décidé d'installer un rideau acoustique sur cette baie et pareil sur cette baie, quand on s'installe proche de ce rideau, on s'y sent bien, on y est cosy dans cet endroit et je me suis dit, essayer d'imaginer un habitat entièrement adapté comme ça.
- Alors, je ne sais pas si ça rentrerait dans le cadre de ton mémoire, mais que tu fasses une espèce d'étude dans un environnement dans lequel tu trouves que c'est bien là, où il y a ce rideau acoustique, ou dans une maison en terre, tu fasses une mesure de temps de réverbération à plusieurs endroits et dire ok dans cette pièce-là, on a tant de réverbération, à toutes ces fréquences, ça te donnerait une espèce de courbe de réverbération, tu pourrais dire en la comparant avec quelque chose de moins confortable, c'est-à-dire un salon nu avec plus de réverbération, dire qu'est ce qui change entre ces deux espaces, quelles sont les différences, qu'est ce qui fait qu'on s'y sent bien dans cet espace-là, par rapport à l'autre, ou alors trouver des études qui ont été faites. Mais c'est vrai que ça serait intéressant, là, je t'avoue que moi en particulier, je n'ai jamais utilisé la terre, je ne m'y connais pas beaucoup là-dedans, je sais que c'est poreux, donc ça va faire office d'absorbant acoustique après vu que c'est un matériau naturel assez complexe, je pense qu'il doit y avoir des phénomènes d'absorption, de diffusion et de réflexion assez complexes et c'est ça en fait qui donne cette impression que ça sonne bien, comme dans une bonne salle de concert. Après, tu pourrais revenir aussi sur la situation que tu avais envoyée dans ton mail, qui est que le matériau à force qu'il y a eu du son qui passe, ça le change un peu, ça change sa structure et le fait qu'il rentre un peu en résonance. En fait, si tu arrives à orienter ton sujet sur ça, sur le confort dans des pièces un peu particulières, c'est-à-dire matériau terre et tout ça, ça pourrait être intéressant. Après, sur ça, je ne peux pas trop t'en dire plus, je ne peux que te donner des billes, par exemple de regarder la réverbération à telle ou telle fréquence, regarde la diffusion, tout ça. Si ça n'existe pas et que les études n'existent pas, ça pourrait être intéressant de rajouter une petite comparaison rapide.
- Il faudrait que je trouve des pièces optimales comme j'avais trouvé pour le salon, mais pour toutes les autres pièces de la maison. Il faudrait que j'aie un peu partout pour trouver l'optimal.
- Ça devient complexe parce qu'il y a beaucoup de subjectivité qui rentre en jeu, ça se trouve toi, tu vas dire que ça t'a beaucoup plus mais quelqu'un d'autre dira qu'il déteste cet endroit, qu'il ne s'y sent pas bien. C'est vraiment pour ça que les études perceptuelles c'est des études compliquées. J'en avais fait dans mon stage de traitement du signal et c'est vrai que ça, c'est le sujet d'un stage en fait.

- J'avais noté la citation de Loos avec le mystère de l'acoustique, toi, qu'est-ce que tu en as pensé de cette citation, tu y as cru ?, car c'est quelque chose qui n'a encore jamais été prouvé, c'est juste quelque qu'il a dit, il était persuadé que c'était vrai, mais ne l'a jamais prouvé.
- Je sais qu'on dit souvent ça, ce que l'on dit sur les violons, même sur les guitares, moi, j'aime, je fais de la guitare et j'aime beaucoup ça, c'est vrai qu'il y a quelque chose qui se passe quand tu joues avec une vieille guitare qui date des années 1960/1970 qui a été retapé, et ça reste le vieux bois, c'est vrai que perceptuellement, il y a quelque chose qui se passe, mais je ne sais pas si c'est placebo ou si c'est un truc un peu psychologique où tu te dis, j'utilise une vieille guitare, une vieille instrument, c'est le bruit est différent, la manière dont je joue est un peu différente, ce que je peux dire c'est qu'est-ce que s'il se passe vraiment des mutations moléculaires, je ne pense pas, ça peut à la rigueur un peu, c'est peut-être psychologiquement de jouer dans des espaces-là, ça te met dans un certain état d'esprit et tu joues différemment, tu as une sensibilité différente peut-être, c'est comme ça que je le ressens, je ne pense pas que ça puisse faire vraiment des mutations comme il le dit. Après, je suis, c'est vrai qu'il y a quand même un petit truc, il faudrait vérifier. Je ne sais pas s'il y a des études qui ont été vraiment faites sur le sujet. Tu t'es renseigné toi ?
- Oui, je me suis renseigné et je n'ai rien trouvé sur internet, et j'en ai discuté avec un ami qui fait aussi un mémoire sur l'acoustique, et lui, tout ce qu'il m'a dit, c'est que c'est un mystère que personne n'a réussi à résoudre, alors sûrement qu'il y a eu des personnes qui ont essayé de chercher là-dessus, mais personne n'a jamais réussi à le prouver.
- Après, je pense que c'est un sujet qui fait beaucoup débat, il y en a qui diront que c'est sûr, surtout en guitare, ils parleront du bois de la guitare, même électrique, ça a bonne influence, à part l'aspect, le bois, je pense que ça va avoir une influence sur la résonance des cordes ce genre de chose, mais c'est minime comparé à tout le reste. Mais ça crée le débat, car certains diront que c'est le 1% qui fait la différence. C'est dur de donner un avis objectif.
- J'ai essayé de créer ma propre hypothèse, de comment scientifiquement ça pourrait potentiellement marcher, chaque matériau a des capacités élastiques, comme élastique à ces capacités élastiques et je pense qu'en fait les ondes à force de rentrer dans le matériau, le faire s'écarter et revenir sur lui-même, ils font une sorte de vibration, je me suis posé la question et je me suis dit c'est comme un élastique, à force de jouer avec, il va se détendre, et je me suis dit qu'en fait le matériau aurait potentiellement changé en recevant du bruit dans ce sens-là.
- En soi, c'est possible, que les molécules du matériau s'alignent et rentrent en résonance avec la pièce, quand tu as vraiment une salle avec des matériaux vraiment complexe, naturelle et tout ça, du bois, des matériaux vivants, oui ça pourrait être une hypothèse, mais ce que je trouve étonnant, c'est qu'il n'y a pas eu de recherche approfondit depuis le temps, car Adolf Loos, c'est 1912, ce serait fou qu'il n'y a eu personne qui ait fait une étude sur plusieurs années

sur les matériaux. En même temps, il n'y a pas d'information qui nous dit que c'est faux, c'est un peu sujet à débat, mais j'aimerais bien voir une étude qui parle vraiment de ça et qui fasse le truc de manière carrée, qui dise, on a vu ça, on a vu un réel alignement des molécules, ou pas, mais...

- Je ne sais pas si à l'IRCAM, il travaille sur ça à Paris, j'aurais bien aimé savoir, mais si ça se trouve, ils sont en train de travailler là-dessus.
- Ils travaillent beaucoup le signal, je ne sais pas s'ils travaillent beaucoup sur les matériaux.
- Il y a quand même pas mal de chercheurs en acoustique, après, je ne sais pas s'ils se disent qu'ils passeront du temps là-dessus alors qu'ils ont peut-être d'autres choses à faire de plus important.
- Après, ce serait une bonne question en tout cas, et je suis d'accord qu'il y a un truc quoi, quand tu vas dans une salle de concert, dans une très bonne salle de concert ou d'opéra, même acoustique qu'une autre, certains vont te dire que c'est la géométrie du lieu, la façon des matériaux, comment c'est placé, et d'autres diront qu'ils y ont plus, que ce sont des siècles de bonnes musiques qui ont été joués.
- Tu connaissais un peu ce mystère avant que je t'en parle par mail ?
- Sous cette forme-là, je ne sais pas, mais on en avait déjà parlé que ce matériau s'imprègne du son, mais je ne savais pas que ça venait d'une citation particulière de ce monsieur.
- Tu en connais d'autres, des mystères du même genre, qui n'ont jamais été résolus en acoustique ?
- Étant donné que oui en guitare, c'est toujours un sujet qui revient quand tu vas chez un luthier, en guitare, c'est ça, j'ai vu des vidéos, je ne sais pas si je pourrais la retrouver, c'est un constructeur de guitare qui parle du bois de guitare justement et qui dit, regardez justement, c'est prouvé, je le prouve devant vous ça n'a pas le même son, ils ont chacun une âme différente, et en fait pour prouver c'est tout bête, il tape dessus, il a ses bouts de bois côte à côte, et donc il tape dessus, et forcément que ça ne va pas forcément faire le même bruit, c'est pas le même mécanisme de résonance, car ce n'est pas le même matériau. Après, il joue d'une même guitare avec chacun des matériaux différents et effectivement, il fait un truc qui rend mieux. Je n'ai plus en tête le nom de la vidéo, si je la retrouve je te l'enverrai, c'est vrai que j'avais cette anecdote-là, mais c'est vrai que ça arrive souvent, je pense surtout dans le milieu très musical extrémiste puriste de dire, j'utilise ce bois-là parce que ça s'imprègne plus, c'est des choses qu'ils disent comme ça à la perception. Mais en fait, on a trouvé une petite étude, il ne reste plus qu'à la faire en fait.
- De base, je voulais faire mon mémoire là-dessus, mais ça aurait été impossible, je n'aurais jamais eu le temps de réussir.
- C'est très scientifique aussi, il faut aller dans des labos pour faire des recherches, ce n'est peut-être pas facile.
- Si tu as des thèmes ou des sujets que je pourrais aborder qui te vienne, n'hésite pas aujourd'hui ou même demain, à m'envoyer un mail.

- Oui si ça me vient, je t'en parlerai, donc toi ton sujet serait vraiment l'ambiance acoustique dans l'habitat, le confort, mais vraiment un confort, on va dire étudié, ce n'est pas juste de la réverbération qui dit tels seuils, il faudrait aller un peu plus loin.
- Il faudrait des temps de réverbération, des matériaux adaptés, j'aimerais bien aller jusqu'à dimensionner des pièces par ce que tu vois aujourd'hui, je ne sais pas si tu sais ce que c'est le plan libre, en gros, c'est comme les bâtiments qui sont faits aujourd'hui, avec des étages ayant toute la même hauteur sous plafond et chaque étage est au-dessus de l'autre, au contraire Adolf Loos, lui a créé le Raumplan, il va décider de dimensionner les pièces en fonction de l'usage, et je me dis que je pourrais justement allier ça pour l'ajouter au confort acoustique dans l'habitat.
- Je pense qu'il faut séparer la notion de confort acoustique pur en termes de seuils de temps de réverbération et plus aller vers peut-être du caractère acoustique, ça, ça joue, c'est les temps de réverbérations à chaque bande de fréquence qui vont t'intéresser, la diffusion du son, ça, on en a parlé, et tout le reste, la dimension, l'effet psychologique, qui fait que quand tu rentres dans une pièce il y a tous qui jouent, l'aspect visuel et sonore s'interconnecte et oui, je pense que cette espèce d'étude comparative, là personnellement, je pense qu'il y a une bonne acoustique, sur tel exemple, même si c'est très personnel, il y a tant de temps de réverbération, voilà le spectre, comment on pourrait atteindre les mêmes caractéristiques ailleurs, avec des matériaux, peut-être différents, voilà vers ce genre d'idées.
- Là, je viens de penser à un truc, cette semaine avec un cours, on a été voir un géobiologue, il dit qu'il préconise tous les matériaux naturels pour le confort, il dit que ça crée un environnement plus pur, avoir des matériaux sains, rajoute en plus de l'acoustique un effet psychologique en plus du confort.
- Les autres sens, la vue, l'odorat et le toucher, viennent jouer sur le ressenti d'une pièce, par une espèce de connexion placebo, qui dépasse le stade de prendre les sens un par un. En tout cas, tu as un sujet pas facile, mais intéressant. Je viens de penser à un truc, j'ai un collègue qui bosse sur la recherche au Canada, il travaille sur les matériaux en nid d'abeille, ça s'appelle des matériaux composites pour des objectifs acoustiques, lui spécifiquement en acoustique des matériaux, il pourra t'aider.
- Oui carrément, c'est cool en tout cas merci beaucoup de m'avoir aidé.
- Merci à toi aussi, bon courage pour ton mémoire et à la prochaine peut-être.

L'acoustique est une science qui n'est que trop peu utilisée en architecture, elle est utilisée avec comme unique but de s'isoler des bruits alentours. Le calcul du temps de réverbération des pièces est devenu une option dans l'habitat, aucune norme ne s'intéresse à la réverbération des pièces. Il n'est plus utilisé que dans les salles dans lesquelles l'usage a un rapport avec le son comme les théâtres ou salles de concert.

Et si le temps de réverbération avait plus d'utilité que ce qu'il laisse paraître ?

Dans ce mémoire, à travers l'explication des bases de l'acoustique, nous verrons les éléments qui permettent d'apporter du confort dans l'habitat. À partir de ceux-ci, nous les adapterons à l'acoustique pour avoir un habitat dans lequel chaque pièce aura son ambiance et son temps de réverbération dédiée et optimisée. Trop souvent reléguée au second plan, l'acoustique révèle ici son potentiel inexploré dans la création d'un habitat imprégné de confort et de bien-être. Redécouvrez l'acoustique, non pas comme une contrainte technique, mais comme une opportunité créative d'ambiance.

Mots clefs : Acoustique, Ambiance, Confort, Dimensionnement, Habitat, Loos, Matériaux, Matière, Son, Villa Müller