

EXPLORATION DE LA SURCHARGE SENSORIELLE EN MILIEU URBAIN :

-

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE L'INFLUENCE DU PAYSAGE SONORE SUR LA PERCEPTION TACTILE ET AUDITIVE

Dorian VERNET

Mémoire de Master 2 - Spécialité Son

Directeur de mémoire interne : Nicolas MONTGERMONT

Directrice de mémoire externe : Isabelle VIAUD-DELMON

Responsable universitaire : Corsin VOGEL

Examineur : Frank GILLARDEAUX

Référent académique : Laurent MILLOT

Novembre 2023

RÉSUMÉ

Ce mémoire s'intéresse aux facteurs en jeu dans la surcharge sensorielle ou "sensory overload". Ce phénomène provient de l'exposition à une grande densité de stimuli sur un ou plusieurs de nos sens. Favorisé par des états de fatigue ou de nervosité, ses conséquences sont variées : crise de panique, anxiété, agitation, irritabilité, manque de concentration et stress. Les personnes en faisant l'expérience s'y sentent submergées et perdent leurs repères.

Cette étude vise à faire un état de la recherche de la surcharge sensorielle sonore en mettant en évidence les caractéristiques pouvant la favoriser : troubles de la sensorialité, troubles sonores, troubles neurodéveloppementaux, caractéristiques psychoacoustiques des stimuli, de l'environnement sensoriel ou du paysage sonore. Nous nous intéresserons tout particulièrement au paysage sonore urbain et ses autres modalités sensorielles pour comprendre les mécanismes perceptifs de l'humain dans un environnement surchargé d'informations qui est source de malaise et peut favoriser la surcharge sensorielle pour ceux qui s'y déplacent.

Nous nous intéresserons plus précisément à l'influence de la spatialité de la reproduction en laboratoire d'un paysage sonore lors d'une expérience sensorielle, et à l'influence que ce critère de spatialité semble avoir sur notre charge sensorielle.

Mots-clés : *surcharge sensorielle ; surcharge d'informations ; surcharge cognitive ; milieu urbain ; paysage sonore ; perception ; critères psychoacoustiques ; audition spatiale ; ambisonique ; sensibilité sonore ; hyperacousie ; misophonie ; intersensorialité ; gestalt ; pollution sonore ; caractéristiques psychophysiologiques ; effets psychologiques et comportementaux.*

ABSTRACT

This thesis explores the factors at play in sensory overload. This phenomenon arises from exposure to a high density of stimuli affecting one or more of our senses. Exacerbated by states of fatigue or nervousness, its consequences are diverse, ranging from panic attacks, anxiety, restlessness, irritability, lack of concentration, to stress. Individuals undergoing this experience often feel overwhelmed, losing their bearings.

This study aims to provide an overview of the research on auditory sensory overload, highlighting the characteristics that may contribute to it : sensory disorders, auditory impairments, neurodevelopmental disorders, psychoacoustic features of stimuli, sensory environment, or soundscapes. We will pay particular attention to the urban soundscape and its other sensory modalities to understand the perceptual mechanisms of individuals in an environment overloaded with information, causing discomfort and potentially leading to sensory overload for those navigating through it.

More specifically, we will explore the influence of the spatial reproduction of a sound environment in a laboratory setting during a sensory experience, examining how this spatial criterion appears to impact our sensory load.

Keywords : *sensory overload ; information overload ; cognitive overload ; urban environment ; soundscapes ; perception ; psychoacoustics criteria ; spatial hearing ; ambisonics ; auditory sensitivity ; hyperacusis ; misophonia ; intersensory ; gestalt ; noise pollution ; psychophysiological characteristics ; psychological and behavioral effects.*

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à donner toute ma reconnaissance à Isabelle Viaud-Delmon, Coralie Vincent, Olivier Warusfel et l'équipe *Espaces Acoustiques et Cognitifs* de l'IRCAM, ainsi que Marine Taffou et Vincent Isnard de l'IRBA, sans lesquels ce mémoire n'aurait pu voir le jour.

Je remercie également Valentin Fraisse et Thibaut Carpentier pour leur aide bibliographique et technique. Matéo Picard également, pour ses photos qui ont si bien illustré ce mémoire.

Et évidemment merci à tous ceux qui ont participé au test perceptif.

Merci à Nicolas Montgermont et Corsin Vogel pour leur encadrement pédagogique brillant. Merci également aux corps enseignants de l'école nationale supérieure Louis Lumière et aux élèves qui m'auront accompagné ces dernières années.

Enfin, merci à mes parents, ma sœur, mes proches et amis. Merci à Aurélien qui aura suivi cette aventure du coin de l'œil en buvant son café.

Merci à Valentine pour son soutien inconditionnel.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	1
Abstract	2
Remerciements	3
Table des matières	4
Introduction	7
I. Surcharge sensorielle, état de la recherche	10
1. Surcharge sensorielle.....	10
a. Définition	10
b. Fonctionnement et origines de la surcharge sensorielle.....	11
c. Caractéristiques reconnues pouvant favoriser la surcharge sensorielle	12
d. Multisensorialité et intersensorialité.....	14
e. Traitement et filtrage de l'information sensorielle	15
f. Diagnostiques et traitements	16
g. Surcharge sensorielle sonore	16
2. Troubles de la sensorialité et troubles neurodéveloppementaux connexes	17
a. Profils sensoriels	17
b. Perception auditive atypique	19
c. Sensibilité sonore	19
d. Trouble du traitement sensoriel (TTS)	22
e. Trouble du spectre autistique (TSA)	23
f. Impacts comportementaux du bruit et fatigue auditive	24

II. Perception et analyse du paysage sonore urbain.....	26
1. Perception du paysage sonore urbain.....	27
a. Gestalt et structuration auditive.....	27
b. Perception de l’ambiance urbaine.....	34
c. Un outil de lecture du paysage sonore urbain.....	35
d. Des indices sonores psychoacoustiques.....	38
e. Sémantique.....	40
3. Le paysage sonore urbain.....	44
III. Enregistrement d’un corpus de paysages sonores urbains	47
1. Méthodologie.....	47
a. Caractéristiques du lieu d’enregistrement recherché.....	47
b. Méthodologie de prise de son et de mise en place du matériel.....	49
c. Matériel d’enregistrement.....	50
d. Choix du lieu d’enregistrement et déroulement de la prise de son.....	52
e. Description du paysage sonore enregistré.....	53
f. Méthodologie d’analyse.....	55
2. Une courte introduction à l’Ambisonique.....	55
a. L’ambisonique en bref.....	55
b. Utilisation dans le cadre du test perceptif et validité écologique.....	56
IV. Test perceptif	58
1. Procédure expérimentale.....	58
a. Participants.....	59
b. Déroulement de l’expérience.....	60
c. Interface et logiciels utilisés.....	64
d. Hypothèses.....	68
2. Résultats et méthodologie d’analyse.....	69
a. Analyse des questionnaires.....	70
b. Analyse de l’expérience de détection de cibles.....	71

c. Analyse des temps de réponse	73
d. Analyse des entretiens post-expérimentaux.....	77
e. Piste de recherche complémentaire	78
3. Discussion.....	80
Conclusion	82
Références.....	84
Annexes	89
A – Une taxonomie des environnements acoustiques.....	90
B – Questionnaire de peur des foules	91
C – Questionnaire d’hyperacousie	92
D – Questionnaire d’audition spatiale.....	93
E – Notice d’information du test perceptif.....	95
F – Questionnaire rempli lors de l’entretien.....	97
Table des figures.....	98

INTRODUCTION

Qui n'a pas ressenti, au moins une fois dans sa vie, une expérience où nos sens se retrouvent submergés sous une avalanche de stimuli sensoriels. Une sensation déconcertante où nous sommes dépassés par la situation et que notre seule envie est de retrouver le calme. La perception m'a toujours captivé, attirant mon attention vers les illusions qu'elle tisse, les intrications surprenantes de nos erreurs perceptuelles. Curieusement, bien que mes inclinations aient toujours été guidées par la curiosité, il a fallu que j'arrive à Paris, dans l'effervescence sensorielle propre à la vie urbaine, pour réaliser une dimension jusqu'alors négligée de ma perception. L'impact de cette découverte s'est manifesté non pas comme une symphonie harmonieuse, mais plutôt comme une cacophonie fatigante.

Ce phénomène peut être nommé surcharge sensorielle et est couramment décrit en psychiatrie et est associé à un grand nombre de troubles. Pourtant ce terme reste vague, il est décrit sous des noms différents, est parfois exclusivement associé à des troubles et d'autres considèrent qu'il peut toucher tout individu. Afin d'y voir plus clair, nous analyserons une étude de Scheydt *et al.* (2017) qui a pour but de généraliser la terminologie, sa symptomatologie et son fonctionnement. Afin d'analyser la totalité du phénomène, nous partirons du principe qu'il existe une surcharge sensorielle généraliste, présente pour tous les individus mais hautement dépendante de leur sensorialité, de leurs éventuels troubles et du contexte dans lequel ils se trouvent (environnement stressant, fatigue, etc.). Nous y inclurons aussi les surcharges sensorielles subjectives, qui ne dépendent pas d'une densité de stimuli objectivement dérangeante. Nous nous intéresserons plus particulièrement à la surcharge sensorielle sonore.

Quelles sont les caractéristiques des stimuli, des individus et des environnements pouvant mener à une surcharge sensorielle sonore ? Quelle est l'influence de l'environnement urbain, de son acoustique et de sa perception ? Et comment évaluer l'influence des paysages sonores et de ses caractéristiques sur notre perception ? Il nous paraît essentiel pour répondre à ces questions de faire une méta-analyse incluant des recherches de domaines variés afin d'en faire une synthèse objective. Cette étude vise à faire un état de la recherche de la surcharge sensorielle sonore en mettant en évidence les caractéristiques pouvant la favoriser et à appliquer ces caractéristiques génériques au cas du milieu urbain.

Dans le premier chapitre nous nous intéresserons à la surcharge sensorielle dans la littérature et à toutes les informations sur sa définition, son fonctionnement, et les caractéristiques la déclenchant. Nous ferons aussi un tour des troubles qui y sont reliés et des troubles sonores qui pourraient la favoriser.

Dans le second chapitre, nous parlerons du paysage sonore urbain. Il contient un grand nombre d'informations sonores : véhicules et technologies, foules, chantiers, bars et oiseaux. Mais ce qui prédomine est une surprésence de sons de l'activité humaine, certains peuvent être associés à de la gêne ou de la douleur pour certains individus. Cette surprésence de stimuli fait du paysage sonore urbain une source de malaise pouvant favoriser la surcharge sensorielle pour ceux qui s'y déplacent. Nous nous intéresserons à ce qui fait de lui un environnement si aversif, à notre manière de percevoir un paysage sonore et ses sons en fonction de leurs caractéristiques.

Le troisième chapitre montrera la méthodologie mise en place pour capter un environnement sonore urbain. Le quatrième lui, montrera la procédure mise en place pour un test perceptif destiné à l'étude de la perception de stimuli tactiles et auditifs dans un contexte sonore urbain. Cette expérience se fera en ambisonique et

questionnera à quel point la tridimensionnalité de l'environnement urbain et la précision des sources sonores influencent la perception et conduisent à la surcharge sensorielle.

Cette étude peut contribuer à une meilleure compréhension des mécanismes de la surcharge sensorielle et de notre perception du paysage sonore urbain. Elle pourrait nous aider à concevoir un urbanisme pour des environnements plus adaptés à nos compétences auditives. Nous aider aussi à distinguer des critères, des sons ou des contextes favorisant la surcharge sensorielle.

I. SURCHARGE SENSORIELLE, ÉTAT DE LA RECHERCHE

1. Surcharge sensorielle

a. Définition

La surcharge sensorielle (de l'anglais « sensory overload ») est un état provenant de l'exposition à une grande densité de stimuli sensoriels sur l'un ou plusieurs de nos sens. Cette surstimulation peut être favorisée par des états de fatigue ou de nervosité, donne à l'individu l'impression d'être submergé et peut entraîner : crise de panique, anxiété, stress, agitation, irritabilité, manque de concentration. Sur le long terme elle devient un problème sérieux ayant des conséquences à la fois psychologique et physiologique.

À titre d'exemple, un supermarché ou une discothèque favoriseront la surcharge sensorielle par leur densité d'informations sensorielles (musique, sons de conversations, réverbérations qui remplissent l'espace acoustique, ambiance lumineuse vive et/ou clignotante des éclairages halogènes, etc.). Il est important de préciser que nos réponses à un environnement varient en fonction de nos sensibilités sensorielles individuelles. Certains ne ressentiront pas de surcharges sensorielles alors que d'autres y seront très sensibles, et un environnement affectant un individu pourrait ne pas affecter une autre personne pourtant sensible aux surcharges sensorielles.

On retrouve notamment la surcharge sensorielle dans les symptômes du trouble du spectre de l'autisme (TSA), des troubles du stress post-traumatique (TSPT) et dans les troubles du déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH). La surcharge sensorielle peut atteindre tout individu, même si sa *symptomatologie*¹ est fréquemment associée à des troubles neurodéveloppementaux, à cause d'un mécanisme de filtrage des stimuli plus facilement perturbable (Scheydt *et al.*, 2017).

b. Fonctionnement et origines de la surcharge sensorielle

Selon Lipowski (1975), « [...] *a basic assumption underlying the concept of information overload asserts that the human organism functions as an information-processing system of limited channel capacity. [...] when it is exceeded by the stimulus input, a state of information overload ensues. A person cannot manage within a fixed period of time to cope with more than a finite number of signals.* »². Il faut expliquer cet emploi du terme de surcharge d'informations par Lipowski, la différence avec la surcharge sensorielle se trouve dans la nature du stimulus. Dans la surcharge d'information, le stimulus est porteur d'informations et a une signification pour celui qui le perçoit, il résulte du stimulus sensoriel. Bien que différentes dans la nature des stimuli les déclenchant, elles sont assez similaires, voire reliées selon les recherches.

En faisant le tour du sujet de la surcharge sensorielle, on passe à travers un grand nombre de thèmes. La littérature autour des troubles neurodéveloppementaux la cite abondamment sans pour autant rentrer dans le détail des caractéristiques pouvant les déclencher. On la trouve souvent citée dans des analyses d'environnement tels que les

¹ Symptomatologie : ensemble des symptômes étudiés pour une maladie.

² Traduit par l'auteur : « [...] une hypothèse fondamentale sous-tendant le concept de surcharge d'informations affirme que l'organisme humain fonctionne comme un système de traitement de l'information doté d'une capacité de canal limitée. [...] lorsque cette capacité est dépassée par l'entrée de stimuli, un état de surcharge d'informations s'ensuit. Une personne ne peut pas, dans un laps de temps fixe, gérer plus qu'un nombre fini de signaux. »

hôpitaux et les supermarchés, dans des études sur les contenus multimédias, des études sur les publicités, ou bien dans des théories de la perception. Pourtant, avec plus d'une cinquantaine d'articles sur le sujet, sa définition reste très fragmentaire et le vocabulaire pour la décrire tend à varier. Une analyse de Scheydt *et al.* (2017), fit une synthèse de ces différents articles et définit la surcharge sensorielle comme une perception objective ou subjective d'un niveau excessif de stimulation supérieur à l'habitude de l'individu, et qu'il vit comme une expérience aversive.

Scheydt *et al.* (2017) définissent deux types de surcharges sensorielles : l'objective et la subjective. Dans la surcharge sensorielle objective, la charge sensorielle pourrait être objectivement mesurée et correspondrait à un seuil de densité de stimuli ou d'informations maximale traitable qui aurait été dépassée. Dans la surcharge sensorielle subjective, la stimulation sensorielle est vécue avec répulsion et stress, elle dépend de la sensorialité de l'individu.

En conclusion, trois termes semblent décrire le phénomène : surcharge sensorielle, surcharge d'informations et surcharge cognitive. Le terme de surcharge sensorielle ne prend en compte que les flux sensoriels, et est donc compris dans celui de surcharge cognitive qui prend en compte tout autre flux d'informations (y compris les pensées et les actions que l'individu effectue). Le terme de surcharge d'informations quant à lui, prend seulement en compte les stimuli sensoriels porteurs d'informations pour l'individu.

c. Caractéristiques reconnues pouvant favoriser la surcharge sensorielle

Beaucoup de personnes ont déjà eu une expérience du phénomène de surcharge sensorielle lors de périodes de stress ou de fatigue. Pour la plupart des individus la fatigue et/ou le stress, associé à un environnement saturé de stimulus, semble être la raison principale d'une surcharge sensorielle (Scheydt *et al.*, 2017). L'aspect

imprévisible ou non périodique d'une scène sensorielle participe à aggraver la surcharge.

Le contexte est aussi une caractéristique importante à prendre en compte lorsqu'on parle de surcharge sensorielle, lorsque nous effectuons une tâche mobilisant nos capacités cognitives, la contrainte d'effectuer plusieurs tâches nous rend plus sensibles aux éventuels stimuli. « [...] *the effects of noise on task performance appear to be related to the extent to which it interferes with some ongoing activity or when it produces disruptive cognitive overload.* »³ (Lipowski, 1975).

Lors d'expérimentations décrites par Lipowski (1975), des questionnaires à choix multiples étaient présentés en même temps qu'une stimulation audiovisuelle qui est censée créer de la surcharge. Le questionnaire est parvenu avec plus de cases par réponse pour certains et avec une contrainte de temps pour d'autres. Les résultats montraient que chez les individus avec une contrainte supplémentaire, le stress ajouté semblait augmenter les symptômes de surcharge sensorielle (plus d'erreurs, des temps de réponse plus lent, nervosité, etc.).

L'impression de ne pas pouvoir contrôler la stimulation, ou de ne pouvoir s'en libérer, est un facteur aggravant les symptômes de la surcharge sensorielle. Il a été observé chez des personnes sensibles à la surcharge sensorielle qu'au bout d'un certain temps sans possibilités de se libérer du stimulus, le sujet se sent submergé et tend à s'échapper mentalement dans des rêves et des images mentales, dans un état proche de l'endormissement (Lipowski, 1975).

³ Traduit par l'auteur : « [...] les effets du bruit sur la performance dans des tâches semblent être liés dans la mesure où ils interfèrent avec une activité en cours ou lorsqu'il entraîne une surcharge cognitive perturbatrice. »

d. Multisensorialité et intersensorialité

Le fait d'avoir plusieurs stimuli de plusieurs modalités sensorielles différentes, ainsi que les interactions entre les plusieurs sens (intersensorialité), est aussi à prendre en compte. Une étude sur un centre commercial montra que les surcharges sensorielles arrivaient beaucoup plus facilement si l'audition et la vision sont perturbées simultanément (Doucé & Adams, 2020). C'est aussi cette association de modalités audiovisuelles qu'on retrouve dans les témoignages d'individus atteints de TSA ou dans les expériences que décrit Lipowski. Expérimentalement, les cas de surcharge sensorielle ont, la plupart du temps, été obtenus grâce à une addition de visuels et de sons, une tâche y est souvent ajoutée (appuyer sur un bouton à la détection d'un stimulus). Augmenter le nombre de modalités sensorielles d'une expérience mène à une augmentation de la charge cognitive, rendant la détection d'un stimulus plus compliquée.

Pour autant, ce n'est pas toujours vrai puisqu'un *stimulus multisensoriel*⁴ est détecté et traité plus rapidement et précisément qu'un *stimulus unisensoriel*⁵. On définit l'intégration multisensorielle comme le traitement sensoriel de plusieurs modalités sensorielles à la fois. « *Des preuves indiquent que la facilité à détecter un stimulus multisensoriel est modulée par la charge perceptuelle, la quantité d'informations impliquées dans le traitement du stimulus.* » (Marucci *et al*, 2021). Dans cette étude qui mettait à l'épreuve la perception d'un panel de sujets dans plusieurs conditions expérimentales multisensorielles, l'analyse d'électro-encéphalogrammes et de *réponses galvaniques cutanées*⁶ leur a permis de constater que lorsque la charge sensorielle est grande, notre efficacité à la détection de stimuli baisse et notre stress augmente. Le son

⁴ Stimulus multisensoriel : stimulus contenant plus d'une modalité sensorielle (audiovisuel, audiotactile, olfacto-visuel, etc.).

⁵ Stimulus unisensoriel : stimulus contenant une seule modalité sensorielle.

⁶ Réponse galvanique cutanée : mesure avec des électrode de la conductance de la peau qui nous renseigne sur l'activité électrodermale d'un individu. L'activité électrodermale est modulée par les états cognitifs et émotionnels.

est la modalité la plus rapide à être détectée, sa présence dans un stimulus multisensoriel augmente d'autant plus la performance de détection (Marucci *et al.*, 2021).

e. Traitement et filtrage de l'information sensorielle

On entend souvent parler autour de la surcharge sensorielle du fait que les sons imprévisibles en sont une source et que les individus schizophréniques les supportent peu car leur filtrage de l'information est défaillant. « *The abnormal function of sensory gating may overload information in the higher cortex and its subsequent dysfunction, which is accompanied by psychiatric symptoms and behavioral disorders.* »⁷ (Mohebbi *et al.*, 2019). Ce mécanisme de filtrage a pour but de réguler les informations non désirables qui arrivent au cortex pour réduire la quantité à traiter. Le filtre adapte en continu sa sensibilité aux caractéristiques des stimuli entrants. On peut en tirer le principe que des stimuli continus et prévisibles seront facilement filtrés, alors que le filtre n'aura pas le temps de s'adapter à des stimuli imprévisibles.

Parmi les parties du système sensoriel on entend souvent parler dans la littérature de la formation réticulée. C'est une structure nerveuse du tronc cérébral, elle pourrait être reliée à la surcharge sensorielle puisqu'elle est l'interface dans laquelle arrivent toutes les informations sensorielles. Elle aurait un rôle de système d'aiguillage et « [...] *de filtre des informations sensorielles en diminuant la perception des flux sensoriels répétitifs et en ne laissant passer que les flux importants et inusités, évitant ainsi la surcharge d'informations sensorielles à traiter.* » (Canon, 2016). Des expériences ont mis en évidence que le LSD⁸ désactiverait le filtrage des informations de la formation réticulée, laissant le reste du cortex traiter tous les stimuli entrants et causant des hallucinations.

⁷ Traduit par l'auteur : « Le fonctionnement anormal du filtrage sensoriel peut surcharger l'information dans le cortex supérieur et entraîner par la suite son dysfonctionnement, accompagné de symptômes psychiatriques et de troubles du comportement. »

⁸ LSD : *Acide Lysergique Diéthylamide*, drogue psychédélique hallucinogène de synthèse.

f. Diagnostiques et traitements

Les psychologues et psychiatres peuvent évaluer la surcharge sensorielle à travers des entretiens cliniques et des observations comportementales. Les symptômes de la surcharge étant associés à d'autres troubles, il est important de prendre l'ensemble du tableau clinique lors de l'évaluation. Pour cela, il existe des questionnaires tels que le *Sensory Profile* de Dunn (1999) qui permettent de nous informer sur les sens les plus sensibles, ainsi que sur le type de sensorialité de l'individu. Nous aborderons dans la deuxième partie de ce chapitre plusieurs de ces tests et questionnaires. Le meilleur remède à une surcharge sensorielle consiste à s'éloigner de la situation l'ayant causée et à s'isoler dans un lieu que l'individu considèrera comme apaisant.

g. Surcharge sensorielle sonore

L'étude de ce mémoire se contentera d'analyser la surcharge sensorielle sonore. Bien qu'étant un des sens les plus cités après la vue dans les cas de surcharge sensorielle, la plupart des études se contentent de donner quelques caractéristiques pouvant engendrer une surcharge sensorielle sonore, quand elles n'utilisent pas tout simplement le mot « bruit ». L'approche de Lipowski (1975) soulignant le bruit comme la principale source de surcharge sensorielle urbaine offre une perspective importante, mais la définition large du terme "bruit" peut présenter des limitations. Elle englobe tous les sons urbains sans distinction, négligeant ainsi la diversité des sons, de leurs caractéristiques et des expériences individuelles. Pour une analyse approfondie de la surcharge sensorielle sonore, il est nécessaire de disséquer tout le spectre des stimuli auditifs, en prenant en compte la variété des contextes sonores auxquels les individus sont exposés.

Afin de mieux saisir le concept de surcharge sensorielle sonore, la suite de ce chapitre fera un état de l'art des différents troubles connexes. L'étude de la surcharge sensorielle dans le contexte de divers troubles revêt une importance cruciale pour une compréhension approfondie des caractéristiques de ce phénomène complexe. En analysant les liens entre la surcharge sensorielle et d'autres troubles, nous pouvons mieux appréhender la nature spécifique de cette expérience sensorielle atypique. Identifier les caractéristiques uniques de la surcharge sensorielle chez différentes populations permettrait de définir avec plus de précision les réponses sensorielles spécifiques associées à chaque trouble.

2. Troubles de la sensorialité et troubles neurodéveloppementaux connexes

a. Profils sensoriels

La perception d'un individu peut être caractérisée en fonction de sa sensibilité à un stimulus et au comportement qui en résulte. Le modèle de traitement sensoriel proposé par Dunn (1999) fait l'hypothèse qu'il existe un lien entre la réponse comportementale et le niveau de stimulation nécessaire pour obtenir une activation du système nerveux central. Sa recherche aboutit sur un questionnaire interrogeant sur la sensibilité aux différentes modalités sensorielles et du comportement qui en résulte.

Le modèle repose sur le concept d'un seuil sensoriel. En fonction, on pourra qualifier l'individu d'hypersensible ou d'hyposensible. Cette sensibilité est différente d'un sens à l'autre pour un même individu, c'est la somme globale de la sensibilité à chaque sens qui servira d'indicateur. Un individu hypersensible réagira vite à un stimulus, alors qu'un hyposensible pourrait ne pas le remarquer. La réponse comportementale sera qualifiée

en fonction de si l'individu est actif ou passif, c'est-à-dire s'il cherche, ou pas, à éviter la surstimulation en contrôlant son environnement (Metz *et al.*, 2019).

En fonction de ces deux critères, on peut dresser un profil sensoriel. Il existe quatre profils :

- Sensibilité sensorielle, hypersensible et passif, a tendance à réagir fortement aux stimuli et à s'y habituer lentement, irritabilité, agitation motrice ;
- Évitement sensoriel, hypersensible et actif, maintient les stimulations à distance, sensible aux changements et à la nouveauté ;
- Hyporéactivité sensorielle, hyposensible et passif, ne cherche pas à compenser le manque de stimulations, laisse passer les informations, dans ses pensées ;
- Recherche de sensations, hyposensible et actif, crée ou recherche des niveaux de stimulations importants.

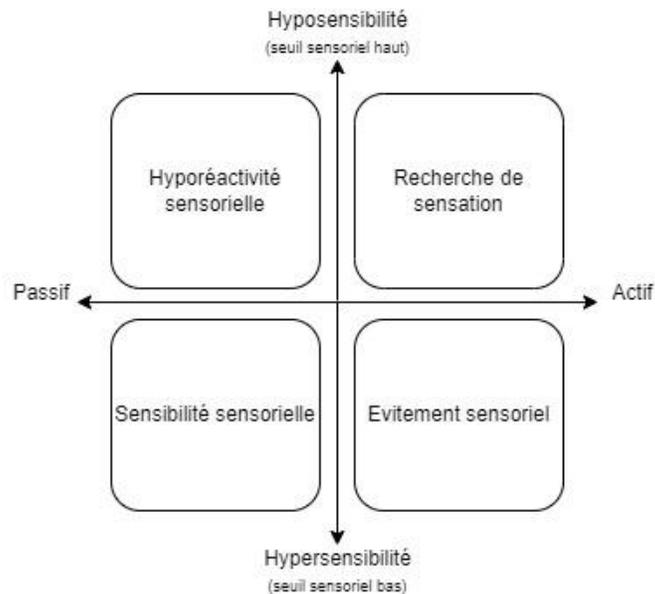


Figure 1 – Modèle à quatre quadrants de Dunn

En fonction des résultats, on peut aussi suspecter des pathologies ou des troubles (trouble du traitement sensoriel, trouble attentionnel, etc.). Du point de vue de la surcharge sensorielle, on pourrait faire l'hypothèse de plutôt la voir toucher des individus hypersensibles.

b. Perception auditive atypique

La surcharge sensorielle sonore n'est pas reliée directement à des *troubles lésionnels*⁹ affectant l'appareil auditif. Pourtant, les pertes auditives affectent la perception et pourraient influencer la résilience à la surcharge sensorielle. Christine Petit (2022) a proposé une hypothèse selon laquelle les pertes auditives pourraient causer une surcharge cognitive. Les pertes augmenteraient la charge cognitive en brouillant la ségrégation de l'information par rapport au bruit. S'appareiller d'audioprothèses aurait tendance à réduire cet effet.

c. Sensibilité sonore

Certains individus ont une sensibilité au son accrue qui les empêche de le tolérer. La sensibilité au son peut se manifester sous des formes très différentes, allant d'un simple manque de tolérance à l'intensité, jusqu'à l'intolérance pour certains types de sons. La suite de cette partie se consacrera à décrire ces différents troubles :

« *Hyperacusis is physical discomfort or pain when any sound reaches a certain level of loudness that would be tolerable for most people.* »¹⁰ (Henry et al., 2022). On considère

⁹ Troubles lésionnels : lié à une lésion, trouble ayant une origine physiologique.

¹⁰ Traduit par l'auteur : « L'hyperacousie se caractérise par un inconfort physique ou une douleur déclenchée par un son atteignant une intensité sonore généralement tolérable pour la plupart des individus. »

qu'une personne normale peut tolérer confortablement des sons à plus de 100 *dB HL*¹¹, ce n'est pas le cas d'une personne atteinte d'hyperacousie, qui tolèrera de 60 à 70 *dB HL* maximum, ce qui représente approximativement le niveau sonore d'un lave-linge. Les sons au-delà de ce niveau leur paraissent anormalement forts. Il existe des tests tels que le « Hyperacusis Questionnaire » de Khalfa *et al.* (2002) qui ont une fiabilité statistique et peuvent servir à faire un premier diagnostic clinique.

« *Misophonia refers to intense emotional reactions to certain sounds, regardless of the loudness of those sounds.* »¹² (Henry *et al.*, 2022). La misophonie est une condition mentale et un trouble psychiatrique, elle se caractérise par un rejet pour des stimuli spécifiques indépendamment de leur niveau sonore. Parmi les stimuli déclencheurs, on retrouve une grande variété de sons produits par le corps humain (les sons de mastication, d'eau avalée, de baisers, de reniflements, etc.). Mais ça ne se limite pas à ça : bébés qui pleurent, avions, enfants qui jouent, sons répétitifs, ambiances bruyantes, ou tout son qui pourrait causer une réaction émotionnelle. Les sons mis en cause varient d'un individu à l'autre. Si un stimulus déclenche la misophonie, la première réaction qui en résulte est la colère, mais on peut inclure tout un panel de réactions : irritation, impatience, anxiété et dégoût.

« *Noise sensitivity has been defined as “the physiological and psychological state of an individual that increases their reactivity to noise in general”.* Like misophonia, noise sensitivity is not driven by the intensity level or perceived loudness of sounds in the environment. »¹³ (Henry *et al.*, 2022). Cela ne veut pas dire pour autant que le niveau

¹¹ dB HL : décibels *Hearing Loss*, se réfère à une mesure standard des audiogrammes et des audioprothésistes.

¹² Traduit par l'auteur : « La misophonie fait référence à des réactions émotionnelles intenses à certains sons, indépendamment à l'intensité de ces sons »

¹³ Traduit par l'auteur : « La sensibilité au bruit a été définie comme « l'état physiologique et psychologique d'un individu qui augmente sa réactivité au bruit en général ». Tout comme la misophonie, la sensibilité au bruit n'est pas déterminée par le niveau d'intensité ou la perception de l'intensité des sons dans l'environnement. »

sonore n'aggrave pas la réaction. Les personnes atteintes de sensibilité au bruit ont tendance à préférer les lieux calmes, mais ces lieux peuvent exacerber le problème s'ils ont peur d'entendre des sons imprévisibles. La sensibilité au bruit est associée à des réactions telles que l'irritabilité et le sentiment d'être menacé par le son. Elle a des liens avec la dépression et l'anxiété.

« *Phonophobia is not a condition of discomfort caused by a physical sound. It is "fear" that a sound may occur that will result in anxiety, discomfort, or pain or that will exacerbate an existing auditory disorder.* » ¹⁴ (Henry et al., 2022). Les personnes en étant atteintes ont un sentiment anormal et persistant de peur du son, en conséquence, ils ont tendance à éviter les environnements urbains ou bruyants à cause des sons imprévisibles de la circulation, des cris, des sons de cuisine, de portes claquées, etc. La phonophobie peut être reliée, causée ou confondue avec l'hyperacousie.

Ces troubles ne sont pas exclusifs, un seul individu peut avoir plusieurs d'entre eux, ou bien avoir seulement certaines de leurs caractéristiques.

¹⁴ Traduit par l'auteur : « La phonophobie n'est pas une condition de malaise causée par un son physique. Il s'agit d'une « peur » qu'un son puisse se produire et entraîner de l'anxiété, de l'inconfort, de la douleur, ou aggraver un trouble auditif existant. »

d. Trouble du traitement sensoriel (TTS)

« Briefly, SPD is defined as a condition where brain processing of sensory information is not correctly arranged, giving rise to inappropriate behavioral and motor responses. SPD symptomatology is a very frequent feature of neurodevelopmental disorders, and may be present in Autism, ADHD and Learning disabilities. »¹⁵ (Galiana-Simal *et al.*, 2018).

Le traitement multisensoriel est le mécanisme s'assurant de la récupération des perceptions du système nerveux pour permettre le traitement et l'organisation des informations sensorielles (Passarello *et al.*, 2022). Dans le trouble du traitement sensoriel (TTS), cette fonction n'est pas assurée correctement. Il en existe trois catégories principales, qui peuvent co-exister :

- Troubles sensoriels de modulation, hypersensibilité, hyposensibilité ;
- Troubles sensori-moteurs, associé à des troubles posturaux, de la *dyspraxie*¹⁶ ;
- Troubles de discrimination sensoriels, où l'individu a du mal à discriminer ou à interpréter les informations de plus d'une modalité sensorielle.

Les troubles sensoriels de modulation peuvent aussi être caractérisés par une recherche de sensations, le questionnaire de profil sensoriel de Dunn est un outil adéquat pour faire un bilan clinique de ce trouble. L'outil le plus commun pour diagnostiquer le trouble du traitement sensoriel est le *test d'intégration sensorielle et de praxis*, qui est un kit de 17 tests sensoriels et tests de pratique motrice.

¹⁵ Traduit par l'auteur : « En bref, le TTS (Trouble du traitement sensoriel) est défini comme une condition où le traitement de l'information sensorielle par le cerveau n'est pas correctement organisé, entraînant des réponses comportementales et motrices inappropriées. La symptomatologie du SPD est une caractéristique très fréquente des troubles du neurodéveloppement et peut être présente dans l'autisme, le TDAH et les troubles d'apprentissage. »

Le trouble du traitement sensoriel est couramment associé à des états de surcharge sensorielle dans lesquelles l'individu se sent en danger (Cheng et Bogget-Carsjens, 2005).

e. Trouble du spectre autistique (TSA)

Le trouble du spectre de l'autisme (TSA) est caractérisé par des difficultés de communication, d'interactions, ainsi que par des comportements et centres d'intérêt restreints et répétitifs. Il existe des niveaux de sévérité variés avec des symptômes qui le sont tout autant. De plus, des études ont prouvé son lien avec des problèmes d'intégration sensorielle (Schaff & Lane, 2014). Le TSA est d'ailleurs souvent relié à d'autres troubles, tel que le TTS, l'hyperacousie (27% des individus atteints de TSA (Hsieh *et al.*, 2022)), la misophonie ou la sensibilité au bruit (Henry *et al.*, 2022).

*« For example, several sensory inputs simultaneously may become an information overload for individuals with ASD, making them overwhelmed and unable to respond. They are more sensitive to sensory inputs but exhibit fewer responses. »*¹⁷ (Hsieh *et al.*, 2022).

La sensibilité sonore des individus atteints de TSA est plus faible que la moyenne et leur adaptation au niveau sonore par le filtrage sensoriel est moins efficace, associé à leurs problèmes de traitement de l'information sensorielle cela fait d'eux des individus particulièrement en proie aux surcharges sensorielle, et notamment sonores. Les surcharges sont vécues comme des crises *« où le sujet se sent dépassé par les sollicitations sensorielles, alors ressenties comme intenses, suscitées par l'environnement immédiat »* (Chocron & Ponce, 2004). On trouve un vocabulaire très

¹⁶ Dyspraxie : perturbation de la capacité à effectuer des mouvements et activités, dysfonctionnement moteur.

¹⁷ Traduit par l'auteur : « Par exemple, plusieurs stimuli sensoriels simultanés peuvent constituer une surcharge d'informations pour les personnes atteintes de TSA, les submergeant et les rendant incapables de répondre. Ils sont plus sensibles aux stimuli sensoriels mais présentent moins de réponses »

riche et descriptif sur les effets de la surcharge : engouffrement, fragmentation, le corps se dilue dans les sens.

« [...] une augmentation des sensations entraîne mécaniquement la surcharge sensorielle. [...] Dès lors, la distinction entre senti et perçu, c'est-à-dire entre fond pulsionnel et fond perceptif, n'est plus assurée et affecte la différenciation entre le sujet et son environnement. » (Chocron & Ponce, 2004).

Les surcharges sensorielles dans le TSA semblent extrêmement influencées par l'expérience personnelle de l'individu, et des situations pourtant susceptibles de créer de la surcharge ne le feront pas car la représentation que l'individu s'en fait est positive. Lors d'une crise, tout repose sur la capacité de l'individu à s'apaiser pour pouvoir s'éloigner et limiter la stimulation et son impact.

f. Impacts comportementaux du bruit et fatigue auditive

Le son peut être mesuré objectivement mais sa perception n'en est pas moins subjective, pourtant les effets du bruit sont bien réels. Tout d'abord, le bruit dérange, il empêche la communication et empêche de se relaxer. Y être exposé au long terme peut causer l'épuisement et le développement de différents problèmes. Les sons soudains et imprévisibles ont tendance à déclencher une réaction réflexe involontaire. Cette réaction déclenche le réflexe stapédien (muscle se contractant pour atténuer le niveau sonore, réponse défensive à un stimulus) mais aussi toute une série de muscles protégeant les parties vulnérables du corps, c'est un réflexe de défense et de fuite.

Il pourrait y avoir de lourdes conséquences à vivre dans des conditions où ces types de sons sont omniprésents, d'autant plus si c'est aussi pendant le sommeil. Nous continuons à écouter et réagir aux sons pendant que nous dormons, même si le niveau

est faible, à partir de 50 environ dB(A)¹⁸, le sommeil en sera perturbé. « *The ensuing effects are decreased muscular movements, a decreased secretion of hormones, possibly followed by a decreased function of the immune system and a mood change into apathy and decreased social contacts. Such reactions have been observed in populations living near airports or close to heavily trafficked roads.* »¹⁹ (Rylander, 2006).

¹⁸ dB(A) : décibels pondération A, établie pour tenir compte de la perception fréquentielle des humains à niveau faible. Couramment utilisé pour évaluer le niveau de bruits environnementaux.

¹⁹ Traduit par l'auteur : « Les effets qui en découlent sont une diminution des mouvements musculaires, une sécrétion réduite d'hormones, éventuellement suivie d'une diminution de la fonction du système immunitaire et d'un changement d'humeur vers l'apathie et une diminution des contacts sociaux. De telles réactions ont été observées chez des populations vivant à proximité d'aéroports ou à proximité de routes fortement fréquentées. »

II. PERCEPTION ET ANALYSE DU PAYSAGE SONORE URBAIN

« *One of the most pervasive and novel characteristics of life in technologically advanced societies is the growing prevalence of conditions of sensory and informational overloads.* »²⁰ (Lipowski, 1975).

Depuis les premières citations de la surcharge sensorielle, le contexte urbain, la ville et son paysage sonore ont été tenus pour responsable. Dans le cadre de cette étude nous souhaitons donc analyser leurs liens pour mieux comprendre pourquoi sa perception causerait de la surcharge sensorielle. Pour cela, nous nous intéresserons dans cette partie au paysage sonore urbain et sa perception en fonction de ses caractéristiques physiques, psycho-perceptives et sémantiques, de l'architecture urbaine ainsi que des profils d'écoutes sensoriels et culturels.

Le concept de paysage sonore, issu du livre éponyme de Schafer (1977), permet de décrire un environnement sonore en englobant tous les sons qu'on y perçoit, qu'ils soient *géophoniques*, *biophoniques* ou bien *anthropophoniques*²¹ (Krause, 2016). Les limites de l'espace sonore perçu dépassent souvent l'espace visuel. Le paysage sonore, à l'instar d'un paysage peint, est composé de plusieurs plans sonores, il prend en

²⁰ Traduit par l'auteur : « L'une des caractéristiques les plus persistantes et novatrices de la vie dans les sociétés technologiquement avancées est la prévalence croissante des conditions de surcharge sensorielle et informationnelle. »

²¹ Géophonie, Biophonie et Anthropophonie : représentent respectivement l'ensemble des sons produits par les éléments abiotiques (eau, vent, feu, etc.), par les organismes vivants, par les humains et leurs activités.

compte les sons du premier plan dont on identifie l'information et la source, comme les sons du plan sonore le plus éloigné qui se mélangent au bruit de fond.

1. Perception du paysage sonore urbain

a. Gestalt et structuration auditive

L'organisation perceptive, dans son sens original provient de la *Gestalt*²² et concerne la structuration des données visuelles, c'est une condition à l'identification des formes. La *Gestalt* propose une approche des processus derrière notre manière de distinguer l'objet de son environnement, la figure de son fond.

La *Gestalt* découpe la perception en trois parties :

- Une relevant du phénomène physique, les stimuli ayant pour propriété de déclencher une réponse du système sensoriel ;
- Une physiologique, les processus sensoriels déclenchés par la stimulation et qui font l'interface entre les stimuli et la sensation ;
- Une psychologique, les sensations et perceptions.

Inné VS Acquis

Dans la *Gestalt*, la structuration sensorielle est considérée comme innée, nous n'apprenons pas à organiser les informations sensorielles au cours de notre développement, nos connaissances et habitudes n'influenceraient pas notre perception.

²² Gestalt : théorie de psychologie et philosophie qui fait l'hypothèse que les processus de perception et de représentation mentale traitent les phénomènes comme des formes globales plutôt que comme l'addition et juxtaposition de formes simples.

Pourtant cette hypothèse de la *Gestalt* classique est remise en cause dans les études modernes et remplacée par une perception hybride, entre l'inné et l'acquis.

Un débat similaire avait vu le jour pour l'intersensorialité, des données récentes ont montré que la plasticité du cerveau avait permis la création en l'espace d'une semaine de *connexions intermodales*²³, ce qui montre que l'intersensorialité peut être acquise. Cette durée est par ailleurs trop courte pour créer de nouvelles connexions, ceci implique que ces voies sensorielles existaient déjà mais sans être accessibles. Cet argument confirmerait donc une perception innée et acquise pour tout ou partie des phénomènes sensoriels (Candau, 2010).

« [...] notre représentation du monde extérieure est fausse. Elle est le produit de notre cerveau : les couleurs, les sons, par exemple, n'existent pas dans la nature tels que nous les voyons et les entendons. [...] Bref, ce que nous percevons ordinairement du monde dépend étroitement des activités limitées de notre cerveau et de nos sens. » (Delorme & Flückiger, 2003).

Les récepteurs sensoriels, qui représentent la partie physiologique, peuvent être vus comme des transducteurs qui transforment les stimuli en sensations. Nous n'avons pas accès à la réalité du stimulus, mais à une sensation issue de la variation de l'état de nos nerfs sensoriels, comme le dit la loi de l'énergie spécifique des nerfs de *Johannes Müller*²⁴. On peut établir un lien mathématique entre l'amplitude du stimulus et de la sensation si on considère la perception innée et qu'on ne prend pas en compte les variations individuelles de la perception.

²³ Connexions intermodales : connexions neuronales utilisées pour le traitement de d'informations sensorielles provenant de plusieurs modalités sensorielles.

« [...] *Hermann von Helmholtz*, [...] affirme que loin d'être un simple constat de la réalité fondé sur les données sensorielles, la perception serait plutôt le résultat d'inférences perceptives inconscientes fondées sur l'expérience. » (Delorme & Flückiger, 2003).

En considérant l'expérience comme une part importante de la perception, les recherches ont commencé à considérer l'information et le contexte qui l'entoure comme centrales. La perception serait alors la construction de l'inférence perceptive combinant les sensations et les représentations qu'on s'en fait.

Gestalt sonore

« [...] *c'est dans l'interdisciplinarité que se construisent les nouvelles connaissances sur l'audition.* » (Delorme & Flückiger, 2003).

Cette approche de la structuration visuelle peut trouver une analogie, si on considère l'objet visuel comme un objet sonore et l'environnement en tant que paysage sonore qui contient l'objet sonore, cette distinction de la figure et du fond est aussi possible. Cette base forme les prémices d'une *Gestalt* sonore qui a pour but la compréhension de la structuration auditive (Delorme & Flückiger, 2003).

Tout d'abord, nous préférons utiliser le verbe « écouter » plutôt que « entendre », pour souligner le rôle de l'attention dans la réaction sensorielle. Quand on écoute un objet sonore, a priori, on ne peut pas savoir s'il a été créé par l'association de plusieurs objets sonores plus simples ou s'il est unique. Et inversement, en entendant une succession d'objets sonores, on ne peut pas savoir s'ils proviennent d'une seule source, ou de plusieurs. Pour remédier à cela, un processus perceptif doit faire une ségrégation ou une fusion des différents objets sonores perçus. Ce phénomène, nommé processus d'organisation, est une des bases de la psychologie gestaltiste.

²⁴ Johannes Müller : médecin allemand du 19^{ème} siècle qui marqua une étape importante dans la recherche sur la physiologie grâce à ses connaissances en chimie et en physique.

C'est grâce aux processus de ségrégation et fusion qu'on peut expliquer l'effet *cocktail-party*, qui consiste en la capacité auditive de ségrégation perceptive d'un son parmi les autres sons d'un environnement. Cet effet se focalise sur le centre de notre attention, pour négliger les autres sons qui perturberaient notre compréhension. Il est à la fois intentionnel, dépendant d'un processus attentionnel (on cherche à entendre quelqu'un), et automatique, dépendant d'un processus attentionnel involontaire (quelqu'un dit notre prénom). L'effet *cocktail-party* repose, entre autres, sur un processus de démasquage binaural, c'est-à-dire, par une ségrégation du signal dans le bruit grâce aux différences interaurales.

Critères de structuration

Albert Bregman (1990), développe *l'analyse des scènes auditives (auditory scene analysis)* dans le but de comprendre les interactions en jeu dans des scènes sonores complexes. Selon lui, les processus de ségrégation et de fusion des informations découpent le flux sonore entendu en différents flux auditifs (*auditory streams*) en fonction de leur similarité. Selon lui, la formation des flux auditifs provient de deux processus :

- Groupement simultané, qui divise les sons arrivants simultanément dans différents flux.
- Groupement séquentiel, qui divise les sons sur de longues périodes de temps.

En reprenant notamment les études de Bregman, Delorme & Flückiger (2003) définissent des critères de structuration de l'information auditive. Ils en retiennent cinq principaux : harmonicité, synchronicité, proximité fréquentielle, proximité temporelle, spatial (Delorme & Flückiger, 2003).

Une des premières intuitions qu'on peut avoir pour la structuration auditive, est que nous reconnaissons les sons par leur timbre. Mais même si nous connaissions certains timbres de manière innée, ce n'est pas le cas de tous. Cela repose sur deux principes : que la structuration auditive et la reconnaissance reposent sur l'expérience auditive ; que nous soyons sûrs que ce n'est pas une combinaison de sons que nous écoutons.

Le critère d'harmonicité repose justement sur la ségrégation ou la fusion de sons en fonction de leur structure harmonique, si deux sons ont la même, ils seront associés (il faudrait également que leur attaque soit identique). Rappelons qu'un son harmonique est tel que ses fréquences soient des multiples de sa fréquence la plus basse, la fondamentale. Beaucoup d'instruments musicaux produisent des sons harmoniques, mais dans la nature, c'est aussi le cas de nos voix, d'oiseaux, et d'autres animaux. Les animaux « sonores » ont tous un registre fréquentiel réparti pour une cohabitation de leurs différents timbres, on peut supposer qu'il y est rare d'entendre deux sons avec la même structure harmonique en même temps.

La proximité fréquentielle est un critère séparant les sons graves des sons aigus, et associant ceux faisant partie d'une même gamme de fréquences.

La synchronicité, elle, repose sur la temporalité des sons. Si deux sons sont joués simultanément, et possèdent tous deux une même *enveloppe* ²⁵ (corrélation des évolutions temporelles des deux sons), on les percevra comme un seul et unique son. Ce qui s'explique certainement par le fait que dans un environnement naturel, il est rare d'écouter des sons synchrones.

²⁵ Enveloppe : (ADSR) courbe décrivant les évolutions temporelles de l'intensité d'un son en fonction du temps.

La proximité temporelle agit en séparant les sons entendus quasi-simultanément (mais pas synchrones), ce sera le cas avec, par exemple, une mélodie rapide jouée sur un piano dont les notes sembleraient dissociées. Mais si cette mélodie est ralentie, on aura tendance à l'assimiler à une source unique. Notons par ailleurs que l'impression de durée auditive, c'est-à-dire la sensation de percevoir la temporalité d'un son, se fait à partir de dix millisecondes, soit dix fois moins que pour l'impression de durée visuelle, ce qui en fait le récepteur le plus sensible à la durée des événements et capable de discriminer les différences de durées avec le plus de finesse.

Le critère spatial repose sur beaucoup de phénomènes, parlons tout d'abord de la reconnaissance de la distance à la source, celle-ci s'effectue grâce à la différence de niveau entre le champ diffus et direct. Cela repose sur le principe d'antériorité, dont le fonctionnement est de considérer que si deux sons identiques arrivent avec un délai, le premier à arriver définira la position de la source (c'est le champ direct, provenant de la source) et le reste sera considéré comme de la réverbération (le champ diffus) et viendra enrichir la perception de la position. La distance se reconnaît aussi au timbre du son, au plus un son parcourt de distance, au plus ses fréquences aiguës seront absorbées par le milieu.

La localisation repose en second lieu sur notre audition *binaurale*²⁶. Le fait d'avoir deux oreilles nous permet de repérer des différences interaurales d'intensité et de temps, si le son arrive de la gauche, nous l'entendrons d'abord dans l'oreille gauche, et il perdra aussi du niveau sonore dans le trajet le menant à l'oreille droite. La physiologie de nos oreilles internes et externes affine cette localisation. Malgré cela, nos performances en localisation auditive ne sont pas maximales, en présence de plusieurs sources sonores

²⁶ Binaural : « ayant trait aux deux oreilles », décrit le fonctionnement à deux oreilles de l'humain pour la localisation de sources sonores, c'est aussi une méthode d'enregistrement et de restitution sonore pour une écoute spatiale au casque.

synchrones, nous percevons le son à une *position virtuelle*²⁷ (si elles sont au même niveau, la position virtuelle est au milieu des sources réelles, s'il y a un délai entre les sources, l'effet d'antériorité prend le dessus).

La connaissance du stimulus et de sa signification, doit faciliter la reconnaissance par son timbre, mais aussi faciliter les autres critères de structuration à localiser et identifier le son avec plus de finesse.

On pourrait aussi rajouter à ces critères celui du niveau sonore, mais il se rapproche d'une certaine manière au critère spatial et sa capacité à repérer la distance d'un son (proportionnelle à sa baisse de niveau et à son filtrage des fréquences aiguës). Le critère de niveau sonore doit tout de même jouer un rôle dans la structuration de sons provenant d'un même plan sonore. Un autre critère pourrait être la reconnaissance de l'attaque d'un son, qui fut par ailleurs une des prémices des recherches de Pierre Schaeffer (1966), puisqu'il remarqua qu'en retirant, par erreur, l'attaque d'un son de cloche, il ne la percevait plus comme une cloche, mais comme un hautbois.

Malgré l'utilité de ces critères pour comprendre la perception, la plupart des tests ayant mis en avant ces critères sont issus d'expériences en laboratoire. Il est alors dur d'imaginer les interactions en jeu entre ces critères dans la compréhension d'une scène sonore complexe.

²⁷ Position virtuelle d'un son : endroit où on percevra l'association de deux sons identiques alors qu'il ne s'y trouve aucune source.

b. Perception de l'ambiance urbaine

La manière dont nous percevons un environnement est intrinsèquement liée à notre perception personnelle et à notre relation avec cet espace. L'environnement urbain est particulièrement complexe, un grand nombre de facteurs viennent y influencer toute la multisensorialité de notre perception. « *Les diverses modalités sensorielles, rappelle Derek Denton, sont liées entre elles, au sein de la conscience, en une unité perceptive globale* » (Candau, 2010). Parler seulement du paysage sonore urbain quand on veut parler du son en ville, c'est oublier toute l'intersensorialité qu'implique cet environnement. L'architecture et l'aménagement urbain jouent par exemple un rôle crucial dans l'appréhension de l'environnement qui nous entoure en modulant la propagation des sons. Pourtant, l'espace sonore perçu ne décrit pas forcément l'espace réel, cette différence enrichit la perception de l'espace qui nous entoure.

« *Grâce aux techniques d'imagerie cérébrale, on a pu identifier de multiples zones de convergence des différents messages sensoriels dans le cerveau.* » (Candau, 2010).

L'intersensorialité implique aussi que les perceptions issues d'un sens spécifique puissent être affectées par les autres sens, modifiant ainsi la représentation personnelle du phénomène. Elle contribue aussi à l'incorporation du contexte de l'information, en créant des liens entre les multiples expériences sensibles (par exemple, regarder des lèvres en train de parler enrichit la perception et favorise l'intelligibilité de la parole). Étudier le paysage sonore urbain nécessite donc de respecter des conditions écologiques pour saisir la globalité des phénomènes sensoriels impliqués.

Le CRESSON (Centre de recherches sur l'espace sonore) propose dans cette optique des recherches ayant une approche centrée sur l'homme dans un environnement naturel ou urbain, et non en laboratoire. Dans ces conditions, il est dur de juger qualitativement les stimuli impliqués et il devient important de prendre en compte les facteurs culturels et sociaux de l'environnement comme de l'individu. Ils définissent

alors la notion d'ambiance urbaine, qui regroupe toute la complexité multisensorielle de la ville. C'est donc une étude fine sur l'urbain, le social et le sonore qui est menée pour comprendre la perception et les représentations auditives (Candau & Le Gonidec, 2013).

c. Un outil de lecture du paysage sonore urbain

Afin de faciliter l'analyse de paysage sonore, le CRESSON (2018) développe un outil de lecture, le répertoire typologique des effets sonores (Torgue & Augoyard, 1995). On y retrouve toutes sortes d'adjectifs permettant de décrire le paysage sonore tout en formalisant un lexique. Ils ont mis en avant une liste d'effets sonores regroupés en cinq catégories :

- Les effets élémentaires ou acoustiques, la matière sonore ou la manière dont le son se propage ;
- Les effets de composition, la structure globale et l'interaction entre les sons dans un paysage sonore ;
- Les effets de perception, le profil du sujet ainsi que tous les phénomènes psychoperceptifs ;
- Les effets psychomoteurs, les réponses physiques face à un stimulus ;
- Les effets sémantiques, l'écart entre le contexte sonore et sa signification pour l'individu.

Ces effets sont rangés dans la catégorie qui leur correspond le mieux, malgré leurs potentiels liens avec une autre catégorie. Voici une liste non exhaustive de différents effets, tirés du site internet du CRESSON (2018), pouvant affecter la perception d'un paysage sonore urbain :

Elémentaire :

Couplage, association acoustique de sources dissociées (notamment par l'espace de propagation urbain) ;

Filtrage, modification de l'enveloppe spectrale d'un son (notamment par l'espace de propagation urbain) ;

Rumble, grondement (caractéristique dans la circulation urbaine) ;

Tremolo, battements rapide (caractéristique de certaines mobylettes par exemple) ;

Doppler, modification de la fréquence perçue de la source liée au déplacement de la source par rapport au point d'écoute ;

Masque, présence d'un son qui, par son timbre ou son niveau (ou par sa perception), va masquer tout ou une partie d'un autre son.

Composition :

Emergence, apparition nette d'un son par rapport à un contexte d'intensité, de timbre, de rythme, etc. ;

Désynchronisation, décontextualisation, émergence d'un son qui rompt un rythme bien établi ;

Répétition, réverbération, écho ou bien répétition par une source d'un même son ;

Estompage, disparition d'une atmosphère sonore sans que l'auditeur s'en aperçoive.

Perception :

Cocktail-party, écoute sélective, discrimination d'un son dans l'espace et séparation spatiale du bruit (avec la parole par exemple) ;

Gommage, effacement de la perception ou du souvenir d'un ou plusieurs sons dans un ensemble, au quotidien une grande partie des sons sont entendus sans être écoutés ;

Synecdoque, écoute sélective valorisant un ou plusieurs sons dans un paysage sonore, au détriment d'autres sons qui seront gommés ;

Délocalisation, on pense savoir d'où vient le son mais ce n'est pas sa vraie localisation ;

Ubiquité, on ne sait pas localiser le son, il vient de partout et nulle part à la fois ;

Hyperlocalisation, source ponctuelle, ou se déplaçant, qui focalise irrésistiblement l'attention de l'auditeur ;

Mur, intensité forte et continue, l'ensemble des sons matérialise un « mur de son », sentiment d'impuissance et d'écrasement.

Psychomoteur :

Lombard, comportement par lequel plus le niveau sonore augmente, plus la vigilance croît (dans le reste de la littérature, il est associé à la modification de la prononciation des mots pour s'adapter à l'augmentation du niveau sonore) ;

Enveloppement, sensation d'être enveloppé dans une matière sonore qui prédomine sur les autres sons, peut avoir des connotations négatives (dans un avion) ou créer l'envoutement ou la sidération ;

Immersion, dominance d'un plan sonore de second plan ou lointain, les sons apparaissant sur le premier plan semblent positionnés sur une toile de fond (par exemple, la mer crée une toile sonore qui semble contenir les sons des enfants qui jouent sur la plage au premier plan).

Sémantiques :

Ils dépendent du profil du sujet et de son habitude à l'environnement urbain, il n'est pas possible d'en citer ici.

On pourrait faire l'hypothèse que certains de ces effets ont des caractéristiques favorisant la surcharge sensorielle, notamment :

- Les effets élémentaires qui sont preuve d'une complexité ajoutée au contenu sonore ;
- Les effets de composition qui empêcheraient le bon fonctionnement de nos filtres sensoriels, c'est le cas de l'émergence et la désynchronisation ;
- Les effets de perceptions liés à la localisation perturbent l'individu, le mur submerge.

Les entretiens de la partie pratique de ce mémoire apportent des pistes quant aux potentiels liens que certains d'entre eux pourraient avoir avec la surcharge sensorielle.

d. Des indices sonores psychoacoustiques

La psychoacoustique propose d'utiliser des mesures psychologiques du son, c'est-à-dire qu'elle mesure des caractéristiques des sons qui ont un lien avec notre perception. Pour trouver cette relation qui lie perception et stimulus physique, elle utilise des outils pour mesurer la réaction produite sur l'individu (Farina, 2014).

Dans la suite de cette partie, nous allons décrire chacun de ces indices psychoacoustiques, leur perception et leurs effets :

Loudness

Se mesure en *sones*, correspond à la sensation produite par un son de 1 kHz avec une pression sonore de 40 dB. Mesure de l'intensité sonore perçue, reposant sur des algorithmes prenant en compte notre perception (filtrage en fonction des *courbes*

*isotoniques*²⁸) et de notre physiologie (prise en compte du masquage simultané de sources).

Acuité

Mesure la sensation provoquée par des sons ayant du contenu à hautes fréquences. Se mesure en *acum*, 1 acum correspond au bruit de 1 kHz d'une largeur de bande de 150 Hz et un niveau égal à 60 dB.

Hauteur

Correspond à la hauteur fréquentielle d'un son (grave – aigu), en fréquence.

Rugosité

Se mesure en *asper*, la référence est un son de 1 kHz à 60 dB modulé à 70 Hz d'une amplitude de 100%. C'est la sensation qu'on ressent quand deux sons de fréquences proches jouent simultanément. Elle est associée à la dissonance et à la peur. On la retrouve dans la plupart des sons d'alarmes naturelles et synthétisées, dans les cris d'humains et de nourrissons (Taffou *et al*, 2021). Cette sensation déplaisante provient du fait que l'*amygdale*²⁹ est particulièrement sensible aux modulations temporelles de la rugosité. La rugosité fonctionne bien comme un signal d'alarme en activant l'amygdale, qui est impliquée dans le sentiment de peur et d'alerte, et « [...] *confer a behavioral advantage by increasing speed and accuracy of spatially localizing* These findings plausibly suggest that rough vocalizations recruit dedicated neural processes that

²⁸ Courbes isotoniques : courbe représentant le niveau sonore nécessaire pour avoir une même perception d'intensité sonore, en fonction de la fréquence.

²⁹ Amygdale : régions du système limbique.

*prioritize fast reaction to danger over detailed contextual evaluation.*³⁰» (Arnal et al, 2015).

Force de fluctuation

Décrit la sensation causée par des modulations d'amplitude lentes. Se mesure en *vacil*, fait référence à un son de 1 kHz à 60 dB modulé à 4 Hz d'une amplitude de 100%. Proche du concept de rugosité, à la différence que la fréquence de modulation basse permet de la percevoir comme tel. La force de fluctuation semble avoir une utilité dans la compréhension de la parole.

e. Sémantique

Valeur sociale et sémantique du son

Le son, au-delà de sa composante physique et perceptive, revêt en plus une valeur sociale. Il agit comme un vecteur d'informations qui nous connecte aux activités humaines qui peuplent cet espace. La dimension sociale du son est un élément incontournable pour comprendre pleinement notre rapport à l'environnement urbain, chacun des sons participe à la création d'une toile sonore qui reflète le *tissu social*³¹ en mettant en lumière les habitudes, interactions et activités humaines. Ce qu'on y perçoit transcende la seule expérience sensorielle, en nous impliquant directement dans la vie sociale et culturelle qui caractérise cet espace (Candau & Le Gonidec, 2013).

³⁰ Traduit par l'auteur : « [...] confère un avantage comportemental en augmentant la vitesse et la précision de la localisation spatiale. Ces résultats suggèrent de manière plausible que les vocalisations rugueuses mobilisent des processus neuronaux dédiés qui privilégient une réaction rapide au danger plutôt qu'une évaluation contextuelle détaillée. »

³¹ Tissu social : ensemble des interactions entre individus et groupes

*« There may be physical things that we perceive, but by looking at them, or, in our case, hearing them, all things become an “object of consciousness”. [...] The world exists because we perceive it. »*³² (Wissmann, 2014)

Ce que sous-entend Wissmann, c'est que la perception est avant tout une perception personnelle et qu'elle ne dépend pas seulement de la sensation mais aussi des émotions. Selon lui, tout est relatif à l'égo, nous écoutons activement par rapport à nos connaissances et expériences. Si nous n'avons pas d'expérience d'un son, alors, l'assimilation de sa perception va causer une perturbation (un décalage avec ce qu'on s'attendait à écouter), nous l'apprenons et nous nous y accommodons, puis déconstruisons notre précédente connaissance au regard de la nouvelle information. Wissmann (2014) propose une analogie avec une personne n'ayant vu que des pommes vertes :

Assimilation - Nous voyons une pomme rouge → Perturbation - Elle n'est pas verte →
 Accommodation - Une pomme peut être rouge → Déconstruction - La pomme est rouge
 OU verte.

*« Sounds affect individuals differently and a single sound will often stimulate [...] a wide assortment of reactions. »*³³ (Schafer, 1977).

Il existe de nombreuses manières de classier les sons que nous écoutons sur des critères objectifs et qualitatifs, qu'ils soient acoustiques, psychoacoustiques. Il existe des classifications afin de décrire les sons en fonction de leur source (nous en reparlerons plus loin), ce qui donne une première approche de leur sémantique, et donc de la signification qu'un objet sonore peut porter pour l'auditeur.

³² Traduit par l'auteur : « Il peut y avoir des choses physiques que nous percevons, mais en les regardant, ou, dans notre cas, en les écoutant, toute chose devient un “objet de conscience”. [...] Le monde existe parce que nous le percevons. »

Pourtant même en les classant de cette manière, cette signification reste subjective et la réaction de l'auditeur peut ne pas être celle qu'on attend. Par exemple, si le chant des oiseaux et les sons naturels ont tendance à être perçus comme agréable par une grande proportion de la population, un motard pourrait préférer le son des moteurs à celui des oiseaux, alors que la plupart ont tendance à considérer les sons technologiques comme désagréables. Il faut donc utiliser ces classifications en gardant en tête qu'il ne faut pas extrapoler l'attrait ou la répulsion pour un son seulement en fonction de leur catégorie. Certaines classifications vont jusqu'à rajouter un critère de qualité esthétique d'un son, qui selon Schafer (1977) était le critère le plus difficile à juger.

De plus, les sons dépendent du contexte dans lequel ils sont entendus, retirer un son de son paysage sonore c'est en même temps retirer le son de sa source et de l'acoustique qui portait ce son. En définitive, même si ces classifications peuvent être un outil utile pour percevoir la signification et l'affect que la plupart d'entre nous donneront à un son, il ne faut pas en extrapoler l'expérience subjective de l'individu, mais plutôt recourir à des entretiens pour obtenir plus d'informations. Même si le milieu traversé est le même pour plusieurs individus, on pourra remarquer que leur perception n'en est pas moins différente, que ce soit lié à des facteurs culturels, à l'éducation, l'expérience, l'âge, le genre ou au profil sensoriel.

*« Most of the time we consume, i.e., hear, urban sound, we do not listen actively to it. [...] If we assume that sense of hearing, as all other senses, plays an active part in perceiving, experiencing, and therefore creating place, we can begin to understand that sense of place indeed is more in the bones than the mind. »*³⁴ (Wissmann, 2014).

³³ Traduit par l'auteur : « Les sons affectent les individus de manière différente et un seul son stimulera souvent [...] une grande variété de réactions. »

³⁴ Traduit par l'auteur : « La plupart du temps, nous consommons, c'est-à-dire entendons, le son urbain sans l'écouter activement. [...] Si nous supposons que le sens de l'ouïe, tout comme les autres sens, joue

Même si la perception d'un lieu est individuelle, on peut partir du principe que chaque environnement contient des caractéristiques que chacun va identifier et qui construiront une représentation plus ou moins commune de cet espace. Cette représentation est alors fonction pour l'individu de l'identification du lieu et de son corps comme faisant partie de cet espace physique. En fonction des émotions qui en résultent, un attachement ou un rejet pour cet espace s'ajoute. Notre relation à un espace est liée à cette identification et ce rapport que nous avons à lui, et définit ce que nous appelons le sens du lieu ³⁵.

Le sens du lieu (ou *sense of place*, qu'on pourrait aussi appeler sentiment d'appartenance au lieu) pourrait être simplifié en considérant une classification des individus. Pour l'environnement urbain, nous nous attacherons principalement aux origines culturelles et à l'habitude et aux liens entretenus par l'individu à la vie urbaine. Si un individu n'arrive pas à ressentir un sens du lieu, c'est qu'il est étranger au lieu et ressent un décalage avec l'expérience sensorielle à laquelle il s'attendait (Wissmann, 2014). Après avoir déconstruit ses nouvelles perceptions, peut venir une acclimatation.

Les individus acclimatés à un espace auront tendance à entendre sans écouter les informations, accordant moins de temps au traitement des stimuli entrants, en ignorant et filtrant une grande proportion, qui par leur nouveauté auraient attiré l'oreille d'un individu non acclimaté. Selon Lipowski (1975), la vie urbaine est une rencontre permanente avec la surcharge sensorielle, que l'individu acclimaté tente d'éviter par des mécanismes de filtrages sensoriels et par le désintéressement pour le contenu sensoriel de l'environnement urbain.

un rôle actif dans la perception, l'expérience, et donc la création d'un lieu, nous pouvons commencer à comprendre que le sens du lieu réside effectivement davantage dans les os que dans l'esprit. »

³⁵ Sens du lieu : de l'anglais « *sense of place* », est un concept multidimensionnel et sensoriel qui caractérise la relation que les individus lient avec un lieu et ses caractéristiques, ce lien peut être de l'attachement ou bien être négatif.

3. Le paysage sonore urbain

Le paysage sonore urbain est caractérisé par sa complexité, il lie une relation avec des caractéristiques physiques, psychoacoustiques, sociales et sémantiques. Le bruit a souvent été pointé du doigt, et pendant longtemps le critère de qualité sonore d'une ville était son niveau sonore.

Afin de mieux se rendre compte du confort sonore d'un environnement, on peut avoir recours à une classification sémantique des différents sons présents pour mieux se rendre compte de l'affect que peut créer son paysage sonore. Le paysage sonore urbain est principalement composé de sons anthropophoniques dont la nature va de la parole à la circulation, en passant par les travaux publics. Pourtant ce n'est pas un secret, la plupart d'entre nous préfèrent les sons naturels (biophoniques et géophoniques) aux sons technologiques. Certains sons peuvent être particulièrement stressants et fatigants, tels que les bruits de la circulation, les klaxons, les sirènes ou encore les bruits de travaux publics. Ces sons peuvent être perçus comme perturbateurs et difficiles à filtrer, notamment pour leur nature imprévisible. Les espaces publics, qu'ils soient délimités par des artères routières ou des établissements commerciaux, sont des sources significatives de bruit. Le son généré par la circulation présente deux effets distincts :

- D'une part, il contribue au niveau sonore du bruit de fond et réduit la profondeur du paysage sonore ;
- D'autre part, lorsqu'il est proche, il crée un effet d'émergence, nécessitant une attention particulière de la part des individus dans ces espaces.

C'est aussi la foule qui peut perturber, notamment pour son aspect multisensoriel, pour les multiples émergences de sons et de paroles qui vont attirer notre attention. Cet effet

est d'autant plus fort pour une personne manifestant une peur des foules. Ce qui transparaît aussi dans la plupart de ces descriptions de l'environnement urbain, c'est que c'est un milieu où on ne peut pas contrôler la proportion de stimuli. Une grande proportion des sons va être ponctuelle et va émerger spatialement ou par leur niveau, rendant ce milieu propice à la surcharge sensorielle, mais en faisant aussi un lieu où la surcharge aura bien du mal à s'apaiser.

« Streets in many cases function as an acoustic canyon in which sounds reverberate, creating a sense of annoyance. The sound is maintained along such streets, especially if the streets are narrow as in city centers. ³⁶» (Farina, 2014).

De plus, l'effet canyon peut causer un masquage des sons et une délocalisation. Une stratégie pour le réduire est l'utilisation de végétation sur les façades des bâtiments afin de mieux absorber le son. L'absence de végétation, d'espaces verts ou d'éléments absorbants en ville apporte une contribution à la propagation et à l'accumulation de sons, augmentant le niveau global de bruit. Dans cette optique, une végétalisation de la ville pour réduire la surface réverbérante au sol serait une stratégie efficace.

Une étude de Wung *et al.* (2018) sur la surcharge sensorielle au sein du corps soignant d'un service d'urgence a mis en évidence que les nombreux signaux d'alarme de leur service causaient de la surcharge sensorielle. Afin de limiter la charge sensorielle, ils ont défini des critères :

- 1- Le son doit être unique dans l'environnement qui l'entoure ;
- 2- Il doit être facilement identifiable par rapport aux autres ;
- 3- Transmettre le bon niveau d'urgence ;

³⁶ Traduit par l'auteur : « Les rues, dans de nombreux cas, fonctionnent comme un canyon acoustique où les sons se réverbèrent, créant une sensation d'irritation. Le son est maintenu le long de telles rues, en particulier si les rues sont étroites, comme c'est le cas dans les centres-villes. »

- 4- Être suffisamment fort pour être entendu sans être assourdissant et sans empêcher la communication.

En ville il est bien rare que les signalétiques sonores respectent ces critères, le meilleur exemple pourrait être celui des alarmes des véhicules d'urgences, des policiers et des pompiers, qui sont étrangement semblables et fortes. Leur ressemblance est tout juste compensée par notre habitude à ces signaux. Une attention plus grande devrait y être portée, d'autant plus que ces sons sont réputés pour leur rugosité et donc leur capacité à créer une perception de peur (Arnal *et al*, 2015).

Intégrer une approche sensorielle de l'environnement urbain, en se basant notamment sur l'étude des indices psychoacoustiques et de l'acoustique, peut apporter des bénéfices significatifs à l'architecture. Cette approche permet de concevoir des espaces qui prennent en compte l'expérience sensorielle des habitants. L'acoustique peut permettre de mettre en place des matériaux absorbants, la conception de formes architecturales qui minimisent la réverbération indésirable.

III. ENREGISTREMENT D'UN CORPUS DE PAYSAGES SONORES URBAINS

1. Méthodologie

Afin de mettre en œuvre la partie expérimentale de ce mémoire qui consiste en un test perceptif, il est nécessaire d'enregistrer des ambiances sonores. Les enregistrements utilisés seront tirés d'une captation sonore de Paris représentative du paysage sonore urbain. Ce protocole est défini pour une captation ambisonique. Son intérêt pour la restitution du champ acoustique de nos villes dans des expérimentations est d'offrir une restitution proche de la réalité, en prenant en compte l'aspect spatial des sources tout en nous offrant des conditions de laboratoire, c'est-à-dire, de maîtriser les conditions expérimentales (autres sens isolés, reproductibilité des conditions pour tous les participants).

a. Caractéristiques du lieu d'enregistrement recherché

Nous proposons dans cette partie de lister les caractéristiques que nous avons pris en compte pour la prise de son d'ambiances sonores en ambisonique.

Niveau sonore

Pour faire notre choix, nous nous sommes appuyés sur les cartes sonores de BruitParif (2022). Le quartier de Beaubourg où nous enregistrons a été cartographié à partir de modélisations et de différentes mesures et prend notamment en compte le bruit du trafic routier et des lieux d'animations sur des créneaux horaires variés. Nous nous sommes tournés vers des lieux où le niveau est supérieur à 65 dB(A).

Densité d'élément sonores

Pour s'assurer de ce critère, un repérage sur le lieu est nécessaire pour définir le type de sons auxquels il est exposé. Une attention a été portée sur les horaires de prises de son afin de s'assurer d'enregistrer dans une période d'activité. Les sons présents doivent y être variés et être rattachés à la sémantique de la ville : circulation, vélos, foule, travaux, etc.

Architecture et topologie

Nous en tiendrons compte dans la mesure où nous chercherons des lieux où on peut avoir un effet canyon car c'est une propriété assez standard au milieu urbain. Il nous semble donc important d'en tenir compte dans le protocole de cette prise de son et d'éviter les grandes places où l'influence des bâtiments est négligeable.

Trafic routier

Dans ce protocole nous avons décidé de négliger le trafic routier car sa sémantique est abondamment rattachée au négatif, cela risquerait d'influencer d'autant plus la perception des paysages sonores. Nous avons préféré nous rapprocher de lieux où le son du trafic est suffisamment homogène pour ne pas être caractérisé par des mouvements rapides de sources sonores.

Météo

Bien évidemment, une attention est portée à la météo car pluie et vent sont un obstacle technique à la prise de son tout en changeant les caractéristiques de l'enregistrement.

b. Méthodologie de prise de son et de mise en place du matériel

Distorsion de distance

Une captation avec un microphone tel que l'Eigenmike peut s'appréhender comme un microphone *omnidirectionnel*³⁷, en se rapprochant de la capsule, on écrase les plans sonores par effet de proximité et on envoie du signal dans chaque capsule, à la rediffusion on entendrait une distorsion spatiale où ce son engloberait une partie de l'espace et perdrait son réalisme. Une distance d'un mètre minimum à la source sonore la plus proche paraît raisonnable pour ne pas ressentir cet effet.

Positionnement du microphone et prise de notes

Le microphone se place, sur un pied stable, à la position moyenne du conduit auditif humain, soit à 1m60 du sol (ISO 12913-2, 2014). L'avant du microphone est pointé dans la direction où un écouteur lambda se positionnerait. Il se trouve à plus d'un mètre de la surface réfléchissante la plus proche ou de la zone de passage la plus proche. La position du microphone est notée sur une carte, sans oublier la hauteur exacte du dispositif, son orientation, date et heure exacte de prise de son, ainsi que les conditions climatiques. Une mesure du niveau sonore est effectuée en parallèle pour calibrer le niveau sonore des enregistrements lors de la restitution.

³⁷ Omnidirectionnel : qui a les mêmes caractéristiques dans toutes les directions.

Durée de l'enregistrement

L'enregistrement est monté afin d'obtenir deux paysages sonores d'une longueur de cinq minutes. D'après l'ISO 12913-2 (2014), une mesure doit durer minimum 3 min pour pouvoir prendre en compte des facteurs psychoacoustiques, la retranscription en laboratoire est, quant à elle, libre en fonction du test. L'enregistrement se doit d'être assez long pour pouvoir en exclure des passages gênant lors du montage et ne garder que du contenu relativement homogène (en niveau sonore, densité, sémantique, etc.).

c. Matériel d'enregistrement

Le matériel d'enregistrement se concentre autour de l'*Eigenmike EM32*, un microphone *ambisonique d'ordre quatre*³⁸ (32 capsules) qui est le microphone avec le plus de capsules sur le commerce. Nous préconisons son utilisation afin d'obtenir une captation la plus précise spatialement possible. Ce microphone fonctionne grâce à une interface dédiée nommée l'*EMIB*³⁹ qui convertit le flux de sortie (via ethernet) du microphone en MADI via BNC optique. L'*EMIB* est alimentée par une batterie portable.

L'*EMIB* peut fonctionner en tant qu'interface audionumérique, ce mode s'utilise avec le driver appelé *TCAT Dice*, qui n'est malheureusement pas mis à jour depuis plusieurs années et ne fonctionne pas sur les machines récentes. Nous avons alors décidé de capter le flux MADI grâce à une *RME MADIface USB*, une interface audionumérique compacte nous permettant l'acquisition des flux vers l'ordinateur portable tout en synchronisant l'horloge du système.

³⁸ Ambisonique d'ordre quatre : voir Chap. III Partie 2.a.

³⁹ EMIB : fonctionne grâce à un système de commutateurs. Dans cette configuration on les réglera en MADI et au gain maximal de +30 dB (recommandé car le niveau est assez faible sur l'EM32).

L'application audio utilisée pour l'enregistrement est *Reaper*, qui a comme atout de pouvoir créer des pistes 32 canaux dédiées aux flux ambisoniques ou multicanaux. Le son pourra être écouté en sortie de l'ordinateur sur un casque quelconque, seuls deux canaux sont écoutables en direct. Une autre solution aurait été d'utiliser *Max/MSP* pour enregistrer le flux et le convertir en direct en binaural pour pouvoir monitorer la captation. Nous enregistrons dans les limites que nous procure, l'*EMIB* c'est-à-dire 48 kHz 24 bits.

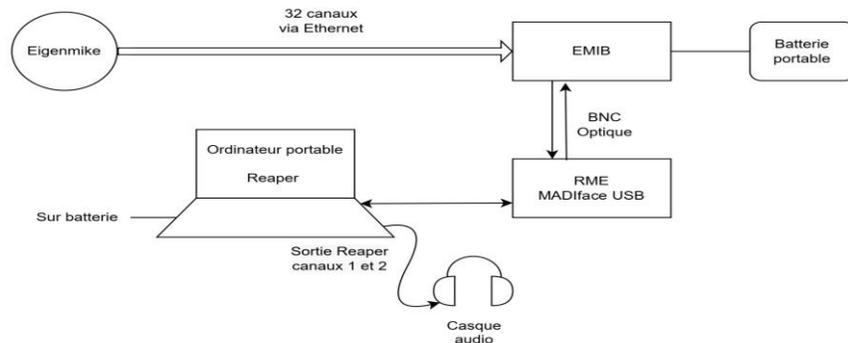


Figure 2 - Diagramme de l'installation de l'Eigenmike en captation nomade

Nous complétons cette installation par un pied de microphone, la bonnette anti-vent de l'*EM32*, un sac de transport, un appareil photo 360, un télémètre, un sonomètre et deux batteries nomades.

d. Choix du lieu d'enregistrement et déroulement de la prise de son

Lieu choisi

Afin de répondre à tous ces critères, notre choix s'est porté vers des rues assez larges pour que les piétons n'aient pas à passer trop près du microphone (nous éviterons des déformations spatiales), où le niveau sonore est au-delà de 65 dB sur les cartes sonores de BruitParif, et où le trafic routier n'est pas trop proche du microphone.

Le premier lieu choisi est la Rue Saint Martin au numéro 220, elle est entrecoupée de deux axes routiers assez empruntés et le point d'enregistrement est accolé à une petite route. Cette rue est parsemée de commerces et restaurants qui attirent une foule entre midi et deux et après dix-huit heures. De plus, la rue est resserrée et favorise un effet canyon.

Notre intérêt s'est aussi porté sur le 101 rue Rambuteau en raison de sa forte attractivité (sortie des Halles), de sa rue pouvant influencer un léger effet canyon, de ses nombreux commerces. C'est une rue isolée du trafic direct.

L'installation du matériel prend environ cinq minutes et les enregistrements prennent environ quinze minutes, trois personnes minimum sont alors nécessaires, une pour s'assurer de la sécurité du matériel, une pour indiquer aux personnes de s'écarter du microphone et une s'occupant de l'enregistrement sur l'ordinateur. Nous utilisons un sonomètre pour vérifier le niveau sonore et utiliser sa valeur pour calibrer les écoutes des enregistrements.

e. Description du paysage sonore enregistré

C'est la rue Rambuteau que nous avons sélectionnée car à notre période d'enregistrement (après 17 h), l'activité était à son plein. Ce qu'on y entend est varié : beaucoup de paroles et dans plusieurs langues, des déplacements, des sons de pas et de talons, des notifications de téléphones, une cloche, trottinettes et vélos, de nombreuses valises, des oiseaux (peu).



Figure 3 - Photographie de la prise de son

La restitution d'ordre 4 est peu profonde à cause du bruit de fond, on peut y sentir de nombreuses émergences de voix et sentir les déplacements autour de nous. Il y a un grand réalisme dans la sensation de foule, on se sent à la première personne. La densité de stimuli est satisfaisante. Il y a beaucoup de variations de niveau.

La restitution d'ordre 1 gagne en profondeur, mais à vrai dire c'est plutôt comme si les plans sonores s'écrasaient, on a l'impression d'écouter la rue par une fenêtre. Les variations de niveau et les émergences sont écrasées. C'est beaucoup plus calme. On perd énormément en précision spatiale.

Une différence frappante entre ces deux restitutions est que, bien qu'elles aient été calibrées à un même niveau sonore, l'ordre 4 donne l'impression d'être plus fort d'environ 6 dB. Les émergences et variations de niveau doivent avoir une influence sur la perception du niveau sonore, nous pourrions faire l'hypothèse que cela est dû à nos filtres sensoriels qui peuvent plus facilement traiter un paysage sonore stable.

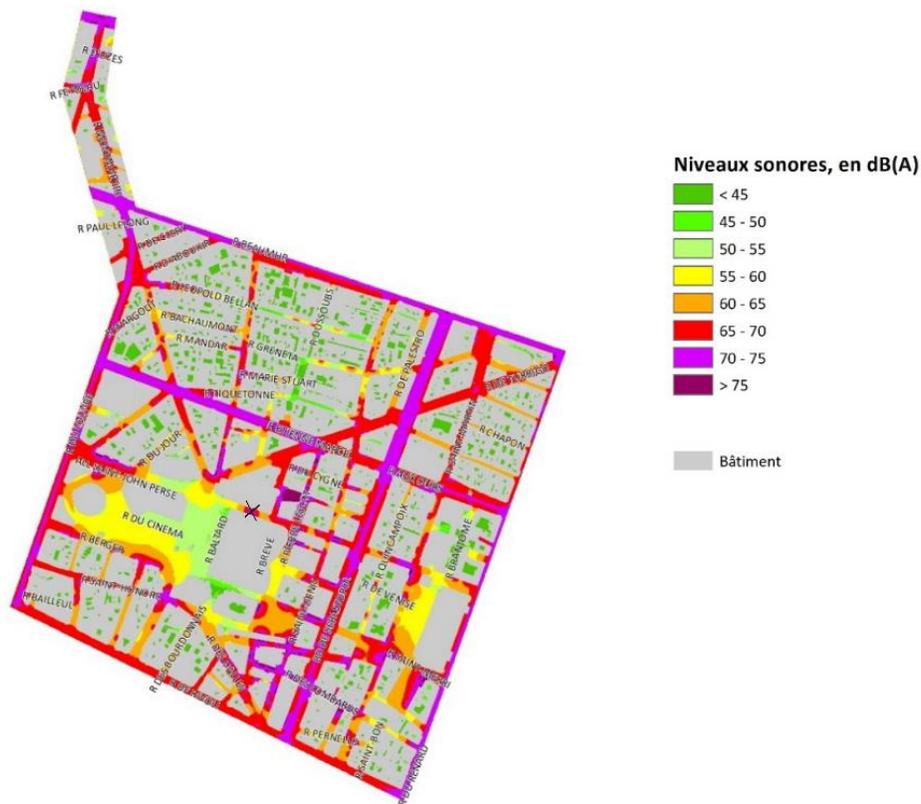


Figure 4 - Carte du bruit cumulé des activités récréatives et du trafic routier, créneau [18h-22h]

La croix correspond à la position du microphone lors de l'enregistrement

BruitParif (2022)

f. Méthodologie d'analyse

Il aurait été intéressant d'analyser en profondeur les caractéristiques de l'enregistrement, malheureusement suite à des problèmes liés à l'expérience, nous n'avons pas poussé l'analyse. Nous allons tout de même présenter différents outils qui avaient été prévus ou pensés :

L'utilisation d'une catégorisation des sons selon une *taxonomie des environnements acoustiques*⁴⁰ qui nous aurait permis de mieux déterminer les proportions entre les différents types de stimuli présents. Nous avons aussi pour projet de regarder si nous avons des résultats significatifs avec des algorithmes calculant la rugosité, même si cela est peu probable, car ces algorithmes sont plutôt dédiés à l'étude de sons seuls et non pas de paysages sonores. Mais aussi l'analyse de la variation du niveau sonore, en *loudness en dB LUFS*⁴¹, de la directivité et de l'émergence des sons, et du spectre avec un spectrogramme. Nous en reparlerons dans le chapitre suivant plus en détail.

2. Une courte introduction à l'Ambisonique

a. L'ambisonique en bref

L'ambisonie est une technique de reproduction sonore tridimensionnelle qui vise à capturer et reproduire un champ sonore complet, y compris la direction et l'intensité des sources sonores partout autour de l'auditeur. L'ambisonie est souvent utilisée dans des

⁴⁰ Taxonomie des environnements acoustiques : voir annexe A.

⁴¹ dB LUFS : mesure le niveau sonore ressenti en fonction de critères psychoacoustiques, plusieurs normalisations pour de la mesure continue, court terme ou momentanée.

contextes tels que la réalité virtuelle, dans des expériences immersives et pour différents contenus sonores. Elle offre une approche flexible et polyvalente pour capturer et reproduire des environnements sonores complexes tout en offrant une expérience d'écoute réaliste et immersive.

« La technique Ambisonics consiste à représenter le champ sonore comme une distribution angulaire de la pression acoustique exprimée sur une base de fonctions périodiques de l'espace, les harmoniques sphériques. La captation et la reproduction reposent sur des réseaux de transducteurs concentriques (sphères de microphones ou réseaux de haut-parleurs) qui échantillonnent l'espace et sur des opérations d'encodage et décodage permettant de passer du domaine des transducteurs au domaine des harmoniques sphériques. Plus l'ordre de décomposition en harmonique sphérique est élevé, meilleure est la résolution spatiale. On parle alors de Higher Order Ambisonics (HOA). » (Ircam, 2023).

Nous allons utiliser pour notre test de l'ambisonique d'ordre 1, soit quatre canaux, et de l'ambisonique d'ordre 4, soit 32 canaux.

b. Utilisation dans le cadre du test perceptif et validité écologique

Dans le cadre de ce test perceptif, la reproduction ambisonique revêt une grande importance. Son rôle est tout d'abord de pouvoir tenir compte des caractéristiques spatiales du paysage sonore. Comme nous l'avons vu plus tôt, la perception ne se contente pas de traiter les stimuli individuellement, mais va plutôt traiter le paysage sonore comme un tout. Les différentes caractéristiques des sons se liant, il devient primordial d'utiliser un système capable de restituer le son écologiquement.

La validité écologique de la reproduction de paysages sonore en laboratoire a été discutée par Catherine Guastavino (2004), ses résultats montrent que la stéréophonie

comme l'ambisonie sont deux méthodes écologiques pour la reconnaissance de sources, et que leurs résultats sont comparables à une écoute dans un contexte urbain. La description du bruit de fond était différente selon le système. Avec la stéréophonie celui-ci était perçu comme le bruit de fond inhérent au système sonore. Avec l'ambisonie, les caractéristiques spatiales de ce bruit de fond sont recontextualisées et permettaient de le négliger.

Notre choix de l'ambisonique se confirme par les besoins de notre test, qui veut tenir compte des propriétés spatiales de l'environnement urbain. Ce ne sera pas le cas sur le système utilisé, mais l'addition d'une couronne de haut-parleurs au niveau du sol aurait été possible et aurait permis de mieux prendre en compte les réflexions provenant du sol (qui ne sont pas négligeables avec du goudron ou des pavés).

IV. TEST PERCEPTIF

1. Procédure expérimentale

Les milieux urbains que nous traversons sont caractérisés par un environnement sonore complexe, dense et varié. Les sons de la ville, réfléchis par son architecture, favorisent un étalement spatial des sources. Les sons urbains occupent toutes fréquences audibles et peuvent être imprévisibles, périodiques ou constants. La plupart de ces caractéristiques sont censées favoriser la surcharge sensorielle, nous soupçonnons qu'un tel paysage sonore occupe grandement notre activité cognitive à déchiffrer les signaux entendus et leurs multiples réflexions, perturbant notre perception par la quantité de sons à identifier.

Dans ce contexte, nous trouvons important de comprendre comment la tridimensionnalité de l'environnement urbain influence notre perception. Pour cela, nous proposons de mesurer la surcharge en testant la réactivité des participants pendant l'écoute de paysages sonores dans un dôme ambisonique.

Cette étude peut contribuer à une meilleure compréhension des mécanismes de la surcharge sensorielle et de notre perception du paysage sonore urbain, et nous aidera à concevoir des environnements plus adaptés à nos compétences auditives.

a. Participants

Les participants ont été contactés grâce à la base de données de volontaires du RISC (Relais d'Informations sur les Sciences de la Cognition). Avant le début de l'expérience, ils sont amenés à répondre à des questions afin de déterminer leur profil (sensibilité sonore, troubles, problèmes d'audition, etc.), lorsqu'un doute était émis quant à leur acuité auditive, nous la testions à l'aide d'un audiomètre et d'un casque (*Echoscan* de *Echodia*, test sur les deux oreilles à 250, 500, 1000, 2000, 4000 et 8000 Hz). Si à l'issue de ce test d'une dizaine de minutes, l'audiogramme révèle une perte de plus de 25 dB, l'audition du sujet est considérée comme en dessous des normes, le sujet n'est pas *normo-entendant*⁴², ce qui entraîne son exclusion pour la suite de l'expérience.



Figure 5 - Audiomètre Echodia

⁴² Normo-entendant : individu dont l'audition est représentative de sa catégorie d'âge. La perte auditive liée à l'âge, nommée presbycousie et touchant un tiers des plus de 65 ans, sera ici exclue de la définition de normo-entendant.

b. Déroulement de l'expérience

La première étape de l'expérimentation consiste à caractériser les participants. Dans un premier temps, il leur est demandé à l'oral des questions générales (sexe, âge, profession, latéralité, pratique musicale, milieu de vie, présence d'acouphènes, de troubles ou problèmes de santé, problèmes de vue, de toucher, d'audition).

À l'issue de cet entretien oral, les participants doivent remplir trois questionnaires validés par des études afin d'en savoir plus sur leur profil auditif et sur leur rapport au son urbain. Le premier est le "questionnaire de sensibilité auditive" (Khalifa *et al*, 1999). Son but est d'évaluer la gêne occasionnée par l'hyperacousie en quatorze questions, et donc, dans notre cas, d'évaluer la sensibilité sonore de nos sujets. Le second est le questionnaire "paroles, audition spatiale et qualité d'audition", appelé SSQ (Noble & Gatehouse, 2004). Nous n'en avons conservé que la partie à propos de l'audition spatiale qui est composée de dix-sept questions. Le troisième est le questionnaire de "peur des foules" (Taffou *et al*, 2015), dont le but est d'évaluer en quinze questions la gêne occasionnée par des foules. Chacun de ces questionnaires a été présenté en français, les traductions ont été approuvées. [Voir annexe B – C – D]

L'expérience se déroule dans une salle ambisonique de l'Ircam et est destinée à l'étude de la perception de stimuli dans un contexte sonore urbain. Les participants doivent détecter le plus vite possible des stimuli tactiles et/ou auditifs très brefs en appuyant sur un bouton. Ceci nous permettra la mesure et l'analyse de leurs temps de réaction (TR) en fonction des conditions expérimentales suivantes :

Condition Silence - Les participants détectent les stimuli dans le silence

Condition Ordre 1 - Les participants détectent les stimuli dans une ambiance sonore diffusée en ambisonique d'ordre 1

Condition Ordre 4 - Les participants détectent les stimuli dans une ambiance sonore diffusée en ambisonique d'ordre 4



Figure 6 – Salle du test perceptif et système ambisonique

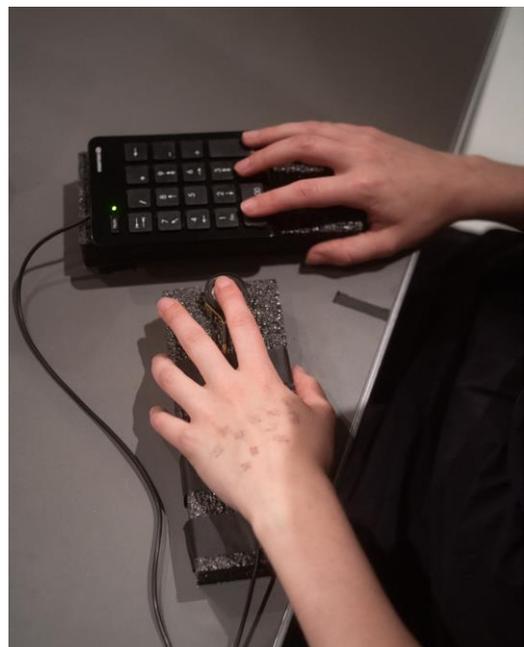


Figure 7 - Position des mains des participants

Selon Almo Farina (2014), il existe plusieurs postures d'écoute. En encourageant les participants à se concentrer sur une tâche, ici l'attente de stimuli, ils auront une écoute de fond, où le contenu spécifique des paysages sonores s'effacera et agira inconsciemment sur leur charge cognitive. Les participants devront mettre un bandeau sur les yeux afin de supprimer le biais visuel et ainsi favoriser l'immersion dans les paysages sonores urbains diffusés. Il leur est demandé de se concentrer sur la tâche de détection de stimuli et de ne pas porter leur attention sur le contenu sonore des ambiances. Les stimuli à détecter sont de nature différente :

- Le stimulus sonore est un bruit blanc, d'une durée de cinquante millisecondes, diffusé par un haut-parleur (*Fostex 6301B*). Son niveau sonore est de 65 décibels pondérés A max à un mètre (mesuré avec un sonomètre *Brüel & Kjaer 2238 Mediator*).
- Le stimulus tactile est une vibration pure de 200 Hertz et de 50 millisecondes, diffusée par un haut-parleur miniature de 28mm (*Veco 8Ω*) sur lequel les participants posent leur index gauche.
- Le stimulus bimodal, audio-tactile, est la combinaison des deux stimuli précédents joués simultanément.



Figure 10 - Enceinte pour stimuli audio



Figure 8 – Clavier pour répondre aux stimuli

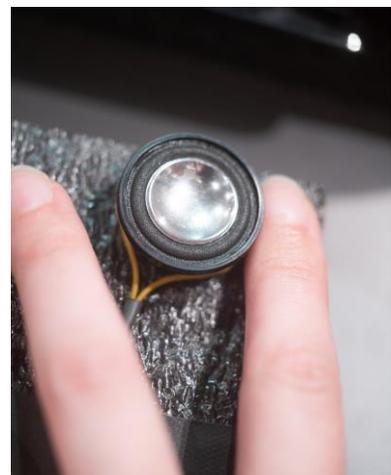


Figure 9 – Haut-parleur vibrotactile

Une chaise avec des accoudoirs et une hauteur réglable est utilisée pour placer les participants confortablement au *sweet spot*⁴³ du système ambisonique. Un appui-tête est réglé pour placer leur tête, qui doit rester droite et maintenue au même endroit pendant toute l'expérience.

L'expérience se divise en trois conditions expérimentales, elles-mêmes séparées en plusieurs blocs d'essais, qui sont des séries de 105 stimuli. La première condition expérimentale est composée de deux blocs de cinq minutes et se déroule dans le silence. Les deux autres conditions sont composées de deux blocs de cinq minutes et se déroulent simultanément à la diffusion d'un paysage sonore urbain.

La condition silence nous sert d'étalon, l'environnement sonore neutre permet la comparaison avec les conditions sonores. L'ambiance sonore diffusée est issue des enregistrements décrits dans le chapitre précédent. Cet enregistrement a été monté de manière à retirer des contenus spécifiques qui en s'approchant trop proche du microphone ont été déformés ou des contenus tels que des dialogues suffisamment longs pour qu'on comprenne leur signification et dont la sémantique aurait pu attirer l'attention. Les deux conditions sonores sont interverties entre chaque participant afin que les effets de la fatigue progressive de l'expérience s'estompent dans la moyenne. Le montage a ensuite été découpé en deux blocs de cinq minutes (avec un fondu de trois secondes au début et à la fin). L'enregistrement étant nativement à l'ordre quatre, une conversion a été nécessaire pour produire la condition ordre un.

Après le lancement d'un bloc, les participants écoutent pendant quinze secondes l'ambiance sonore avant l'arrivée des stimuli. Parmi les 105 stimuli d'un bloc, on

⁴³ Sweet spot : de l'anglais « point idéal », décrit le point d'écoute de référence d'un système à plus d'une source sonore.

retrouve une répartition équitable de 35 stimuli pour chaque modalité. Cette répartition compte aussi 35 catch trials, qui sont des essais blancs, où aucun son n'est diffusé et où il ne faut donc pas répondre. Ces catch trials nous permettent d'estimer dans quelles proportions les participants anticipent leur réponse tout en rendant les séries de stimuli moins périodiques.

Les séries de stimuli sont pseudo-randomisées, c'est-à-dire qu'une série est randomisée une première fois et est réemployée pour chaque participant (avec un intervalle interstimuli variable d'une seconde et demie à deux secondes et demie). Les blocs d'essai A de chaque condition ont la même série de stimuli (et de la même manière pour les blocs B). La reproductibilité de l'ordre des stimuli offre la possibilité de comparer les temps de réaction des conditions à l'ordre un et quatre à de mêmes moments de l'ambiance sonore.

Après l'expérience, un compte rendu oral est demandé aux participants. Le but est de les laisser juger de l'immersion ressentie (se projettent-ils dans la scène sonore ?), de leur concentration globale et de noter leurs remarques par rapport aux différentes conditions expérimentales. Ils pourront ainsi juger de la surcharge sensorielle et cognitive, ainsi que des émotions et sensations que cette expérience a pu engendrer.

[Voir annexe F]

c. Interface et logiciels utilisés

Cette installation prend place dans le studio 4 de l'Ircam, il est doté d'un sas déporté dont l'accès est extérieur au studio, permettant à l'expérimentateur de monitorer ce qui se passe lorsque les participants sont testés. Dans ce sas se trouve l'ordinateur principal, sous système d'exploitation *Windows*. Il est connecté au système ambisonique et aux systèmes de diffusions de stimuli ainsi qu'au clavier réponse du participant. Cet

ordinateur assure toutes les fonctions logicielles de l'installation, mis à part le moniteur vidéo permettant une visibilité sur l'expérience en cours grâce à une webcam.

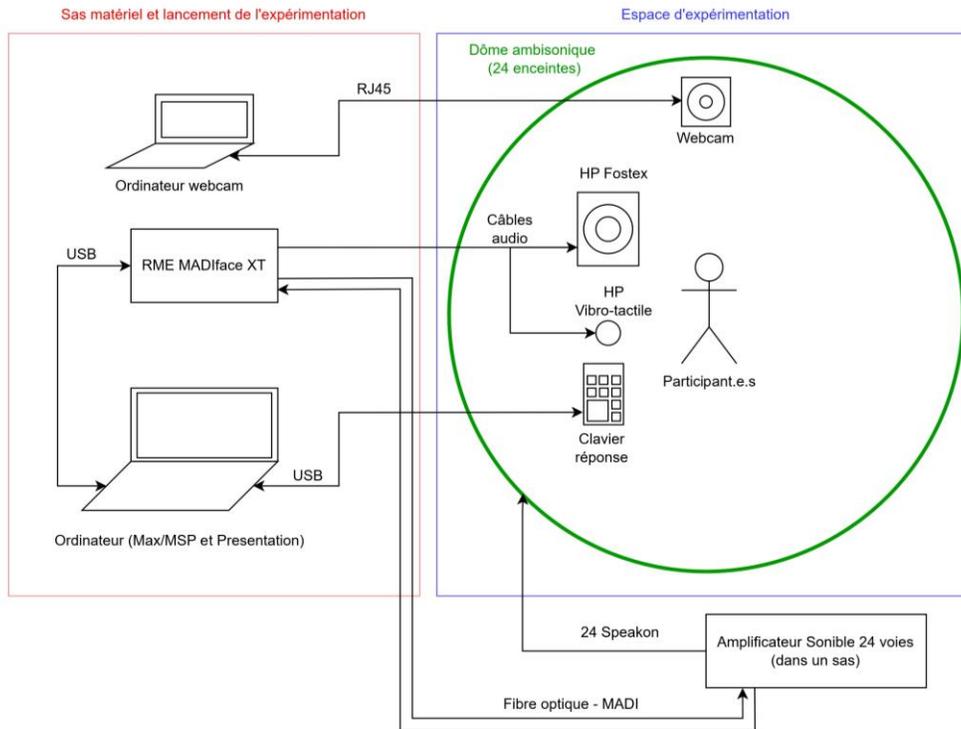


Figure 11 - Synoptique de l'installation pour le test perceptif

L'ordinateur est connecté à une interface audio-numérique *RME MADiface XT*, qui diffuse (en 24 bit, 48 kHz) sur ses sorties analogiques les stimuli et sur ses sorties MADi vers un amplificateur *Sonible d:24* 24 voies. Le système ambisonique possède 24 enceintes *Amadeus PMX5*, ce qui correspond à une diffusion à l'ordre quatre (mais dénuée de couronne du bas, qui aurait pu reproduire les réflexions du sol bétonné). La géométrie de la disposition des enceintes est quasi-sphérique et est ajustée grâce à des délais.

Les stimuli sont lus à partir du logiciel *Presentation* de *Neurobehavioral Systems Inc.*, un logiciel sous *Windows* développé pour la passation d'expériences en neurosciences. Nous avons choisi ce logiciel car sa déviation standard sur ses différentes latences est parmi les meilleures pour la présentation de stimuli (0.31 millisecondes). À titre de comparaison, le logiciel *Expyriment* sur *Windows 10* a une déviation de 2.90 millisecondes, ce qui rendrait les résultats de nos temps de réactions inutilisables, puisqu'une déviation entre deux moyennes de l'ordre de quelques millisecondes peut valider une tendance (Bridges *et al.*, 2020).

La mesure de la variabilité de *Presentation* dans cette configuration est de 0,1 milliseconde, cela nous assure donc une stabilité suffisante pour nos tests de temps de réaction. Le logiciel est configuré de manière à détecter le clavier de saisie en tant que bouton réponse. Il utilise les huit premiers canaux d'entrée et de sortie MADI de l'interface audio-numérique (24 bits 48 kHz). Grâce à un script lui donnant des instructions, il envoie les stimuli aux temps indiqués et récupère les temps de réaction. À la fin d'un bloc, il écrit deux fichiers, un *.txt* et un *.log*, contenant toutes les informations (temps de réaction, variabilité, latence, etc.).

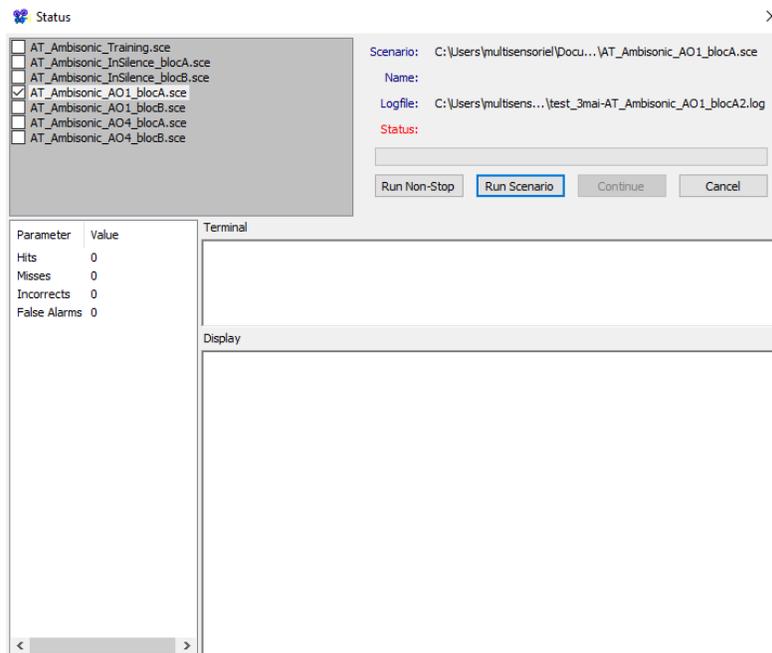


Figure 12 - Fenêtre de démarrage du test sur *Presentation*

Dans l'application propriétaire de *RME*, *TotalMix*, les deux premiers canaux MAD1 (utilisés par *Presentation*) sont connectés, grâce à la fonction loopback, dans les sorties analogiques, et correspondent donc aux stimuli. Les quatre canaux suivants sont connectés vers d'autres entrées MAD1, ce sont des signaux de déclenchement récupérés par le patch *Max/MSP* afin de jouer les ambiances sonores en synchronisation avec les stimuli, chacun des canaux correspond au déclenchement d'un certain bloc de l'expérimentation.

Les ambiances sonores ont été enregistrées dans un premier patch *Max/MSP* qui les convertit aux paramètres du système son ambisonique du studio 4 (cela nous permet d'éviter de faire les traitements en temps réel et de rajouter des latences à notre configuration). La conversion de l'ambiance d'ordre 4 à l'ordre 1 a créé une différence de huit décibels entre les deux et a été compensée au niveau du patch. Un ajustement du niveau sonore des ambiances a été nécessaire pour les jouer à un niveau proche de celui d'origine, elles ont été calibrées grâce à une mesure au sonomètre synchrone à l'enregistrement des captations. Le patch (compilé) utilisé dans l'expérience ne s'occupe que de la lecture des ambiances sonores : il envoie vingt-quatre canaux sans aucun traitement aux enceintes du système ambisonique. Il lance la lecture à la détection d'un des signaux de *Presentation*.

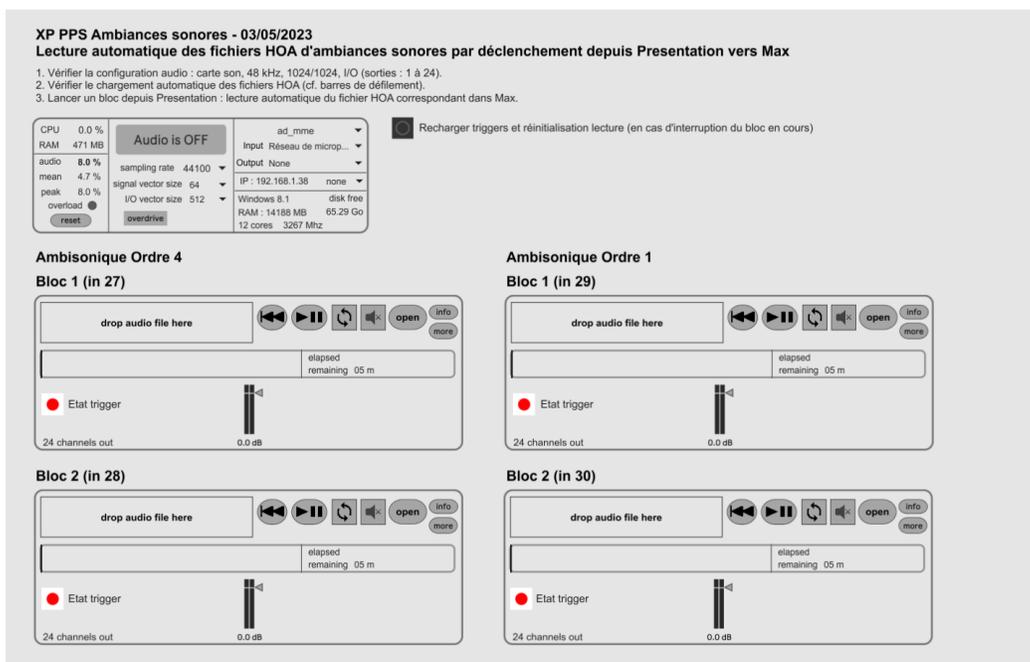


Figure 13 - Patch Max/MSP pour lecture des paysages sonore

d. Hypothèses

La surcharge sensorielle engendrée par les paysages sonores urbains diffusés devrait réduire la capacité à détecter des stimuli, si les temps de réactions augmentent nous verrons cela comme un symptôme de la surcharge et prévoyons de la mesurer ainsi. Nous émettons l'hypothèse que nous aurons des différences de moyenne de temps de réaction entre les deux ordres d'ambisonique mesurés. Si les sons sont plus précis spatialement, il est possible qu'ils perturbent la détection des stimuli et les temps de réaction.

Le phénomène pourrait ne pas être linéaire et dépendre du paysage sonore étudié, mais si nous détectons des différences, nous serons face à une altération de la perception qui prouvera l'influence de la précision spatiale des sources sonores sur la surcharge sensorielle sonore. Nous nous attendons aussi à détecter des variations de temps de réaction selon le stimulus, nous supposons que le stimulus sonore sera moins bien détecté dans des conditions sonores à cause de la charge sensorielle auditive qui sera plus grande, alors que la vibration tactile, passant par le toucher, amènerait à des temps de réactions plus courts. L'intégration multisensorielle d'un stimulus aurait probablement des temps encore plus courts.

2. Résultats et méthodologie d'analyse

Au total, 38 participants ont participé à l'expérience. Seuls les entretiens de 27 des participants ont été analysés. Deux participants n'ont pas eu un audiogramme normal et ont été exclus. Cinq participants de latéralisation manuelle gauche ont été enlevés des analyses afin d'éviter de potentielles interactions entre la latéralisation manuelle et les temps de réaction mesurés.

Deux participants ont passé l'expérience avec la condition silence après les conditions sonores (plutôt qu'au début) afin d'évaluer l'impact du passage du silence vers le sonore ou du sonore vers le silence. Leurs données seront regardées à part.

Les données des 29 participants restants sont prises en compte dans l'analyse. La population est composée de 15 femmes, 14 hommes, a une moyenne d'âge de $26,6 \pm 6.4$ ans (étendue [20:51]).

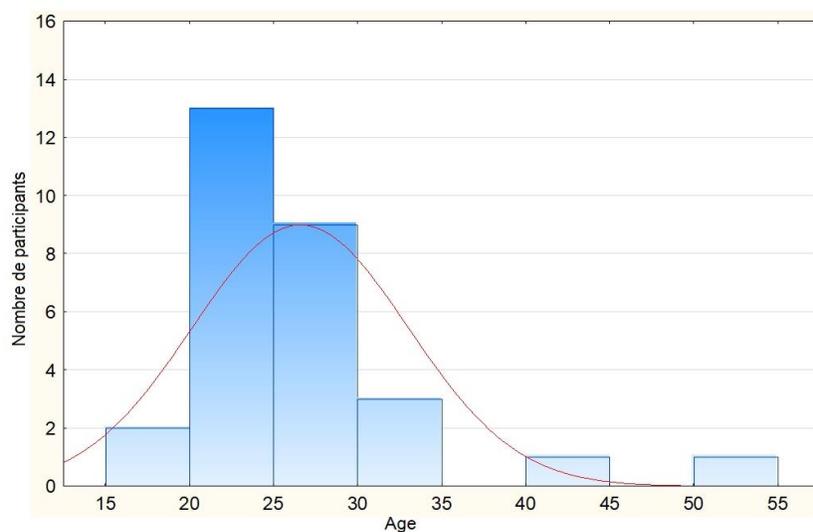


Figure 14 - Répartition des âges

a. Analyse des questionnaires

Peur des foules et audition spatiale

Les résultats aux questionnaires n'ont pas montré de lien avec les autres résultats. Nous avons décidé de les retirer du protocole et ne les avons pas réutilisés lors de la deuxième semaine d'expérimentation.

Hyperacousie - Distribution des scores

Afin d'explorer le lien entre l'hyperacousie et les différents résultats expérimentaux, nous étudierons les corrélations entre les scores individuels et les résultats expérimentaux, et nous ferons des analyses statistiques en divisant en deux la population selon la médiane au score sur le questionnaire, soit 17,5. Nous avons décidé de procéder de cette manière pour l'analyse plutôt qu'en ne gardant que le quartile inférieur et supérieur car nous avons trop peu de candidats pour assurer une significativité des résultats dans cette configuration.

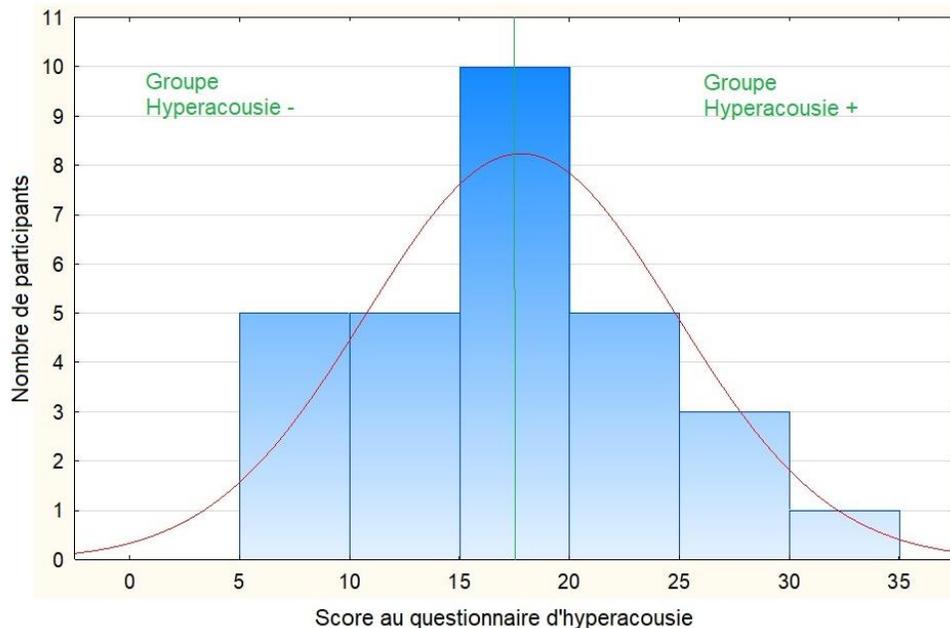


Figure 15 - Répartition des scores d'hyperacousie

b. Analyse de l'expérience de détection de cibles

Préalable

Nous avons d'abord supprimé les réponses ne correspondant pas à une réponse correcte (stimuli anticipés ou fausse détection). Les temps de réaction (TR) inférieurs à 100 ms et supérieurs à 1 000 ms ont été considérés comme aberrants et exclus de l'analyse.

Analyse des omissions sur la population générale

Le pourcentage d'omission observé sur les 29 participants était de 1,13 % ($\pm 1,14$), ce qui est assez faible.

Les ANOVA non paramétriques à mesures répétées (test de Friedman) n'ont révélées aucun effet significatif de l'ambiance auditive (silence, rendu ambisonique de premier ordre de notre scène urbaine - 1AO, rendu ambisonique de quatrième ordre de notre scène urbaine - 4AO) sur le pourcentage d'omissions ($\chi^2(2) = 2,33, p=0,313$).

Les ANOVA non paramétriques à mesures répétées (test de Friedman) ont révélé un effet significatif de la présentation sensorielle du stimulus à détecter (auditif, tactile ou audio-tactile) sur le pourcentage d'omissions ($\chi^2(2) = 8,27, p=0,016$). Les tests de t non paramétriques de Wilcoxon ont indiqué que les participants avaient un pourcentage d'omissions plus faible lorsque le stimulus cible est audio-tactile que lorsque le stimulus est uniquement auditif ou uniquement tactile (respectivement $p=0,017$ et $p=0,053$). Le pourcentage d'omissions était comparable entre la condition unimodale auditive et tactile ($p=0,974$).

Un test de t non paramétrique de Wilcoxon a indiqué que les participants avaient des pourcentages similaires d'omissions pendant le bloc A et pendant le bloc B ($T=130,0$, $p=0,248$).

Omissions et scores d'hyperacousie

Dans les conditions de silence ou de présentation du paysage sonore avec un rendu ambisonique d'ordre 1 (AO1), les pourcentages de réponses aux cibles auditives, tactiles et audio-tactiles ne dépendaient pas du score d'hyperacousie des participants (Test de corrélation non paramétrique de Spearman : $p>0.05$ dans tous les cas).

Dans la condition où les participants étaient immergés dans le paysage sonore présenté avec un rendu ambisonique d'ordre 4 (AO4), le taux d'omission de cibles auditives semble dépendre du score d'hyperacousie des participants (Test de corrélation non paramétrique de Spearman : $r=0.43$, $p<0.05$). Le taux d'omission de cibles auditives était d'autant plus grand que le score d'hyperacousie des participants était haut. En revanche, le pourcentage de réponses aux cibles tactiles et audio-tactiles n'est pas lié au score d'hyperacousie des participants (Test de corrélation non paramétrique de Spearman : $p>0.05$ dans les deux cas).

Omissions selon le groupe d'hyperacousie

Dans les conditions de silence ou de présentation du paysage sonore avec un rendu ambisonique d'ordre 1, les pourcentages de réponses aux cibles auditives, tactiles et audio-tactiles n'étaient pas différents selon le groupe d'hyperacousie des participants ($p>0.433$).

Dans la condition où les participants étaient immergés dans le paysage sonore présenté avec un rendu ambisonique d'ordre 4, les participants avec un haut score

d'hyperacousie ont omis de répondre à plus de cibles auditives comparés aux participants avec un score bas d'hyperacousie (Test U de Mann-Whitney : $U=57.0$, $p=0.017$, cf. tableau ci-dessous). En revanche, le pourcentage de réponses aux cibles tactiles et audio-tactiles était le même dans les deux groupes de participants ($p>0.797$ dans les deux cas).

Ces premières observations justifient que les analyses des résultats prennent en compte les scores d'hyperacousie des participants. Pour la suite des analyses, la population est par conséquent composée de deux groupes : participants sensibles à l'hyperacousie (Hyperacousie +, score compris entre 18 et 32, $N=15$) et participants non sensibles à l'hyperacousie (Hyperacousie -, score compris entre 6 et 17, $N=14$).

c. Analyse des temps de réponse

Nous avons effectué une ANOVA à mesures répétées sur le temps de réaction (TR) moyen avec les facteurs intra-sujet PRÉSENTATION SENSORIELLE du stimulus cible (3 niveaux : auditif, tactile, auditif-tactile), AMBIANCE SONORE (3 niveaux : Silence, AO1 et AO4) et le facteur inter-sujet GROUPE HYPERACOUSIE.

Elle révèle un effet principal du GROUPE ($(F(1, 27) = 1055.69, p < 0,00001)$), un effet principal de la PRESENTATION SENSORIELLE ($(F(2, 54) = 75.48, p < 0,00001)$) et un effet significatif de l'interaction entre PRÉSENTATION SENSORIELLE et AMBIANCE AUDITIVE ($(F(4, 108) = 11.79, p < 0,00001)$).

Effet principal du groupe

Les TR du groupe Hyperacousie + sont significativement plus courts que ceux mesurés dans le groupe Hyperacousie -, quelle que soit l'ambiance sonore et la présentation sensorielle.

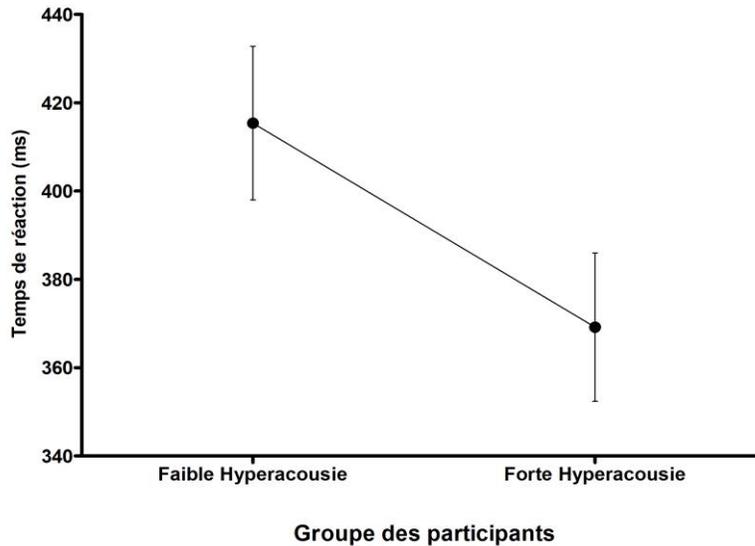


Figure 16 - Temps de réaction moyen des groupes HYPERACOUSIE + et -

Effet principal de la présentation sensorielle

Les stimuli audio-tactiles et les stimuli auditifs sont détectés plus rapidement que les stimuli tactiles. Les stimuli audio-tactiles sont détectés plus rapidement que les stimuli tactiles et que les stimuli auditifs.

Interaction entre présentation sensorielle et ambiance sonore

Les TR des participants ont été influencés différemment par l'ambiance sonore dans laquelle ils étaient immergés en fonction de la présentation sensorielle du stimulus cible. Les tests post-hoc de Neman-Keuls ont révélé que les TR de détection de cibles audio-tactiles étaient comparables dans les trois conditions sonores, et que les TR de

détection de cibles auditives étaient significativement différents entre le silence et l'AO4 ($p < 0,001$) mais pas entre silence et AO1. Les TR pour les cibles auditives sont plus lents dans l'ambiance AO4 que dans le silence et en AO1.

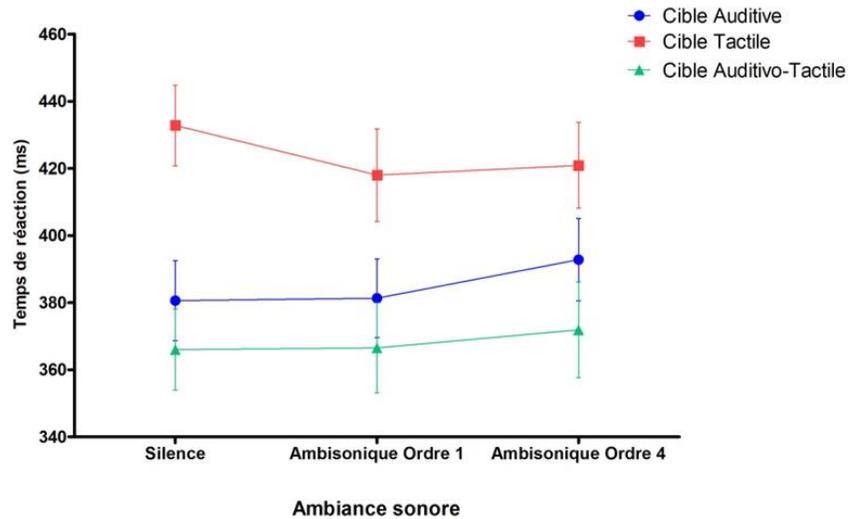


Figure 17 - Temps de réaction pour chaque condition et modalité sensorielles

Important : même si les TR en AO4 en audio sont plus longs, les TR multisensoriels sont comparables, ce qui suggère que l'intégration multisensorielle est efficace.

Les TR du groupe Hyperacousie + pour les stimuli audio-tactiles sont aussi rapides en AO1 qu'en AO4. Par contre, tous les TR du groupe Hyperacousie- sont légèrement plus longs dans les ambiances AO1 et AO4. Il manque de données pour que le résultat soit vraiment significatif.

Groupe_Hyperacousie_median	SI/10A/4	A/T/AT	TR
LOW	1	1	393.2147
LOW	1	2	457.0560
LOW	1	3	384.3028
LOW	2	1	402.2645
LOW	2	2	446.5789
LOW	2	3	390.4752
LOW	3	1	414.6221
LOW	3	2	449.2582
LOW	3	3	400.7798
HIGH	1	1	367.9256
HIGH	1	2	408.4839
HIGH	1	3	347.6260
HIGH	2	1	360.4246
HIGH	2	2	389.3748
HIGH	2	3	342.5489
HIGH	3	1	371.0450
HIGH	3	2	392.5109
HIGH	3	3	342.9208

Figure 18 - Temps de réaction moyen des groupes HYPERACOUSIE + et -

HIGH pour HYPERACOUSIE + LOW pour HYPERACOUSIE -

SI/10A/4 : Silence = 1 , Ordre 1 = 2 , Ordre 4 = 3

A/T/AT : Stimuli audio = 1 ; tactile = 2 ; audio-tactile = 3

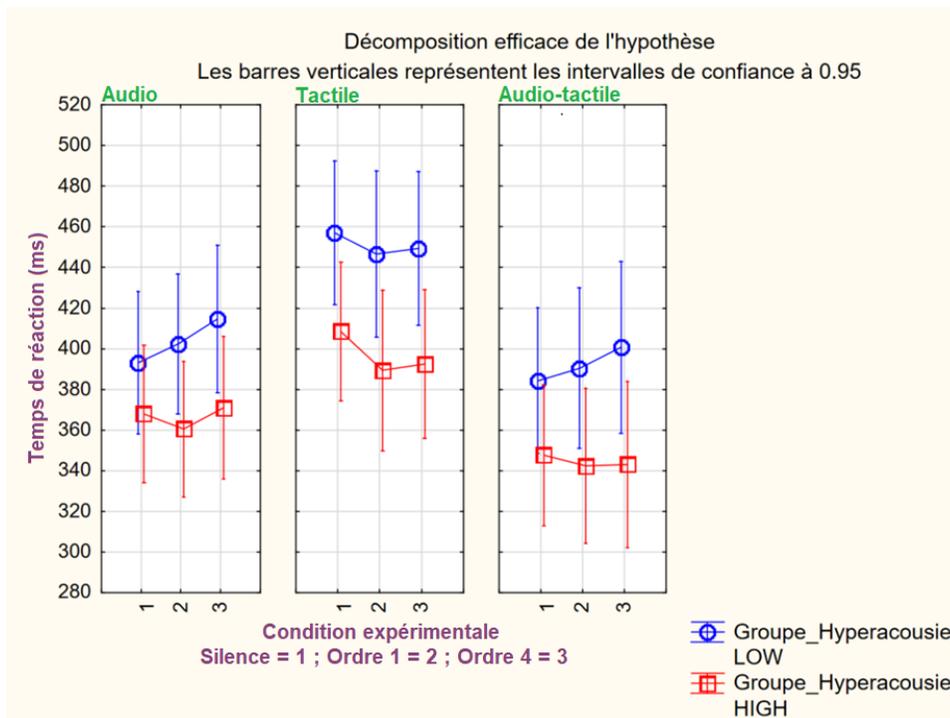


Figure 19 - Figures comparatives des temps de réaction aux modalités sensorielles

A gauche stimuli audio, au milieu tactile, à droite audio-tactile

L'abscisse représente la condition (1- silence, 2- AO1, 3- A04)

d. Analyse des entretiens post-expérimentaux

Condition préférée par les participants

Une grande partie des individus ne semble pas avoir remarqué de vraies différences entre les deux ordres avant d'avoir un comparatif à la fin (où cette fois la comparaison était flagrante). Pourtant 44% des participants ont préféré l'ambisonique d'ordre 1 pour 26% à l'ordre 4 (le reste est neutre).

59% des participants trouvent le silence plus confortable pour la tâche. Le groupe HYPERACOUSIE + préfère à 100% le silence.

Le silence était principalement décrit avec des termes relatifs à la concentration et la sérénité (40%), même si certains disaient être tendus ou déconcentrés par le silence (18,5%), apparemment à cause de l'appréhension créée par l'attente de stimuli. Ce qui ressemble aux symptômes de la sensibilité au bruit. On pourrait faire l'hypothèse que ce type d'expériences peut favoriser ce genre de réactions.

L'ambisonique d'ordre 4 a été perçu comme désagréable, envahissant ou déconcentrant par 37% des participants. Les autres participants n'ont pas senti de différence entre les ordres ou ont préféré l'ordre 4.

Réalisme de la reproduction du paysage sonore

62% des participants considèrent que la reproduction est réaliste et qu'ils éprouvent un sentiment d'immersion, certains se sentent en immersion seulement à l'ordre 4 (7%) mais représentent une minorité (qui ont tous une pratique d'ingénieur du son). Ceux qui sentent l'artificialité ont tous des scores d'audition spatiale hauts.

Sons et caractéristiques cités

Les participants étaient particulièrement attirés par la parole (33%), la saillance de la voix pour notre système perceptif semble avoir tendance à provoquer la déconcentration.

Les sons de déplacements, de talons, de valise, de vélo qui avaient tendance à créer une trajectoire dans l'espace (29%).

Notons aussi les cloches et les notifications de téléphones, qui sont des signalétiques sonores conçues pour attirer l'attention (18%).

L'émergence est un effet identifié par le CRESSON et dont nous avons parlé plus tôt, sans même connaissance du phénomène, le mot émergence (où des mots s'y apparentant) a été évoqué par 25% des participants (et seulement pour l'ordre 4).

Même si l'ordre de passage n'a semble-t-il pas d'influence, les participants sentaient une fatigue progressive ou bien un manque d'habitude à la tâche au début (33%).

e. Piste de recherche complémentaire

À l'origine, l'un des buts du protocole était que grâce à la reproductibilité de l'expérience, nous aurions pu comparer les temps de réaction moyennés sur chaque stimulus et repérer des valeurs particulières. Ces valeurs particulières auraient représenté des temps de réaction particulièrement rapide ou lent et nous aurions essayé de décrypter d'où venait cette particularité.

Pour cela nous aurions fait des fenêtres de 150 ms, commençant 100 ms avant l'apparition du stimulus et aurions testé différents paramètres :

- Niveau sonore moyen de la fenêtre (en dB LUFS, sur une version de notre flux ambisonique comprimée à l'omnidirectionnel) ;
- Types de sons présents dans la fenêtre ;
- Analyse du critère de diffusion de notre flux ambisonique (ratio d'énergie dans la direction principale par rapport au reste).

Malheureusement un souci dans l'installation logicielle a créé des micros-décalage au fil de la lecture. La correspondance entre la diffusion ambisonique et la diffusion des stimuli pouvant aller jusqu'à 500 ms notre méthode de fenêtrage ne peut plus fonctionner.

3. Discussion

Les résultats de notre expérience indiquent que la détection de cibles audio-tactiles est plus rapide que la détection de cibles tactiles et auditives, ce qui confirme l'efficacité de l'intégration multisensorielle dans les conditions expérimentales proposées. Ils mettent par ailleurs en évidence un lien significatif entre l'hyperacousie et la perception sensorielle selon l'ambiance sonore.

En particulier, nous avons observé que les individus sensibles à l'hyperacousie présentent une réactivité accrue dans la détection des cibles par rapport à ceux qui ne sont pas sensibles à cette condition, même dans une ambiance sonore spatialement complexe. Ce résultat peut s'expliquer de plusieurs façons :

Premièrement, les individus souffrant d'hyperacousie ont tendance à percevoir les sons de manière plus intense et désagréable que ceux qui n'en souffrent pas. Par conséquent, leur système auditif peut être plus vigilant et réactif aux stimuli sonores, y compris aux cibles auditives au sein du paysage sonore. Cependant, le nombre d'omissions pour les cibles auditives est plus élevé dans le groupe des participants sensibles à l'hyperacousie. Cet effet mérite d'être exploré afin de comprendre s'il peut être reproduit, étant donné que le nombre d'omissions reste malgré tout très faible au cours de l'expérience.

Deuxièmement, l'hyperacousie peut entraîner une sensibilité accrue aux sons environnants, poussant les individus à prêter une attention plus soutenue à leur environnement auditif. Cette attention accrue pourrait faciliter la détection rapide des cibles auditives, puisque les individus hyperacousiques sont plus aptes à discriminer les signaux pertinents des bruits de fond. Ainsi, les participants sensibles à l'hyperacousie semblent peu impactés dans leurs temps de réaction par l'ambiance sonore diffusée en AO4, alors que les autres participants mettent plus de temps à réagir à des stimuli multisensoriels (audio-tactiles) dans ce contexte sonore. Cette observation indique que l'intégration multisensorielle est efficace pour les participants sensibles à l'hyperacousie,

malgré le contexte sonore très riche. Cette efficacité multisensorielle peut être reliée à une focalisation attentionnelle sur les événements sensoriels et pourrait avoir un coût pour ces individus et entretenir leur hypersensibilité. Inversement, on peut imaginer que les participants non sensibles à l'hyperacousie sont plus distraits par l'environnement sonore diffusé en AO4, ce qui expliquerait le ralentissement des temps de réaction dans cette condition.

Enfin, il est possible que l'hyperacousie ait un impact sur les processus de traitement auditif, augmentant la rapidité avec laquelle les informations auditives sont traitées au niveau cérébral. Cette accélération du traitement auditif pourrait expliquer la réactivité accrue à la détection des cibles auditives. Cependant, il est essentiel de noter que d'autres recherches sont nécessaires pour confirmer ces mécanismes et pour explorer davantage les interactions complexes entre l'hyperacousie et la perception multisensorielle.

Quoi qu'il en soit, les résultats de cette expérience démontrent l'impact de l'environnement sonore sur les réactions comportementales chez l'être humain, allant dans le sens d'une surcharge sensorielle générée par l'environnement sonore urbain. Une ambiance sonore complexe, comme celle d'un environnement urbain, ne vient pas forcément perturber le comportement, mais nécessite la mise en place de ressources pour traiter efficacement les informations sensorielles pertinentes. Ces ressources ont forcément un coût, induisant une fatigue. Les entretiens post-expérimentaux avec les participants vont dans ce sens, puisqu'ils indiquent que l'expérience est mieux supportée dans le silence, et est moins bien supportée dans l'ambiance sonore diffusée en AO4.

CONCLUSION

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons entrepris une exploration approfondie des tenants et aboutissants de la surcharge sensorielle. Nous nous sommes appuyés sur une bibliographie variée pour analyser ce phénomène, souvent nébuleux dans la littérature, et en faire un état de l'art dans une perspective holistique. Notre objectif était de créer une ressource la plus exhaustive possible pour mieux renseigner sur le sujet, notamment pour les personnes ayant des troubles qui les y prédisposent. Continuer cette investigation revêt une grande importance pour la compréhension de ce phénomène qui peut affecter la qualité de vie quotidienne.

Cette étude de la perception des paysages sonores urbains a mis en évidence l'importance cruciale de prendre en compte l'intégralité de nos sens pour une compréhension totale de l'expérience sensorielle urbaine. Nous avons abordé le concept de la *Gestalt*, soulignant comment notre cerveau tend à percevoir et interpréter des stimuli complexes de manière globale plutôt que fragmentée. Appliqué aux paysages sonores urbains, cela souligne la nécessité de comprendre la ville dans son ensemble, plutôt que de se concentrer seulement sur certains éléments, pour appréhender pleinement l'expérience sensorielle qu'elle offre. Dans cette optique, nous avons abordé les caractéristiques psychoacoustiques des sons, les différents effets sonores qu'on peut percevoir en ville, ainsi que d'autres caractéristiques urbaines. Ces éléments se combinent de manière complexe, créant des stimuli sensoriels difficiles à interpréter pour notre perception. L'environnement urbain est un milieu propice à la surcharge sensorielle sonore, il devient impératif de concevoir des environnements qui respectent la diversité des expériences sensorielles individuelles, ouvrant ainsi la voie à des villes plus équilibrées et adaptées aux besoins de chacun.

À travers notre test perceptif, nous avons pu imaginer une méthodologie adaptée à l'étude des paysages sonores et à leur influence sur notre perception. L'utilisation de l'ambisonique dans ce protocole a enrichi l'expérience en permettant une étude de l'influence de la spatialité du son urbain. Le test perceptif a validé que la détection d'un stimulus audio-tactile est plus rapide que les deux modalités séparément, démontrant l'efficacité de l'intégration multisensorielle. Nous avons aussi vu que les participants sensibles à l'hyperacousie présentent une réactivité accrue dans la détection de sons et dans leur intégration multisensorielle, ce qui pourrait être le signe d'une sensibilité et d'une vigilance accrue au son. Cette focalisation attentionnelle pourrait avoir un coût pour ces individus et probablement engendrer de la fatigue.

Enfin, les résultats ont mis en évidence l'influence du paysage sonore urbain sur les réactions comportementales et les temps de réaction chez l'être humain. Les émergences et la précision des déplacements, mis en valeur par le système de restitution, ont été cités dans les entretiens post-expérimentaux pour leur capacité à attirer l'attention et déconcentrer de la tâche. C'est aussi le cas de la parole, qui par sa valeur sémantique attire particulièrement l'attention, et d'autant plus si on peut entendre le sens des paroles. Nos résultats montrent que la surcharge sensorielle pourrait être influencée par le contexte sonore complexe de nos villes. Nous avons aussi pu voir que la précision spatiale obtenue au quatrième ordre d'ambisonique engendrait des temps de réactions plus lents, principalement pour les stimuli sonores, ce qui indique que les critères spatiaux et acoustiques ont une certaine importance dans la surcharge sensorielle.

C'est une véritable thèse qui aurait pu être faite sur ce sujet, les pistes de recherches sont nombreuses. Ce test perceptif en lui-même pourrait gagner à faire passer plus de candidats afin d'obtenir des résultats plus significatifs, notamment pour l'hyperacousie. Il serait également intéressant de tester ce protocole avec des paysages sonores variés, ou bien en testant des caractéristiques sonores dont nous avons parlé pour mieux saisir leur influence sur l'être humain.

RÉFÉRENCES

(Par ordre alphabétique)

Bibliographie

- Arnal, L. H., Flinker, A., Kleinschmidt, A., Giraud, A.-L., & Poeppel, D. (2015). *Human Screams Occupy a Privileged Niche in the Communication Soundscape*. *Current Biology*.
- Bregman, A. S. (1990). *Auditory Scene Analysis: the perceptual organization of sound*. MIT Press.
- Bridges, D., Pitiot, A., MacAskill, M. R., & Peirce, J. W. (2020). *The timing mega-study: Comparing a range of experiment generators, both lab-based and online*. *PeerJ*.
- *BS ISO 12913-2—Acoustics—Soundscape*. (2014).
- Candau, J. (2010). *Intersensorialité humaine et cognition sociale*. *Communications*, 86(1), pp. 25-36. Cairn.info.
- Candau, J., & Le Gonidec, M.-B. (2013). *Paysages sensoriels*. CTHS.
- Cheng, M., & Boggett-Carsjens, J. (2005). *Consider sensory processing disorders in the explosive child: Case report and review*. *The Canadian Child and Adolescent Psychiatry Review = La Revue Canadienne de Psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent*, 14(2), pp. 44-48.

- Chocron, M., & Ponce, E. (2019). *Les effets de la surcharge sensorielle dans les autismes : Un point de vue psychanalytique*. Cliniques méditerranéennes, 100.
- Delorme, A., & Flückiger, M. (2003). *Perception et réalité. Une introduction à la psychologie des perceptions*. De Boeck Supérieur.
- *Diagnostic acoustique territorial du quartier Halles-Beaubourg-Montorgueil et de la rue Montmartre, tenant compte des activités nocturnes récréatives*. (2012). BruitParif.
- Doucé, L., & Adams, C. (2020). *Sensory overload in a shopping environment: Not every sensory modality leads to too much stimulation*. Journal of Retailing and Consumer Services, 57, 102154.
- Dunn, W. (1999). *The Sensory Profile: User's manual*. San Antonio, TX: Psychological Corporation.
- Farina, A. (2014). *Soundscape Ecology : Principles, Patterns, Methods and Applications*. Springer.
- Galiana-Simal, A., Vela-Romero, M., Romero-Vela, V. M., Oliver-Tercero, N., García-Olmo, V., Benito-Castellanos, P. J., & Beato-Fernandez, L. (2020). *Sensory processing disorder : Key points of a frequent alteration in neurodevelopmental disorders*. Cogent Medicine, 7(1), 1736829.
- Gatehouse, S., & Noble, W. (2004). *The Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ)*. International Journal of Audiology, 43(2), pp. 85-99.
- Guastavino, C., Katz, B., Polack, J.-D., Levitin, D., & Dubois, D. (2004). *Ecological Validity of soundscape reproduction*. Acta Acustica united with Acustica, 50.

- Henry, J. A., Theodoroff, S. M., Edmonds, C., Martinez, I., Myers, P. J., Zaugg, T. L., & Goodworth, M.-C. (2022). *Sound Tolerance Conditions (Hyperacusis, Misophonia, Noise Sensitivity, and Phonophobia) : Definitions and Clinical Management*. American Journal of Audiology, 31(3).
- Hsieh, J.-J., Nagai, Y., Kumagaya, S., Ayaya, S., & Asada, M. (2022). *Atypical Auditory Perception Caused by Environmental Stimuli in Autism Spectrum Disorder : A Systematic Approach to the Evaluation of Self-Reports*. Frontier in Psychiatry, 13(888627).
- Khalfa, S., Dubal, S., Veuillet, E., Perez-Diaz, F., Jouvent, R., & Collet, L. (2002). *Psychometric normalization of a hyperacusis questionnaire*. ORL; Journal for Oto-Rhino-Laryngology and Its Related Specialties, 64(6), pp. 436-442.
- Krause, B. (2016). *Chansons animales et cacophonie humaine*. Actes sud.
- Lipowski, Z. J. (1985). *Psychosomatic Medicine and Liaison Psychiatry*. Plenum Publishing Corporation.
- Marucci, M., Di Flumeri, G., Borghini, G., Sciaraffa, N., Scandola, M., Pavone, E., Babiloni, F., Betti, V., & Aricò, P. (2021). *The impact of multisensory integration and perceptual load in virtual reality settings on performance, workload and presence*. Scientific Reports, 11.
- Metz, A. E., Boling, D., DeVore, A., Holladay, H., Liao, J. F., & Vlutch, K. V. (2019). *Dunn's Model of Sensory Processing : An Investigation of the Axes of the Four-Quadrant Model in Healthy Adults*. Brain Sciences, 9(2).

- Mohebbi, M., Mahmoudian, S., Motevalian, S. A., Janani, L., Farhadi, M., & Daneshi, A. (2019). *Developing the Persian Version of Sensory Gating Inventory and Assessing Its Validity and Reliability*. *Basic and Clinical Neuroscience*, 10(6), 597-607.
- Passarello, N., Tarantino, V., Chirico, A., Menghini, D., Costanzo, F., Sorrentino, P., Fucà, E., Gigliotta, O., Alivernini, F., Oliveri, M., Lucidi, F., Vicari, S., Mandolesi, L., & Turriziani, P. (2022). *Sensory Processing Disorders in Children and Adolescents : Taking Stock of Assessment and Novel Therapeutic Tools*. *Brain Sciences*, 12(11).
- Rylander, R. (2006). *Noise, stress and annoyance*. *Noise & Vibration Worldwide*, 37(6).
- Schaaf, R., & Lane, A. (2014). *Toward a Best-Practice Protocol for Assessment of Sensory Features in ASD*. *Journal of autism and developmental disorders*, 45.
- Schaeffer, P. (1966). *Traité des objets musicaux*. Éditions du seuil.
- Schafer, R. M. (1977). *Le paysage sonore : Le monde comme musique*. J.-C. Lattès.
- Scheydt, S., Müller Staub, M., Frauenfelder, F., Nielsen, G. H., Behrens, J., & Needham, I. (2017). *Sensory overload : A concept analysis*. *International Journal of Mental Health Nursing*, 26(2), pp. 110-120.
- Taffou, M., Suied, C., & Viaud-Delmon, I. (2021). *Auditory roughness elicits defense reactions*. *Scientific Reports*, 11(956).
- Torgue, H., Augoyard, J.F., (1995). *A l'écoute de l'environnement : répertoire des effets sonores*. Parenthèses, 174 p., 2-86364-078-X. (hal-01516846).

- Wissmann, T. (2014). *Geographies of urban soundscape*. Ashgate Publishing.
- Wung, S.-F., Malone, D., & Szalacha, L. (2018). *Sensory Overload and Technology in Critical Care*. *Critical Care Nursing Clinics of North America*, 30.

Sites Internet :

- Canon, F. (s. d.). *Physiologie des systèmes intégrés, les principes et fonctions*. Unisciel. Consulté 10 avril 2023 sur https://ressources.unisciel.fr/physiologie/co/Physiologie_web.html
- CRESSON. (2018). *Petit lexique illustré des effets sonores*. Aau.archi. Consulté le 12 Novembre 2023 sur <https://aau.archi.fr/cresson/cres-s-o-u-n-d/la-boite-a-effets/>
- Ircam. (2023). *Système WFS et ambisonique à l'Espace de projection*. Ircam. Consulté le 12 Novembre 2023 sur <https://www.ircam.fr/projects/pages/systeme-wfs-et-ambisonique-a-lespace-de-projection>
- Petit, C. (2022). *Génétique et physiologie cellulaire*. L'annuaire du Collège de France. Consulté le 22 août 2022 sur <http://journals.openedition.org/annuaire-cdf/17007>

ANNEXES

A – Une taxonomie des environnements acoustiques

B – Questionnaire de peur des foules

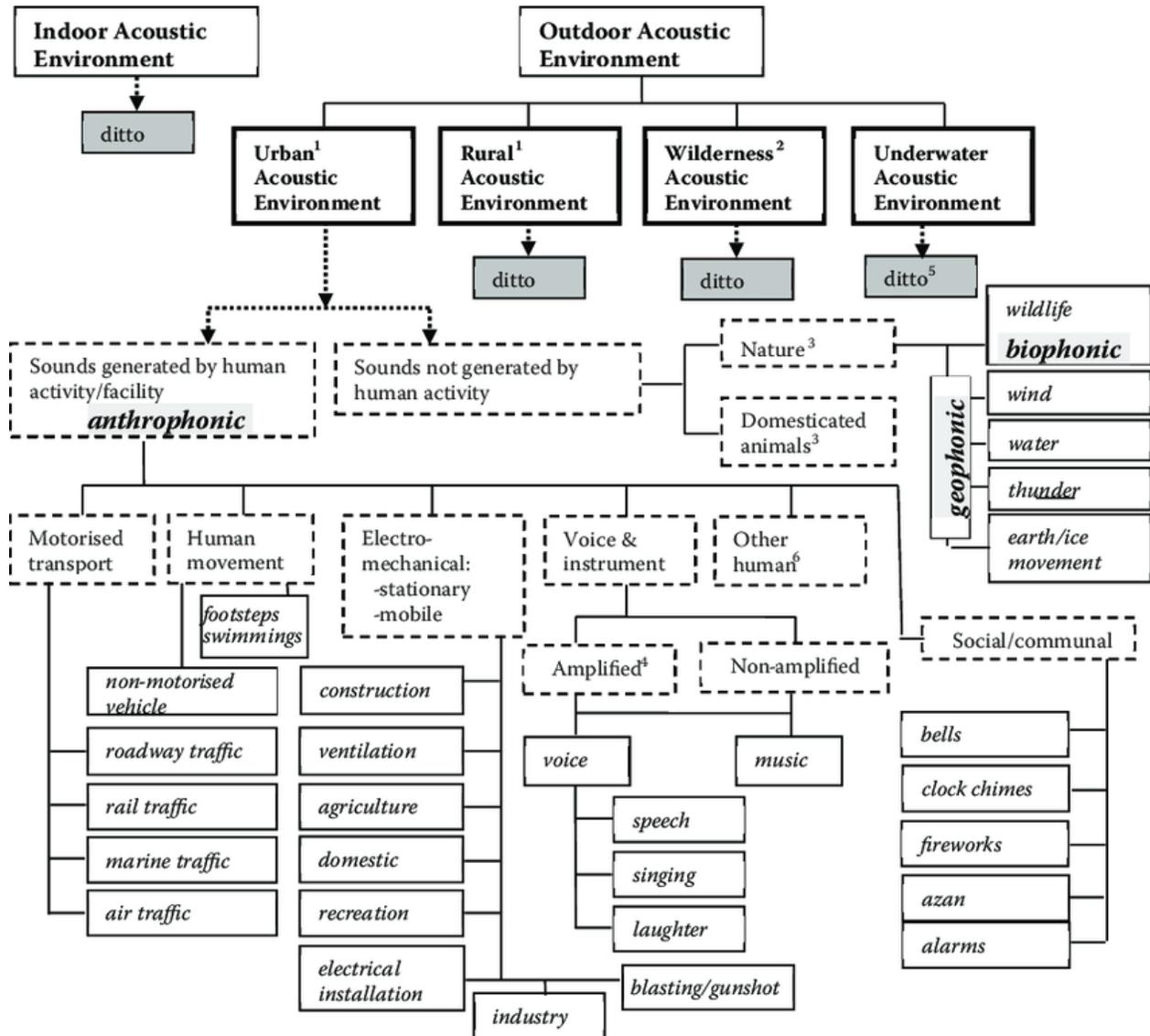
C – Questionnaire d’hyperacousie

D – Questionnaire d’audition spatiale

E – Notice d’information du test perceptif

F – Questionnaire rempli lors de l’entretien

A – Une taxonomie des environnements acoustiques



A classification scheme for categorizing sound in any acoustic environment

(2015) Lex Brown

https://www.researchgate.net/figure/A-classification-scheme-for-categorizing-sound-sources-in-any-acoustic-environment-that_fig2_299641628

B – Questionnaire de peur des foules

Indiquez le niveau d'inconfort qui décrit au mieux la manière de vous sentir dans ces situations :

Situation	Aucun inconfort	Un peu d'inconfort	Inconfort moyen	Extrême inconfort
1. Assister à un concert de musique classique dans une grande salle pleine.				
2. Attendre des amis à l'entrée d'un bar bondé. Depuis votre position, vous pouvez entendre le brouhaha venant de l'intérieur du bar.				
3. Marcher le long du quai de la gare après la descente du train un jour de grande affluence				
4. Se trouver à proximité du lieu de passage du cortège de la gay-pride. Depuis votre position, vous entendez la musique et le tumulte de la foule.				
5. Marcher dans une station de métro à l'heure de pointe.				
6. Attendre des amis à l'entrée d'une piscine municipale. Depuis votre position, vous entendez le vacarme provenant des bassins				
7. Se tenir debout dans un métro ou un bus bondé.				
8. Chercher sa place dans le train un soir de grand départ.				
9. Se frayer un chemin dans une discothèque pour rejoindre un groupe d'amis.				
10. Assister à un événement sportif (match de football, championnat, tournoi...) dans les gradins d'un stade ou d'une grande salle de sport.				
11. Se trouver au sein du cortège d'une manifestation.				
12. Marcher dans une galerie marchande le premier jour des soldes.				
13. Se trouver dans la fosse lors d'un grand concert dans un stade.				
14. Avancer au sein d'une file d'attente très dense (entrée de spectacle, de musée, parc d'attractions...).				
15. Se déplacer dans un bar bondé.				

C – Questionnaire d’hyperacousie

Etes-vous ou avez-vous été exposé au bruit ?

Supportez-vous moins bien le bruit que la plupart des gens ?

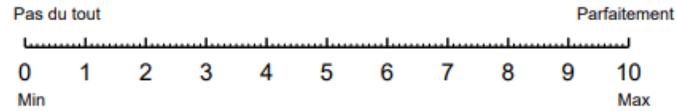
Avez-vous déjà eu des problèmes auditifs ? Si oui, lesquels ?

Dans le questionnaire suivant, cochez la case correspondant à la réponse la plus adéquate pour vous (non, oui un peu, oui modérément, oui beaucoup).

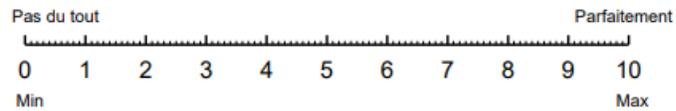
	Non	Oui, un peu	Oui, modéré ment	Oui, beauco up
1. Vous arrive- -t-il d'utiliser des bouchons, boules quiès ou casque, pour limiter votre perception du bruit ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Avez-vous des difficultés à ne plus faire attention aux sons qui vous entourent dans les situations de la vie quotidienne ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Etes-vous gêné(e) pour lire dans un environnement bruyant ou sonore ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. . Etes-vous gêné(e) pour vous concentrer dans un milieu bruyant ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Eprenez vous des difficultés pour entendre une conversation au milieu d'un environnement bruyant ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Certaines personnes de votre entourage vous ont-elles déjà fait remarquer que vous supportez mal le bruit ou certains sons ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Etes vous particulièrement sensible voire gêné(e) par le bruit de la rue ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Le bruit dans certaines situations sociales (ex : boîtes de nuit, bars, concerts, feux d'artifice, cocktails,...) vous est-il pénible ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Si l'on vous propose une activité (sortie, cinéma, concert...), pensez-vous tout de suite au bruit que vous aurez à supporter ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Vous arrive-t-il de refuser des invitations ou des sorties par crainte du bruit que vous aurez à affronter ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Est-ce qu'un bruit ou un son précis vous dérange plus dans une atmosphère silencieuse que dans un pièce légèrement bruyante ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Votre capacité de concentration dans le bruit est-elle diminuée par le stress et la fatigue ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Votre capacité de concentration dans le bruit est-elle diminuée en fin de journée ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Est que le bruit ou certains sons vous stressent ou vous énervent ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D – Questionnaire d'audition spatiale

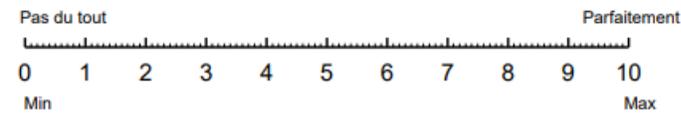
1. Vous êtes dehors, dans un environnement que vous ne connaissez pas. Vous entendez quelqu'un utiliser une tondeuse à gazon. Vous ne pouvez pas voir où elle est. Pouvez-vous dire immédiatement d'où vient le son ?



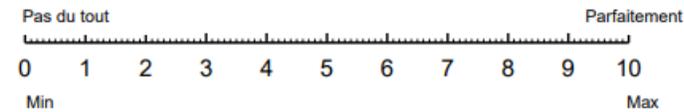
2. Vous êtes assis à une table avec plusieurs personnes. Vous ne pouvez pas voir tout le monde. Pouvez-vous dire où est une personne dès qu'elle se met à parler ?



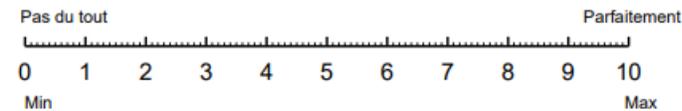
3. Vous êtes assis entre deux personnes. Une des deux commence à parler. Pouvez-vous dire immédiatement si cette personne est à votre droite ou à votre gauche, sans avoir à regarder ?



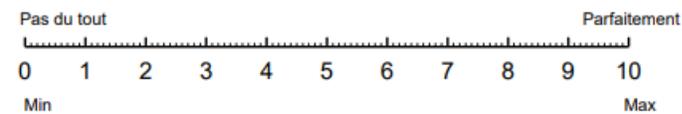
4. Vous êtes dans une maison que vous ne connaissez pas. C'est calme. Vous entendez une porte claquer. Pouvez-vous dire immédiatement d'où venait le son ?



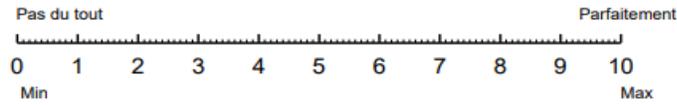
5. Vous êtes dans la cage d'escalier d'un bâtiment avec des étages au-dessus et au-dessous de vous. Vous pouvez entendre des sons provenant d'un autre étage. Pouvez-vous dire immédiatement d'où le son vient ?



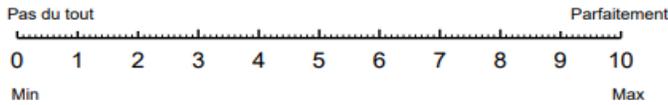
6. Vous êtes dehors. Un chien aboie bruyamment. Pouvez-vous immédiatement dire où il est, sans avoir à regarder ?



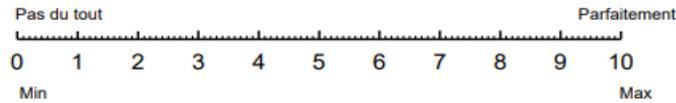
7. Vous êtes sur le trottoir d'une rue passante. Pouvez-vous dire immédiatement la direction dont provient un camion ou un bus, avant que vous le voyiez ?



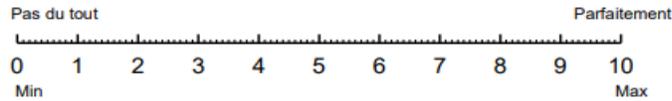
8. Dans la rue, pouvez-vous dire si quelqu'un est loin ou près à l'écoute du son de sa voix ou de ses pas ?



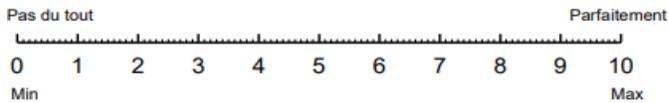
9. Pouvez-vous dire à quelle distance est un bus ou un camion uniquement en l'entendant ?



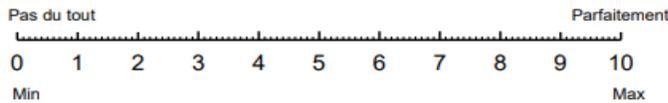
10. Pouvez-vous dire d'après le son, la direction dans laquelle un bus ou un camion circule, par exemple, de votre gauche à votre droite ou de votre droite à votre gauche ?



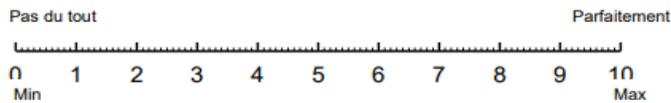
11. Pouvez-vous dire d'après le son de sa voix ou de ses pas, la direction dans laquelle une personne est en train de se déplacer, par exemple, de votre gauche à votre droite ou de votre droite à votre gauche ?



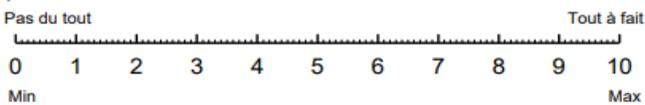
12. Pouvez-vous dire d'après le son de sa voix ou de ses pas, si une personne est en train de s'approcher ou de s'éloigner de vous ?



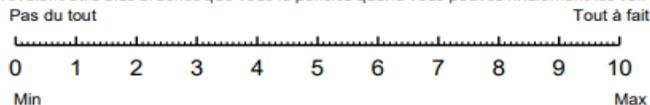
13. Pouvez-vous, d'après le son, dire si un bus ou un camion est en train de se déplacer vers vous ou dans la direction opposée ?



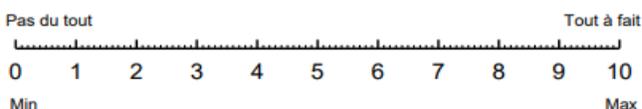
14. Est-ce que les sons des choses que vous pouvez entendre semblent être à l'intérieur de votre tête plutôt qu'à l'extérieur dans le monde environnant ?



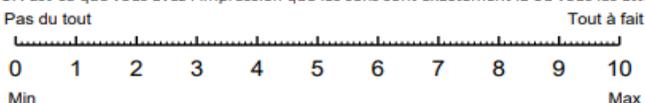
15. Est-ce que les sons des gens ou des choses que vous pouvez entendre, mais pas voir immédiatement, se révèlent être plus proches que vous le pensiez quand vous pouvez finalement les voir ?



16. Est-ce que les sons des gens ou des choses que vous pouvez entendre, mais pas voir immédiatement, se révèlent être plus loin que vous le pensiez quand vous pouvez finalement les voir ?



17. Est-ce que vous avez l'impression que les sons sont exactement là où vous les attendez ?



E – Notice d’information du test perceptif

L’expérience à laquelle vous allez participer est destinée à l’étude de la perception de stimuli tactiles et auditifs dans un contexte sonore urbain. Nous vous demanderons de détecter le plus vite possible des stimuli tactiles et/ou auditifs très brefs en appuyant sur un bouton.

Déroulement :

Avant l’expérience, vous aurez à remplir deux questionnaires évaluant la peur de la foule et la sensibilité au son.

A la fin de l’expérience, nous vous poserons encore quelques questions afin de savoir ce que vous avez pensé de la procédure.

Lors de l’expérience, vous entendrez et/ou sentirez des stimuli très courts. Vous porterez un masque afin de ne pas vous laisser influencer par l’environnement visuel. Votre tâche sera de détecter les stimuli sonores diffusés sur le petit haut-parleur en face de vous et les stimuli tactiles délivrés sous votre index gauche. Les stimuli à détecter sont soit uniquement audio, soit uniquement tactiles, soit bimodaux (audio et tactiles). Votre objectif sera de les détecter **LE PLUS RAPIDEMENT POSSIBLE**.

L’expérience se divise en 3 conditions, elles même séparées en plusieurs séries de stimuli (appelées “blocs”). La première condition est composée de 2 blocs de 5 minutes et se déroule dans le silence. Les deux autres conditions sont composées de deux blocs de 5 minutes et se déroulent simultanément à la diffusion d’un paysage sonore urbain qui sera différent à chaque bloc. Nous étudierons l’effet de l’environnement auditif sur la variation de vos réponses.

Consignes :

Il vous est demandé d'appuyer sur le bouton réponse le plus vite possible dès que vous sentez un stimulus sous le doigt gauche ou entendez un bruit blanc très court provenant du petit haut-parleur en face de vous ou bien les deux simultanément. Il vous est également demandé de regarder toujours au milieu (autrement dit, de garder les yeux en face de vous). Vous ne devrez pas faire de saccade visuelle vers les stimuli tactiles ou les sons, mais maintenir votre regard au milieu.

L'expérience est précédée d'une session d'entraînement. Lorsque vous estimez avoir compris le but de l'expérience et que vous vous êtes familiarisé avec l'expérience, vous pouvez l'indiquer à l'expérimentateur qui mettra fin à la session d'entraînement.

Merci de votre participation

F – Questionnaire rempli lors de l'entretien

N° ID:

Nom: Prénom: Age:
Sexe: Profession: Latéralité:

Pratique musicale :

Milieu de vie:

Acouphènes:

Audition/perception:

Neurotypiques ? :

Problèmes de santé :

Lunettes et types de correction :

Problème au niveau du toucher :

DEBRIEF

Vous pouvez vous exprimer par rapport aux ressentis que vous avez eu (gêne, concentration, agréable, les éléments qui vous ont marqué, n'importe quoi) :

Condition 1 (silence) :

Condition 2 (. . .) :

Condition 3 (. . .) :

Avez-vous eu l'impression de vous représenter la scène sonore et de vous y situer ?

Avez-vous l'impression d'avoir réussi à faire la tâche demandée ?

Des remarques ?

TABLE DES FIGURES

Figure 1 – Modèle à quatre quadrants de Dunn	18
Figure 2 - Diagramme de l'installation de l'Eigenmike en captation nomade	51
Figure 3 - Photographie de la prise de son	53
Figure 4 - Carte du bruit cumulé des activités récréatives et du trafic routier, créneau [18h-22h]	54
Figure 5 - Audiomètre Echodia	59
Figure 6 – Salle du test perceptif et système ambisonique.....	61
Photographie de Matéo Picard	
Figure 7 - Position des mains des participants	61
Photographie de Matéo Picard	
Figure 8 – Clavier pour répondre aux stimuli	62
Photographie de Matéo Picard	
Figure 9 – Haut-parleur vibro-tactile	62
Photographie de Matéo Picard	
Figure 10 - Enceinte pour stimuli audio	62
Photographie de Matéo Picard	

Figure 11 - Synoptique de l'installation pour le test perceptif	65
Figure 12 - Fenêtre de démarrage du test sur <i>Presentation</i>	66
Figure 13 - Patch Max/MSP pour lecture des paysages sonore	67
Figure 14 - Répartition des âges	69
Figure 15 - Répartition des scores d'hyperacousie	70
Figure 16 - Temps de réaction moyen des groupes HYPERACOUSIE + et -	74
Figure 17 - Temps de réaction pour chaque condition et modalité sensorielles	75
Figure 18 - Temps de réaction des groupes HYPERACOUSIE + et -	76
Figure 19 - Figures comparative des temps de réaction aux modalités sensorielles	76

Dorian Vernet - Mémoire de fin d'études

Master son 2023