

Établir des normes relatives à l'acoustique de l'environnement bâti

Rapport de recherche final

14 juin 2023

Table des matières

1.	Résumé	1
2.	Contexte du projet	3
2.1.	Mandat et motifs	3
2.2.	Équipe du projet	3
2.3.	Contexte.....	4
a)	Langage.....	4
b)	Fonctionnement et handicap.....	5
c)	Emploi de citations.....	5
2.4.	Méthodes.....	5
2.5.	Structure du rapport.....	6
3.	Son et handicap	7
3.1.	Entendre et écouter.....	7
3.2.	Limitations fonctionnelles résultant du traitement des informations auditives	8
a)	Perte auditive périphérique.....	9
b)	Trouble du traitement auditif	10
3.3.	Réponses au son et au bruit.....	12
3.4.	Recherche – Effets des sons et des bruits sur des étudiant(e)s en situation de handicap	15
3.5.	Résumé de la section	17
4.	L’acoustique de l’environnement bâti	17
4.1.	Son et bruit	18
4.2.	Réflexion et échos.....	19
4.3.	Conception acoustique et éducation	19
4.4.	Acoustique inclusive et accessible	21
a)	Espaces médicaux	23
b)	Centres d’hébergement et de soins de longue durée.....	23
c)	Restaurants	24
d)	Établissements scolaires	24
4.5.	Recherche – Analyse du paysage sonore de l’Université Carleton	25
a)	Salles de cours et lieux d’enseignement	25
b)	Zones d’études.....	27
c)	Comptoir de services	28
d)	Autres espaces	29

4.6.	Résumé de la section	31
5.	Le rôle de la technologie.....	31
5.1.	Appareils auditifs à usage personnel	32
5.2.	Suppléance à l'audition.....	33
5.3.	Sous-titrage.....	35
5.4.	Contrôle du son.....	36
5.5.	Recherche – Caractéristiques du bruit résiduel des casques à réduction du bruit.....	37
5.6.	Résumé de la section	40
6.	Normes acoustiques en vigueur	41
6.1.	Mesures objectives	41
a)	Niveau de bruit (dBA).....	41
b)	Temps de réverbération (T_{60}).....	42
c)	Isolation acoustique.....	43
d)	Évaluations des matériaux de construction	43
6.2.	Normes actuelles en vigueur	43
6.3.	Recherche – Caractérisation acoustique d'une pièce à l'aide de la reconnaissance vocale automatisée sur téléphone intelligent	45
6.4.	Recherche – Lacunes et limites des normes acoustiques	47
6.5.	Résumé de la section	50
7.	Recommandations et considérations	51
a)	Concevoir pour la diversité	51
b)	Identifier et assister les fonctions du son;	51
c)	Identifier et réduire les conséquences du bruit.....	52
d)	Évaluer et réévaluer l'accessibilité acoustique	52
e)	Normaliser et favoriser l'utilisation des technologies d'assistance	53
8.	Bibliographie.....	55

1. Résumé

Une équipe de recherche multidisciplinaire composée de membres issus de l'Institut de l'accessibilité ainsi que de la Faculté de génie et de design de l'Université Carleton a réalisé le projet *Établir des normes relatives à l'acoustique de l'environnement bâti* avec le soutien financier de Normes d'accessibilité Canada (NAC). L'objectif du projet était d'étudier les conséquences de l'environnement acoustique sur les personnes en situation de handicap tout en examinant des technologies qui permettent la réduction ou l'élimination des obstacles acoustiques. Le son et les bruits ont des effets sur les activités quotidiennes et l'expérience vécue des personnes en situation de handicap, que cette situation soit causée par une surdité, des troubles de santé mentale, un trouble du spectre de l'autisme, des lésions neurologiques ou le vieillissement. Identifier et comprendre ces effets pourrait par conséquent améliorer le confort et le fonctionnement des personnes concernées dans l'environnement bâti.

Les objectifs de recherche du projet étaient les suivants :

- Identifier les difficultés clés et les obstacles à l'accessibilité posés par l'acoustique dans l'environnement bâti.
- Examiner le rôle des technologies existantes et émergentes qui permettent de diminuer les obstacles liés au son et à l'acoustique.
- Faire avancer la recherche et identifier les domaines d'amélioration pour parfaire l'expérience acoustique des personnes en situation de handicap.
- Identifier les considérations essentielles et les pratiques exemplaires en matière d'acoustique, ainsi que des stratégies permettant d'utiliser la technologie pour améliorer l'accessibilité acoustique dans l'environnement bâti.

Pour atteindre ces objectifs, l'équipe de recherche a réalisé une revue de la littérature, un projet de cocréation, des sondages et des entrevues avec des personnes qui ont vécu des situations de handicap, ainsi qu'un survol de la technologie. Les sous-projets interagissaient entre eux et se concentraient sur différents aspects de l'environnement problématique en considérant à la fois l'ingénierie et l'accessibilité.

La revue de la littérature a examiné des écrits sur l'accessibilité, l'ingénierie et les normes d'accessibilité. Elle s'est notamment penchée sur les rôles des sons et des bruits lors des activités quotidiennes, les obstacles acoustiques causés par l'environnement bâti auxquels sont confrontées les personnes en situation de handicap, ainsi que la façon dont les normes en vigueur et les technologies existantes tentent de réduire ces obstacles.

La revue de la littérature sur les normes d'accessibilité a servi au développement du projet de cocréation pour lequel des individus ayant diverses expériences vécues du handicap ont façonné des récits dans le but d'identifier la façon dont les normes en vigueur s'appliquent à leur quotidien et leurs lacunes lorsqu'elles ne prennent pas certains obstacles en considération.

Les rôles des technologies de suppléance à l'audition et des appareils personnels qui aident à réduire les obstacles acoustiques ont été étudiés à l'aide d'un sondage et d'entrevues avec des étudiant(e)s en situation de handicap. Les témoignages des étudiant(e)s ont guidé l'exploration des technologies émergentes et de leur capacité potentielle à diminuer certains obstacles.

Les résultats de nos recherches ont révélé qu'une sensibilisation accrue à l'importance de l'accessibilité acoustique, y compris l'élaboration d'une définition plus large allant au-delà des obstacles de communication associés à la surdité, est nécessaire. Les participant(e)s et la littérature ont identifié à plusieurs reprises des difficultés liées à l'aspect cognitif du traitement du son, notamment lorsqu'il était nécessaire de bloquer les bruits ou d'écouter une seule personne dans un groupe. Ainsi, les bruits n'ont pas besoin d'être forts pour être un obstacle acoustique ou pour avoir des répercussions négatives sur la concentration, le stress et la santé mentale. Des conversations de groupes ou des discussions dans un environnement bruyant sont souvent problématiques même pour les personnes qui entendent très bien dans des environnements calmes ou lors de discussions individuelles. Ces différents défis existent aussi pour les personnes sourdes ou malentendantes (incluant celles qui utilisent des prothèses auditives) ainsi que pour celles qui ont d'autres formes de handicaps qui sont bien souvent invisibles. Chez ces individus, les difficultés relatives au traitement des sons peuvent recevoir moins d'attention, parce qu'elles sont considérées comme l'effet secondaire d'un autre problème de santé. Certain(e)s participant(e)s ont exprimé leur frustration face à cette situation et l'impression de se retrouver bloqué sans solution pour gérer les conséquences des sons et du bruit. Leurs préoccupations mettent en lumière l'importance de contrôler le son et les échos, et encore plus dans les lieux où ce n'est habituellement pas considéré comme nécessaire de le faire, ainsi que l'importance d'avoir à des zones plus tranquilles sur le plan acoustique pour se remettre des environnements bruyants.

Notre survol des technologies a montré le besoin d'avoir une stratégie sur plusieurs plans pour obtenir des espaces accessibles. Ainsi, utiliser des stratégies qui se complètent, tel qu'un système d'amplification sonore combiné à la diffusion des informations dans un format visuel ou de remplacement, tient compte de la grande diversité des niveaux de fonctionnement et de handicap. Les technologies d'assistances seraient alors un niveau supplémentaire se rajoutant aux autres aides pour faire face aux obstacles. De plus en plus, ce rôle est rempli par des appareils grand public, tels que des téléphones cellulaires personnalisés avec applications et accessoires d'assistance ainsi que des casques à annulation active du bruit pour un contrôle du son individuel et personnalisable, plutôt que par des dispositifs d'assistance spécialisés. La rapide évolution de l'utilisation de la technologie à des fins d'accessibilité augmente la nécessité d'avoir des recherches supplémentaires pour en maximiser les avantages et en comprendre les répercussions.

Le présent rapport présente les résultats de ces recherches sous la forme de recommandations détaillées concernant des aspects qui, d'un point de vue acoustique, devraient faire l'objet d'une attention particulière lors de la conception d'espaces accessibles. Il propose également certaines pratiques exemplaires en matière de conception acoustique. Ces recommandations peuvent être résumées comme suit :

- Concevoir pour la diversité.
- Identifier et assister les fonctions du son.
- Identifier et réduire les conséquences du bruit.
- Évaluer et réévaluer l'accessibilité acoustique.
- Normaliser et favoriser l'utilisation des technologies d'assistance.

Ces recommandations couvrent le cycle de vie d'un environnement bâti, de sa conception jusqu'à son utilisation, en passant par sa construction. Elles visent à favoriser la création d'environnements bâtis

communs où l'acoustique et l'accessibilité ne sont pas de simples caractéristiques, mais des propriétés essentielles de l'espace.

2. Contexte du projet

2.1. Mandat et motifs

L'objectif du projet de recherche *Établir des normes relatives à l'acoustique de l'environnement bâti* était d'examiner les effets de l'environnement acoustique sur les personnes en situation de handicap, d'identifier des obstacles acoustiques au sein de l'environnement bâti, et d'étudier de potentielles technologies pour la diminution et l'élimination de ces obstacles.

Le son peut avoir des interactions et des effets précis sur l'expérience vécue des personnes en situation de handicap. Selon l'Enquête canadienne sur l'incapacité de 2018, plus de 20 % de la population canadienne âgée de plus de 15 ans déclarent que leurs activités quotidiennes sont limitées en raison de difficultés liées au son (Gouvernement du Canada, 2018). Ce nombre devrait croître avec le vieillissement de la population du pays, puisque les changements dans l'état de santé liés à l'âge sont les principales causes de surdité. Des obstacles acoustiques affectent également les personnes qui ont d'autres formes de handicap, souvent invisibles, comme des troubles de l'apprentissage, un trouble du spectre de l'autisme, des troubles de l'attention, des troubles de santé mentale et des lésions neurologiques, bien que cela n'ait pas fait l'objet du même niveau de recherche ou d'attention. En étudiant la diversité des relations entre le son, le bruit et le handicap, ce projet souhaitait élargir l'étendue des recherches sur l'accessibilité acoustique dans le but de faciliter la création d'environnements acoustiques totalement accessibles.

Le projet a bénéficié du soutien financier de Normes d'accessibilité Canada (NAC) pendant un an (2022-2023). Pour NAC, les principaux apports de ce projet sont les suivants :

- Une revue de la littérature qui fait état de l'accessibilité acoustique et des principales normes actuelles.
- Des entretiens réalisés avec des individus qui ont des expériences vécues du handicap afin de discuter des obstacles acoustiques rencontrés dans l'environnement bâti.
- Le développement d'un éventail ciblé, mais largement adaptable, de pratiques exemplaires relatives à l'acoustique dans les environnements bâtis.
- Un rapport final de recherche que le grand public pourra consulter dans un format accessible et dans les deux langues officielles.

Les résultats de ce projet souhaitent fournir aux spécialistes de l'élaboration des normes un guide simple et pratique pour intégrer des considérations acoustiques dans la conception des normes d'accessibilité pertinentes en vertu de la *Loi canadienne sur l'accessibilité* de 2019.

2.2. Équipe du projet

Le projet, mené par l'Institut de l'accessibilité de l'Université de Carleton, a été dirigé par un groupe de recherche multidisciplinaire. Avec une formation en ingénierie et en électronique, en linguistique, en neurosciences, et en psychologie, l'équipe du projet avait pour objectif d'aborder l'accessibilité sous l'angle des sciences sociales et de l'ingénierie.

Le volet ingénierie permet de mieux comprendre les mesures techniques relatives aux technologies d'assistance, les propriétés scientifiques de l'acoustique et le comportement du son dans divers environnements. Quant au volet sciences sociales, il met en évidence les obstacles réels rencontrés par des personnes qui vivent avec un handicap et souligne l'importance d'étudier les handicaps non visibles.

Pour la réalisation du projet, des partenariats ont été formés avec l'Inclusive Design Research Centre (IDRC), l'École d'art et de design de l'Ontario (ÉADO), ainsi qu'avec la Fondation Rick Hansen et le Centre Paul Menton de l'Université de Carleton.

Chercheurs principaux

D^r Rafik Goubran, vice-recteur (recherche et international) et professeur titulaire du titre de « Chancellor's Professor » en ingénierie, Université Carleton

D^r Boris Vukovic, directeur, Institut de l'accessibilité, et professeur adjoint de recherche, Université Carleton

Équipe de recherche

D^r Brady Laska, responsable du projet de recherche

Laura Ault, coordonnatrice du projet de recherche

D^r Mako Hirotani, chercheuse

D^r Bruce Wallace, conseiller en recherche

Jessie Gunnell, chargée de projet

Caitlin Bergin, auxiliaire de recherche

Abagael Hudak, auxiliaire de recherche

2.3. Contexte

a) Langage

Ce rapport fait référence à des ouvrages qui traitent des aspects médicaux et sociaux du handicap. Ces domaines utilisent un langage différent pour décrire les personnes en situation de handicaps et leurs déficiences sensorielles ou limitations fonctionnelles, ce qui se reflète dans les termes utilisés à travers différentes sections. Une discussion sur la conception de l'environnement bâti peut, par exemple, faire référence aux obstacles rencontrés par une personne qui est sourde ou malentendante, tandis qu'une description des mécanismes de l'audition peut parler explicitement d'une déficience auditive périphérique ou binaurale. La terminologie des sujets liés à l'audition est tirée des lignes directrices de l'American Speech-Language Hearing Association (American Speech-Language-Hearing Association, s.d.-c).

Nous utilisons les termes « handicap » et « obstacle » tels qu'ils sont définis dans la *Loi sur l'accessibilité du Canada* (Naef & Perez-Leclerc, 2019) :

« **Handicap** Déficience notamment physique, intellectuelle, cognitive, mentale ou sensorielle, trouble d'apprentissage ou de la communication ou limitation fonctionnelle, de nature

permanente, temporaire ou épisodique, manifeste ou non et dont l'interaction avec un obstacle nuit à la participation pleine et égale d'une personne dans la société. »

« **Obstacle** Tout élément – notamment celui qui est de nature physique ou architecturale, qui est relatif à l'information, aux communications, aux comportements ou à la technologie ou qui est le résultat d'une politique ou d'une pratique – qui nuit à la participation pleine et égale dans la société des personnes ayant des déficiences notamment physiques, intellectuelles, cognitives, mentales ou sensorielles, des troubles d'apprentissage ou de la communication ou des limitations fonctionnelles. »

b) Fonctionnement et handicap

Les modèles de handicap, ainsi que la rédaction et le contenu des normes, influencent notre façon de voir et d'étudier un handicap. Les normes sont à la fois le produit de l'environnement social et un facteur qui y contribue.

Ce projet considère l'accessibilité de l'environnement bâti à travers un modèle biopsychosocial, tel qu'utilisé par la Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé de l'Organisation mondiale de la Santé (CIF de l'OMS) (Organisation mondiale de la Santé, 2001). Ce modèle reconnaît le rôle de l'état de santé, de l'expérience personnelle, des activités et des facteurs environnementaux, ainsi que la manière dont leurs interactions influencent le fonctionnement et le handicap d'un individu. Il souligne également la neutralité étiologique et l'importance de passer d'une classification binaire des individus en fonction de leur état de santé à une vision du handicap qui s'inscrit dans un continuum avec le fonctionnement. Tout le monde peut vivre en situation de handicap et nous ne pouvons pas déduire la participation sociale d'un individu à partir du diagnostic seul.

Ce modèle soutient une analyse systématique de l'accessibilité de l'environnement bâti, axée sur la personne. Une telle analyse commence par les individus qui utilisent les lieux, considère les activités qui y sont associées et se termine en évaluant de la capacité à effectuer ces activités dans l'environnement. En fonction de l'évaluation de l'espace, des changements peuvent y être apportés, en répétant ensuite le processus d'évaluation. Cela conduit à une conception qui traite l'accessibilité comme une propriété essentielle plutôt que comme simple complément.

c) Emploi de citations

Le présent rapport contient des citations de personnes ayant une expérience vécue du handicap qui ont participé à notre projet de cocréation (voir section **Error! Reference source not found.**). Ces citations ont pour but d'apporter des points de vue personnels aux discussions abordées dans le texte environnant. Elles ne sont pas censées être représentatives des opinions ou de l'expérience d'une population ou d'un groupe de personnes puisqu'elles illustrent l'expérience précise d'un individu. Nous remercions vivement les participant(e)s d'avoir partagé leur histoire et d'avoir autorisé l'utilisation de ces citations.

2.4. Méthodes

« Grâce à ce système de classification... il serait possible de créer des instruments qui permettent d'évaluer les environnements en fonction de leur potentiel de facilitation de la participation sociale

*ou de création d'obstacles pour différents types et niveaux de handicap... ainsi il sera plus facile d'élaborer et de mettre en place des **lignes directrices pour la conception universelle** et d'autres normes environnementales qui **augmentent le niveau de fonctionnement des personnes en situation de handicap** dans l'ensemble **des activités humaines**. » (ICF Beginner's Guide [Guide du débutant de la CIF], traduit par nos soins)*

Pour atteindre l'objectif du projet, l'équipe a appliqué le modèle de la CIF décrit à la section 2.3b pour créer des sous-projets connexes qui intègrent à la fois des perspectives d'ingénierie et de sciences sociales. Les sous-projets comprennent une revue de la littérature relative aux normes d'accessibilité, d'ingénierie et d'acoustique, une exploration des technologies d'assistance, des séances de cocréation avec des expert(e)s sur les normes existantes, ainsi qu'un sondage et des entretiens au sujet des technologies d'assistance utilisées par des étudiant(e)s en situation de handicap.

La revue de la littérature a permis d'identifier les effets du son et du bruit sur des personnes en situation de handicaps, ainsi que les normes déjà existantes, leurs points forts et les endroits présentant des lacunes éventuelles. À partir des résultats de la revue de la littérature, des questionnaires ont été conçus pour donner forme au projet de cocréation, qui examine ces normes et leurs lacunes éventuelles.

Les résultats de la revue de la littérature, complétés par les commentaires des étudiant(e)s et d'autres personnes ayant une expérience vécue liée au son, ont guidé notre exploration des technologies d'assistances. Celle-ci a permis d'évaluer objectivement les performances des technologies émergentes et leur capacité à réduire les obstacles. Des entretiens individuels et des séances de cocréation ont permis de recueillir des informations plus personnelles et plus détaillées sur la vie quotidienne des individus en situation de handicap et sur leur expérience vécue avec les technologies.

2.5. Structure du rapport

Le reste de ce rapport se concentre sur les résultats du projet. Les sections 3 à 6 présentent des résumés des travaux de recherche, ainsi qu'une analyse du contexte et de la littérature. Une liste de points rédigée dans un langage clair et simple synthétise chaque section. Les sections sont divisées en thèmes qui peuvent être sommairement organisés selon le modèle de la CIF :

- La section 3 se concentre sur les personnes et les activités dans l'environnement bâti en examinant la manière dont le son et le bruit peuvent affecter les individus qui ont certains handicaps.
- La section 4 porte sur le facteur environnemental de l'acoustique des espaces bâtis, et notamment sur la notion de création d'un espace acoustique accessible.
- La section 5 traite des facteurs personnels et environnementaux des technologies d'assistance et de la manière dont ces dernières peuvent être utilisées pour améliorer le fonctionnement des individus dans l'espace.
- La section 6 examine les normes existantes relatives au son et à l'acoustique, en décrivant les éléments mesurés et le rôle de l'accessibilité et du handicap dans l'élaboration des normes.
- La section 7 réunit les résultats dans un ensemble de recommandations qui aideront à bâtir des environnements entièrement accessibles sur le plan acoustique.

3. Son et handicap

La perte auditive est une forme de handicap courante et en nette augmentation. Selon l'Enquête canadienne sur l'incapacité de 2018, plus de 20 % de la population canadienne âgée de plus de 15 ans déclarent que leurs activités quotidiennes sont limitées en raison de difficultés liées au son (Gouvernement du Canada, 2018). Ce nombre devrait croître avec le vieillissement de la population du pays, puisque les changements de santé physique et cognitive liés à l'âge sont les principales causes de perte auditive. Aux États-Unis, environ 15 % des adultes de plus de 18 ans et presque la moitié des plus de 75 ans présentent une perte auditive. L'Organisation mondiale de la Santé estime que d'ici 2050, une personne sur quatre dans le monde vivra avec un certain degré de perte auditive (WHO, 2021). Les difficultés de communications entraînées par une perte auditive affectent un grand nombre d'activités quotidiennes et sont susceptibles d'entraîner une diminution de la participation sociale, une baisse de la qualité de vie ressentie et un sentiment d'isolement (Lind et coll., 2016). Bien que la littérature et la recherche sur le son et les handicaps associés se concentrent généralement sur les obstacles de communication vécus par les personnes sourdes et malentendantes, les individus qui présentent d'autres formes de handicap, souvent invisibles, les rencontrent également. Parmi celles-ci, on retrouve par exemple les troubles de l'apprentissage, le trouble du spectre de l'autisme, les troubles du déficit de l'attention, les troubles de santé mentale, les traumatismes crâniens et autres. Dans tous les cas, le son peut être un facteur handicapant de multiples façons, autant par son absence lorsqu'il est souhaité que par sa présence lorsqu'il ne l'est pas.

3.1. Entendre et écouter

Les conversations dans un environnement bruyant ou avec plusieurs participant(e)s sont les obstacles fonctionnels les plus fréquemment énoncés par les personnes âgées, y compris celles qui utilisent des appareils auditifs (Picou, 2020). Des individus issus de groupes diversifiés, tels que les ancien(ne)s combattant(e)s (Gallun et coll., 2017), les personnes ayant été victimes d'un AVC (Bamiou et coll., 2012), les personnes atteintes du trouble du spectre de l'autisme (TSA) (Dunlop et coll., 2016) et les individus atteints de sclérose en plaques (Gallun, 2021), citent aussi des difficultés liées à l'écoute dans des environnements sonores complexes.

Les tâches combinées que sont entendre (percevoir les sons) et écouter (se concentrer sur les sons et en comprendre le sens) sont composées d'une série de procédés physiologiques et cognitifs qui interagissent entre eux. En utilisant l'écoute dans un environnement bruyant comme cas de figure, cette section offre une vue d'ensemble de ces différents procédés afin de nourrir une discussion sur les obstacles auditifs au fonctionnement quotidien.

Converser dans un environnement bruyant est une activité quotidienne courante accomplie de façon instinctive et inconsciente par plusieurs personnes qui ne sont pas en situation de handicap. Cependant, de nombreuses personnes qui présentent une série de handicaps qui semblent pourtant sans lien apparent avec l'audition décrivent souvent cette activité courante comme un exercice difficile. Le caractère familier de cette tâche dissimule la complexité du processus d'interprétation des fragments de sons isolés du mélange de signaux concurrents et superposés reçus par nos organes auditifs. Cette capacité à se concentrer sur une source sonore en particulier, tout en filtrant celles qui sont concurrentes, est connue sous le nom d'effet cocktail party. Il est supposé que cette faculté se produit

par la création d'un modèle mental de la scène auditive, où les éléments sonores jouent le même rôle que les objets physiques dans une image visuelle (Bregman, 1994; Bronkhorst, 2000; Shinn-Cunningham, 2008).

L'oreille capte les ondes sonores dans l'environnement et les convertit en signaux électriques qui sont envoyés au cerveau. Celui-ci combine les signaux des deux oreilles (écoute binaurale) et construit des objets sonores en utilisant des schémas acquis sur la formation des sons et leurs changements dans le temps. Les éléments sonores de base sont formés par le regroupement de composantes sonores similaires sur le plan du temps, de la fréquence, de l'harmonicité (multiples de la même hauteur tonale) ou des fluctuations d'amplitude. Ces objets à court terme sont reliés dans le temps à l'aide de propriétés de complexité supérieure, telles que la continuité de la hauteur tonale, l'emplacement de la source sonore, et même des concepts acquis comme la langue et la structure grammaticale. Il en résulte un flux auditif d'arrière-plan faiblement suivi, et un flux auditif de premier plan sur lequel il est possible de se concentrer activement pour en comprendre le sens ou en localiser la source.

Bien que cette approche soit décrite comme ascendante, c'est-à-dire de l'oreille vers les caractéristiques de base, puis aux objets de complexité supérieurs, un processus descendant existe également. Dans ce cas, l'attention consciente et les informations issues de la compréhension de la situation influencent le regroupement de caractéristiques de plus bas niveau, l'affectation d'objets à des flux et même la sensibilité à la fréquence au stade de la perception. Les informations susceptibles d'influencer l'attention comprennent l'emplacement de la source souhaitée, son rythme de parole, ainsi que la hauteur tonale et la fréquence de la voix.

En présence d'une seule source sonore dans un environnement calme, les indices acoustiques sont clairs et le flux de premier plan peut souvent être interprété rapidement et de manière fiable sans effort cognitif important. Lorsque la scène devient plus complexe et que d'autres sources s'ajoutent, leurs indices temporels, fréquentiels et spatiaux se confondent avec la source souhaitée, et les indices deviennent plus difficiles à différencier. Dans ce cas, les flux auditifs mettent plus de temps à se former et à se stabiliser, et peuvent contenir des sons en provenance de plusieurs objets, ou présenter des lacunes lorsqu'un objet concurrent bloque l'élément sonore. Le décodage de ces flux incomplets repose alors davantage sur la connaissance de ce qui est entendu, ce qui nécessite un plus grand effort cognitif et une meilleure mémoire de travail. Dans les discussions en groupe, la tâche est encore plus complexe lorsque la conversation change de sujet, qu'il y a des interruptions et que plusieurs personnes parlent, ce qui exige des changements rapides d'attention. Se concentrer sur un(e) nouvel(le) interlocuteur(trice) implique la réinitialisation des voies d'attention descendantes et le redémarrage du processus de formation du flux sonore. Certaines informations du nouveau flux sont perdues lors du changement, de sorte que le signal d'entrée récent doit être mentalement rejoué à partir de la mémoire auditive à court terme pour en récupérer le contenu. Sources (Bregman, 1994; Bronkhorst, 2000; Buschman & Miller, 2007; Conway et coll., 2001; Oxenham, 2018; Pichora-Fuller & Singh, 2006; Shinn-Cunningham, 2008; Shinn-Cunningham & Best, 2008).

3.2. Limitations fonctionnelles résultant du traitement des informations auditives

L'écoute, tout particulièrement dans un environnement bruyant, nécessite l'interaction de nombreuses structures corporelles. Les discussions sur les handicaps auditifs divisent souvent les processus auditifs en systèmes périphériques et centraux; le système auditif périphérique dans les oreilles permet la

conversion des ondes sonores en signaux électriques (audition) et le système auditif central dans le cerveau est responsable de l'interprétation de ces informations (écoute). Les déficiences du système auditif périphérique ont de manière générale fait l'objet de plus d'attention et de recherche, en partie parce qu'elles peuvent être comprises de manière physique et être attribuées à une origine physiologique précise.

a) Perte auditive périphérique

« J'étais sur mon lieu de travail, un restaurant. Dehors, les bruits des travaux d'entretien des rails du tramway monopolisaient l'attention de mon oreille qui n'est pas atteinte. Je peux seulement entendre d'une oreille et le bruit ambiant continu m'empêchait de me concentrer sur les sons dont j'avais besoin. » – Participant(e) à la cocréation

La perte auditive périphérique se caractérise par une diminution de la perception des sons. Les seuils auditifs sont plus élevés, de sorte que les sons faibles ne sont pas audibles et que les autres peuvent être peu clairs ou étouffés. Le niveau sonore n'est pas la seule caractéristique affectée puisque la résolution temporelle et fréquentielle est souvent réduite également, ce qui rend les sons peu clairs mêmes s'ils sont suffisamment forts pour être entendus. L'amplification à l'aide de prothèses auditives, d'implants cochléaires ou même de haut-parleurs peut être utilisée pour augmenter les signaux jusqu'à des niveaux sonores audibles, mais cela ne peut pas restaurer la clarté des indices spectrotemporels. Comme chaque étape du traitement auditif dépend de la précédente, de telles distorsions des informations auditives au début du processus ont des répercussions sur les étapes de traitement de niveau supérieur (Shinn-Cunningham & Best, 2008).

Les causes connues de la perte auditive périphérique sont fort diverses et comprennent (American Speech-Language-Hearing Association, s.d.-b) :

- les facteurs génétiques,
- l'exposition au bruit,
- les tumeurs,
- les infections,
- les effets secondaires des médicaments,
- les traumatismes physiques, et
- le vieillissement.

La perte auditive d'un individu est souvent décrite selon son type, son degré et sa configuration. Cette classification ne détermine pas l'incidence sur l'individu, mais est utile pour décrire son état de santé et aider à prévoir les résultats ainsi que les avantages des traitements ou technologies d'assistance potentiels.

Le *type* de perte auditive est déterminé selon la partie du système auditif qui est affectée. La surdité de transmission est définie par des difficultés du passage des ondes sonores dans ou à travers l'oreille

externe et moyenne. La surdité de perception (ou surdité neurosensorielle) fait référence aux difficultés liées aux voies sensorielles ou neurales de l'oreille interne. Enfin, la surdité mixte indique une combinaison des deux types. Le *degré* de perte auditive indique la sévérité de la déficience fonctionnelle, mesurée par la diminution de la perception par rapport aux niveaux d'audition considérés « normaux ». Il est défini selon une échelle qui regroupe cinq degrés de perte auditive : normale, minime, légère, modérée, sévère, profonde (surdité). La *configuration* décrit les variations du degré de perte auditive pour différentes fréquences. Les sons de haute fréquence ont tendance à transporter moins d'énergie; ils sont donc plus facilement absorbés et dispersés. C'est pourquoi une configuration de haute fréquence est répandue chez les personnes atteintes d'une perte auditive causée par le vieillissement et l'exposition au bruit (American Speech-Language-Hearing Association, s.d.-b).

L'apparition de la perte auditive peut être progressive ou soudaine, et les conséquences peuvent être permanentes, temporaires ou fluctuantes. Par exemple, les infections de l'oreille moyenne sont l'une des principales causes de perte auditive temporaire et fluctuante chez les enfants d'âge scolaire - compte tenu de la fréquence et de la durée de ces infections, on s'attend à ce que, chaque semaine, plusieurs enfants dans toutes les classes soient dans cette situation de handicap invisible (Nelson & Soli, 2000).

La perte auditive a bien souvent des conséquences sur les activités quotidiennes, telles que l'appréciation de la musique ou des sons de la nature, bien que la plus importante conséquence évoquée soit la capacité à comprendre la communication orale, en particulier dans les environnements bruyants. Les difficultés de communication, et la stigmatisation réelle ou perçue qui y est associée, peuvent limiter la participation et la performance dans un large éventail d'activités telles que l'apprentissage, le travail, la communication avec des partenaires et d'autres formes d'interaction sociale. Le fait d'éviter les situations sociales ou d'en être exclu conduit également à des sentiments d'isolement, de solitude et d'incompétence (Bennett et coll., 2021). Cet isolement social est l'un des facteurs susceptibles d'expliquer que la perte auditive peut contribuer au déclin cognitif, plutôt que d'en être le simple résultat (Lin et coll., 2013).

b) Trouble du traitement auditif

Le trouble du traitement auditif (TTA) se définit comme une « difficulté à interpréter les informations sonores dans le système nerveux central » (American Speech-Language-Hearing Association, 2005) [traduit par nos soins]. Les interactions complexes entre les processus auditifs centraux et les facteurs individuels confondants, tels que la neuroplasticité et la compensation dans le cerveau, signifient que les personnes atteintes du TTA présentent un grand nombre de symptômes potentiels à divers degrés de sévérités.

Alors que les déficiences auditives périphériques peuvent être identifiées grâce à des tests audiométriques qui fonctionnent avec des tonalités pures dans un environnement d'écoute contrôlé, il n'existe pas de critères de diagnostic ou de classifications normalisés pour le TTA. Ceci, combiné à la forte cooccurrence et à l'interaction avec d'autres problèmes de santé, a entraîné un débat dans la communauté des neurosciences auditives au sujet du TTA qui, d'un côté, le définit comme un problème distinct et de l'autre, comme un ensemble de symptômes liés à différentes maladies (D. R. Moore, 2018).

Ce discours constitue un obstacle important pour les personnes atteintes du TTA puisqu'il a causé une diminution de la recherche, une absence de diagnostic, un rejet des symptômes et un manque d'accès aux options de traitement. Cet obstacle est désormais reconnu, même par ceux(celles) qui s'opposent à l'officialisation du TTA en tant que diagnostic distinct (D. R. Moore, 2018).

Les discussions sur le TTA sont moins sujettes à controverse chez les audiologistes. Informés par leurs rencontres cliniques avec leur clientèle, ils accordent moins d'importance à l'identification du mécanisme précis de la déficience (en d'autres mots, à l'identification du « siège de la lésion ») et considèrent le TTA comme un problème de santé distinct qui se caractérise par ses retombées sur l'individu. Cette perspective se reflète dans les prises de position des organisations nationales d'audiologie, notamment au Canada (Millett et coll., 2012), au Royaume-Uni (D. Moore et coll., 2018) et aux États-Unis (Musiek et coll., 2010).

Le TTA est un déficit du système nerveux auditif central, affectant les processus par lesquels les caractéristiques sonores de bases sont combinées pour former des objets de complexité supérieure dans la scène acoustique. Il s'agit d'une limitation des activités auditives dans le traitement temporel et binaural des sons, notamment pour relier les sons dans le temps, classer les sons, identifier les lacunes et les changements dans les sons, percevoir la tonalité ainsi que localiser et identifier la source d'un signal (Millett et coll., 2012). Nombre de ces éléments sont utilisés pour créer et maintenir des flux auditifs, de sorte que les personnes atteintes du TTA évoquent souvent des difficultés à écouter ou à comprendre, en particulier dans des environnements bruyants ou lorsqu'elles sont confrontées à un débit de parole rapide ou altérée (Bamiou et coll., 2001). La réduction de la capacité à percevoir la hauteur tonale peut également entraîner des difficultés à jouer ou à apprécier la musique et à comprendre les changements de prosodie utilisés pour véhiculer des signaux sociaux comme l'émotion ou le sarcasme (American Speech-Language-Hearing Association, s.d.-a).

L'éventail des régions cérébrales impliquées dans le traitement auditif et la plasticité du cerveau signifient que les symptômes collectivement décrits comme ceux du TTA peuvent se développer de façon inattendue, souvent comme un effet secondaire négligé d'autres problèmes de santé, y compris :

- **Traumatisme cérébral** – les études menées auprès d'ancien(ne)s combattant(e)s qui ont été exposé(e)s à des attaques à l'explosif (Gallun et coll., 2016; Tepe et coll., 2020), d'athlètes qui ont subi des commotions cérébrales dans le cadre de leur activité sportive (Turgeon et coll., 2011), et d'individus qui ont eu des traumatismes cérébraux légers (TCL) (Hoover et coll., 2017) ont révélé que plus de la moitié d'entre eux avaient des difficultés à parler dans un environnement bruyant, que ce soit dans le cas de situations réelles ou contrôlées, et cela malgré des seuils auditifs « typiques ». Ces symptômes peuvent perdurer pendant des années après que la blessure initiale soit considérée comme guérie.
- **Accident vasculaire cérébral** – les études sur les personnes victimes d'accidents vasculaires cérébraux (AVC) ont montré qu'une grande proportion d'entre elles présentaient des déficits de traitement auditif persistants. Dans de nombreux cas, le trouble n'avait pas été diagnostiqué ni identifié par les individus concernés (Bamiou et coll., 2012; Koohi et coll., 2017; Purdy et coll., 2016).
- **Sclérose en plaques** – la sclérose en plaques affecte les voies de communication du système nerveux, ce qui peut déformer les indices binauraux. Les personnes atteintes de cette maladie

ont moins de facilité à localiser les sons et à communiquer dans des environnements acoustiques complexes (Iva et coll., 2021; Levine et coll., 1993).

- **Vieillesse** – les changements liés à l'âge dans les structures auditives physiques rendent la perte auditive périphérique très fréquente chez les personnes âgées, mais cette perte périphérique n'explique pas entièrement les difficultés auditives observées dans des environnements complexes (Murphy et coll., 2006). Les processus impliqués dans la compréhension de la parole dans les environnements bruyants dépendent fortement de la mémoire de travail pour rejouer mentalement et extraire des informations de sources sonores multiples. Or, le déclin des capacités mnémoniques lié à l'âge peut altérer la mémoire de travail. Le trouble du traitement auditif survient également lorsque le déclin cognitif de façon plus général et la neuroplasticité entraînent une réorganisation et une redistribution des ressources cognitives. Les pertes auditives périphériques et centrales peuvent également se renforcer mutuellement lorsque les processus auditifs spécialisés deviennent moins efficaces et donc moins sollicités (Peelle et coll., 2010; Pichora-Fuller & Singh, 2006; Stach et coll., 1990).

Les symptômes du TTA sont également fortement associés aux troubles qui affectent la mémoire, l'attention et le traitement sensoriel :

- **TDAH** – la relation entre le TDAH et le TTA est si forte que les recherches ont tenté de déterminer si l'un des troubles n'était pas en réalité une manifestation de l'autre. Les deux sont associés à l'intégration sensorielle et à l'attention, et leurs conséquences sont très similaires, en particulier sur les jeunes élèves et leurs capacités d'écoute, de compréhension et d'apprentissage en classe (Bamiou et coll., 2001; Riccio et coll., 1994).
- **TSA** – les personnes qui ont un TSA déclarent souvent avoir des difficultés à distinguer la parole du bruit en arrière-plan (Alcántara et coll., 2004). Plutôt que d'être le résultat d'un fonctionnement auditif réduit, cela peut être dû à une perception accrue des éléments sonores de bas niveau (Mottron et coll., 2006) et des sons qui ne sont pas au centre de l'attention (Remington & Fairnie, 2017). Davantage de détails sont extraits des indices auditifs et plusieurs flux auditifs sont maintenus en parallèle avec le premier plan, ce qui entraîne une surcharge sensorielle dans les environnements complexes.

Parmi les autres causes connues du TTA figurent les tumeurs, les facteurs génétiques, les circonstances prénatales et néonatales, et l'exposition aux neurotoxines (American Speech-Language-Hearing Association, s.d.-a). Cette liste est présentée à titre d'exemple et n'est pas exhaustive. Pour de nombreuses personnes, les causes sont multiples ou inconnues, mais cette incapacité à attribuer une origine précise n'en réduit pas les répercussions sur l'individu.

3.3. Réponses au son et au bruit

Nous sommes entouré(e)s de sons, et lorsque nous pouvons les distinguer, nous ne pouvons pas nous en « détourner ». Ce que nous percevons est toujours un mélange de sons désirés et de bruit. L'exposition au bruit environnemental, tel que le bruit des activités industrielles, des chantiers de construction ou des transports, a souvent des effets négatifs importants sur la santé cardiaque, les capacités cognitives, la qualité du sommeil et le bien-être de manière général (Organisation mondiale de la Santé, 2011). Le bruit, en particulier les bruits irréguliers ou les sons dont le contenu est pertinent

comme la parole, peut perturber la compréhension du langage, même lorsque les informations sont présentées à l'écrit (Larsby et coll., 2005). La présence de bruit, ou de tout son qui présente des caractéristiques spécifiques de niveau, de temps ou de fréquence, est également susceptible de provoquer de fortes réactions émotionnelles et physiques, et de constituer un obstacle à l'accomplissement des activités quotidiennes. Les troubles de la santé affectés ou caractérisés par des réactions au son et au bruit sont notamment les suivants :

- **TSA** – la littérature comportementale et neurophysiologique fournit de nombreuses preuves d'un traitement atypique des informations auditives chez les individus qui ont un TSA (O'Connor, 2012). Outre le TTA, ces personnes présentent couramment une tolérance réduite aux sons forts (hyperacousie) (Rosenhall et coll., 1999) et une intensité perceptive accrue de certains sons, notamment les sons soudains (abolements de chien, toux) ou les sons continus et aigus (appareils électriques ou éclairage) (Grandin, 1992; O'Connor, 2012). Ces sons peuvent provoquer des réactions émotionnelles et physiques intenses, et favorisent les comportements stéréotypés (M. Kanakri, 2017); de ce fait, les recommandations en matière de conception d'espaces adaptés à l'autisme soulignent l'importance du contrôle du bruit (Kanakri et coll., 2017; Mostafa, 2008).
- **Hyperacousie et misophonie** – les intenses réactions aux sons forts (hyperacousie) ou courants (misophonie) ne sont pas propres aux personnes qui présentent un TSA et peuvent avoir des effets généralisés sur l'attention, la concentration, le sommeil et le bien-être émotionnel (Tyler et coll., 2014; Vitoratou et coll., 2023).
- **Santé mentale et anxiété** – la présence ou l'anticipation de sons soudains, forts ou désagréables est à même de provoquer une réponse négative (Jüris et coll., 2013) et de diminuer la capacité de certains individus qui présentent des troubles de santé mentale à se concentrer dans un environnement bruyant (Pfleiderer et coll., 2010). Il a été démontré que l'exposition prolongée au bruit augmente de manière significative le risque de certains troubles de santé mentale, comme le montre la relation établie entre le bruit des avions et la dépression (Hegewald, Schubert, Freiberg, et coll., 2020).
- **Troubles de l'apprentissage** – la relation entre le traitement auditif et les troubles de l'apprentissage a été fortement contestée (Dawes & Bishop, 2009). Le personnel professionnel, tel que les enseignant(e)s et les audiologistes, a observé une forte corrélation entre les symptômes, ce qui a soulevé la supposition que le TTA était à l'origine de certains troubles de l'apprentissage. La recherche n'a cependant pas été en mesure de démontrer cette relation. Malgré tout, il a pu être clairement établi que certains types de troubles de l'apprentissage basés sur le langage reposent sur un traitement phonologique précis du langage oral ou écrit. En raison de difficultés liées à des éléments tels que le mélange des sons, l'élision ou l'isolation des phonèmes, toute barrière auditive externe est susceptible d'amplifier les limitations fonctionnelles liées à un trouble de l'apprentissage.

- **TDAH** – un son, en fonction de son type et de la situation, il peut agir à la fois comme une distraction ou comme un stimulant. Les sons non pertinents et perturbants peuvent avoir une incidence sur les performances des personnes ayant un TDAH dans les tâches auditives (Freyaldenhoven et coll., 2005) et non auditives (Pelletier et coll., 2016), tandis que les bruits blancs ou autres bruits aléatoires sont à même d’augmenter la stimulation et les performances cognitives (Söderlund et coll., 2007).

« ... Tard dans la nuit, alors que j’essayais d’étudier ou de dormir, j’entendais souvent des bruits dans la cage d’escalier à côté de ma chambre (portes qui s’ouvrent et se ferment, bruits de pas qui montent et descendent les escaliers). Il était alors incroyablement difficile pour moi de me concentrer et, chaque fois que ça se produisait, j’étais de plus en plus irritable. En tant que personne qui a un TDAH, j’ai du mal à me concentrer, et chaque fois que j’arrivais enfin à me mettre “en mode concentration” pour étudier, ces bruits m’en sortaient. » – Participant(e) à la cocréation

- **Déficience visuelle** – les personnes aveugles se basent souvent sur des informations acoustiques pour obtenir une perception de l’espace et pour s’orienter ou se déplacer (Ryhl, 2013). Les informations sonores sont donc davantage considérées et les régions du cerveau habituellement utilisées pour le traitement visuel sont capables de se réorganiser pour traiter les informations auditives (Bavelier & Neville, 2002; Kujala et coll., 1997), ce qui permet d’améliorer le traitement des scènes auditives et d’obtenir un flux auditif plus précis (Boroujeni et coll., 2017).

« (J)’étais dans un magasin de vente au détail; le son était une musique forte diffusée par un système de sonorisation dans tout le magasin. Je suis aveugle et je me déplace avec l’aide d’un chien d’assistance. Je dois dire au chien “gauche, droite, droite, etc.” pour atteindre les différentes sections du magasin. J’essayais de trouver les files d’attente des caisses. Sans musique, j’aurais pu me servir des bips produits par les lecteurs de codes-barres comme outil de repérage, mais je ne pouvais pas les entendre avec la musique. » – Participant(e) à la cocréation

Tout comme la section consacrée au TTA, la liste des troubles présentée ici n’est pas exhaustive. Aussi, les limitations fonctionnelles dues au traitement auditif et à l’hypersensibilité sensorielle ont de nombreuses causes sous-jacentes communes et peuvent coexister et interagir chez une même personne.

3.4. Recherche – Effets des sons et des bruits sur des étudiant(e)s en situation de handicap

Deux études ont été menées afin de recueillir différents points de vue d'étudiant(e)s en situation de handicap sur les répercussions de l'acoustique dans leur environnement d'apprentissage et sur le campus. Une équipe de recherche de l'Université Carleton a réalisé ces études, qui consistaient en un sondage en ligne et des entretiens individuels, en collaboration avec des étudiant(e)s inscrits au bureau des services aux étudiants en situation de handicap de l'Université de Carleton, connu sous le nom de Centre Paul Menton (CPM).

Objectif de la recherche

L'objectif principal des deux études menées, à savoir le sondage et les entretiens, était d'examiner les conséquences des sons et des bruits sur les activités quotidiennes du campus pour des étudiant(e)s inscrits au CPM. Plus précisément, nous avons cherché à mieux comprendre 1) les difficultés engendrées par les sons et les bruits dans différents environnements du campus, et 2) comment ces défis sont surmontés par l'utilisation de technologies d'assistance.

Méthodes

Sondage en ligne :

Dans le but précis de recueillir leur témoignage sur les obstacles et les besoins en matière d'acoustique, le sondage en ligne a interrogé des étudiant(e)s en situation de handicap au sujet de leur utilisation des technologies d'assistances au sein de leur environnement d'apprentissage à l'Université Carleton. Sous la forme de questions à choix multiples, le sondage, qui a été approuvé par le Comité d'éthique de la recherche de l'Université Carleton, a été transmis par courrier électronique aux étudiant(e)s inscrits au CPM par le personnel de soutien et est resté actif pendant plus de deux mois. Puisqu'il était anonyme et sur la base du volontariat, afin d'assurer l'anonymat des participant(e)s, ceux(elles)-ci n'ont pas reçu de compensation financière (qui aurait permis de les identifier).

Entretiens individuels :

Après le sondage, dans le but d'obtenir une compréhension plus approfondie des expériences et besoins des répondant(e)s, nous avons organisé et mené des entretiens individuels. Cette étude, qui demandait aussi un certificat d'éthique, a été approuvée par le Comité. Les étudiant(e)s ont participé à une entrevue d'une durée de 30 à 60 minutes sur la plateforme Zoom, au moment qui leur convenait le mieux. L'audio des séances a été enregistré par Zoom et retranscrit ultérieurement. Les participant(e)s ont reçu une compensation financière en guise de remerciement pour leur temps.

Résultats

Voici un résumé des principales conclusions de l'étude du sondage en ligne :

Le sondage a été transmis par courriel aux plus de 3000 étudiant(e)s inscrit(e)s au CPM. Le premier jour, nous avons reçu 100 réponses. Après environ 3 mois de collecte de données, un total de 212 réponses ont été recueillies. Le sondage demandait aux répondant(e)s d'indiquer les défis potentiels liés aux sons et aux bruits qui sont susceptibles d'avoir des répercussions sur leurs activités à différents endroits sur le campus, ainsi que leur manière de surmonter ces éventuelles difficultés à l'aide de stratégies technologiques ou non technologiques.

- Près de 90 % des étudiant(e)s qui ont participé à cette étude présentent au moins l'un des troubles suivants : trouble du déficit de l'attention, avec ou sans hyperactivité, et trouble d'anxiété généralisée ou sociale (environ 50 %), trouble du spectre de l'autisme (environ 20 %), hypersensibilité auditive ou sensorielle, ou encore difficultés de traitement de l'information (environ 20 %).
- Environ 70 % des participant(e)s ont déclaré avoir de multiples handicaps ou problèmes de santé qui créent des difficultés liées aux sons et aux bruits, ce qui affecte leurs activités sur le campus.
- Près de 90 % des participant(e)s utilisent des casques antibruit, des bouchons d'oreille ou des écouteurs à annulation active du bruit.
- Plus de 30 % des répondant(e)s écoutent de la musique pour bloquer les bruits ambiants et pour favoriser la concentration.
- Plus de 40 % des participant(e)s pensent qu'il n'y a pas de solution viable aux problèmes qu'ils(elles) rencontrent sur le campus et évitent ou quittent par conséquent les lieux qu'ils(elles) ne peuvent pas supporter.
- Les participant(e)s ont indiqué que moins de 40 % de leurs professeur(e)s utilisent les microphones mis à leur disposition dans les grands amphithéâtres.
- De nombreux répondant(e)s ont indiqué qu'ils(elles) se fiaient aux diapositives de cours et aux notes fournies par les enseignant(e)s ou par des preneur(euse)s de notes bénévoles.

Cette étude a révélé des obstacles liés au son et aux technologies d'assistance, tout en soulignant l'importance des handicaps non visibles. Elle a mis en évidence la nécessité d'une recherche plus approfondie, ce qui a conduit à l'élaboration de la deuxième étude, sous la forme d'entretiens, au cours de laquelle les participant(e)s ont pu partager plus ouvertement leurs expériences. 27 étudiants(e)s issu(e)s du groupe de participants(e)s de la première étude ont répondu à des questions similaires à celles du sondage lors d'un entretien de 30 à 60 minutes. Les questions de cette étude étaient cependant ouvertes, plutôt que des réponses à choix multiples, ce qui a permis aux participant(e)s de développer leurs réponses.

Voici un résumé des principales conclusions tirées des entretiens individuels :

- Les casques antibruit ou à annulation du bruit font partie intégrante de l'expérience scolaire de certain(e)s étudiant(e)s. Malgré tout, l'utilisation de ces technologies d'assistance génère chez eux(elles) un certain nombre d'inquiétudes concernant notamment la peur de paraître impoli aux yeux des membres du corps professoral et de leurs collègues, la peur de voir leur handicap révélé aux autres, le coût assez dispendieux des appareils et la crainte de compromettre leur sécurité (étant incapables d'entendre un danger potentiel dans leur environnement).
- Certain(e)s enseignant(e)s ne répondent pas adéquatement aux besoins des étudiant(e)s, bien que ceux(elles)-ci soient inscrit(e)s au CPM et qu'ils(elles) aient droit à des mesures d'adaptation. Par exemple, des étudiant(e)s ont signalé que des membres du corps professoral oubliaient d'utiliser un microphone, d'activer les émetteurs de signaux FM ou d'ajouter des sous-titres aux vidéos.
- Des étudiant(e)s ont demandé à ce que les informations sur les technologies d'assistance soient plus largement diffusées, et ont exprimé le souhait que la communauté universitaire soit

davantage sensibilisée à l'importance des technologies d'assistance, ainsi qu'à l'importance d'avoir des environnements calmes et accessibles sur le campus

- Des étudiant(e)s en situation de handicap espèrent que les membres de la communauté universitaire qui ne sont pas en situation de handicap pourront recevoir une formation ou des informations pour aider l'ensemble de la communauté de Carleton à mieux comprendre ses membres en situation de handicap ainsi que leurs besoins.
- Des étudiant(e)s ont souligné le caractère onéreux des technologies d'assistance. Ils souhaiteraient que des subventions ou des bourses leur soient accordées pour atténuer la charge financière que représentent leurs technologies d'assistance.

3.5. Résumé de la section

- Écouter dans un environnement bruyant est une tâche complexe qui exige la collaboration entre les structures auditives de l'oreille qui captent l'énergie sonore et les régions du cerveau qui traitent les sons et le langage pour décoder et extraire le sens des signaux sonores.
- La surdité est une forme de handicap répandue qui devient de plus en plus courante avec le vieillissement de la population canadienne. La perte de l'audition peut rendre certains sons faibles plus difficiles à entendre et rendre les autres moins clairs. Les prothèses auditives permettent d'augmenter le volume sonore, mais ne rendent pas tous les sons plus clairs.
- Il est de plus en plus reconnu que les personnes qui présentent des lésions cérébrales, un trouble du spectre de l'autisme, de l'anxiété, un trouble de l'attention et certaines déficiences cognitives auditives sont susceptibles d'avoir des difficultés à comprendre la parole, en particulier dans des environnements bruyants. Des différences dans le traitement du son   l'intérieur du cerveau peuvent rendre plus difficile la concentration sur un seul son lorsqu'il y a des bruits ou des  chos. Beaucoup de ces personnes ne sont pas conscientes qu'elles ont des difficultés auditives.
- Les sons et les bruits ne se limitent pas à compliquer la compréhension de la parole. En effet, le bruit peut complexifier la concentration, l'apprentissage et le travail. Il peut également aggraver les problèmes de santé mentale, réduire le sommeil et provoquer de l'anxiété.
- Une meilleure technologie est nécessaire pour réduire les bruits indésirables sans supprimer les sons souhaités. Actuellement, les personnes atteintes d'une hypersensibilité aux sons doivent souvent choisir entre vivre avec ces bruits ou devoir bloquer tous les sons.
- Pour surmonter les préjugés à l'égard des technologies d'assistance utilisées pour réduire le bruit, il faut davantage d'éducation, de sensibilisation et de compréhension des effets néfastes des bruits indésirables.

4. L'acoustique de l'environnement bâti

L'acoustique de l'environnement bâti se définit comme la totalité des sons que nous percevons dans les lieux d'habitation et de travail cr s par des êtres humains. L'espace influence les sons qui le remplissent, et ceux-ci faonnent à leur tour notre expérience de ces endroits. En effet, le lieu et les activités au sein d'un espace définissent les sons qui y sont émis tandis que la configuration de

l'environnement et les matériaux utilisés pour sa construction déterminent les sons qui peuvent y pénétrer et la manière dont ils se comportent.

4.1. Son et bruit

Certains sons partagent des informations de façon intentionnelles; la parole en est un exemple important, tout comme les sirènes, les alarmes, et la musique. Certains sont indirectement porteurs d'informations; le son d'un train qui s'approche ou les bruits de pas peuvent indiquer les mouvements, mais aussi la direction des objets. Les sons que l'on ne souhaite pas entendre se qualifient de bruits. La différence entre les deux est subjective puisqu'elle dépend du lieu, mais aussi de l'activité qui y est pratiquée.

Puisque chaque son peut se révéler être un bruit, ils sont souvent catégorisés selon leur hauteur tonale ou leur timbre, leur durée et leur prédictibilité. Par exemple, le bourdonnement d'une autoroute lointaine est constant, prévisible et de basse fréquence, alors que le ronflement d'un réfrigérateur ou d'un éclairage défectueux est intermittent et de fréquence moyenne à élevée, et que l'aboïement d'un chien ou le claquement d'une porte est inattendu, momentané et contient un mélange de fréquences.

Les bruits dans un environnement sont définis selon leur source (« d'où viennent-ils ») et leur mode de transmissions (« comment sont-ils arrivés ici ») :

- Le *bruit ambiant* inclut tous les sons de l'activité humaine à l'extérieur du bâtiment (World Health Organization, 2011). Bien qu'il puisse comprendre le bruit des terrains de jeux et de la musique, il s'agit la plupart du temps du bruit des chantiers de construction et des activités industrielles, ou bien le bruit des moyens de transport, tels que le trafic automobile, ferroviaire et aérien. Ces bruits mécaniques se propagent dans l'air jusqu'aux bâtiments. Grâce à leur basse fréquence, ils ne sont pas facilement absorbés et s'entendent sur de longues distances. Leur fréquence ne varie pas beaucoup et a généralement un niveau constant sur de courts intervalles de temps, même s'il peut varier au cours de la journée (par exemple, à l'heure de pointe). Le choix d'un endroit calme, l'utilisation de dispositifs de blocage du bruit à grande échelle, tels que les risbermes, ainsi que l'isolation acoustique et d'autres caractéristiques de la conception extérieure du bâtiment permettent de contrôler le bruit ambiant.
- Le *bruit mécanique* provient de tout système mécanique qui se situe à l'intérieur du bâtiment. Il s'agit le plus souvent du chauffage, de la ventilation et de la climatisation (CVC). Tout comme les bruits ambiants qui proviennent de machines, les bruits mécaniques sont composés de basses fréquences, ce qui leur permet de se propager sur de longue distance, surtout par les conduits d'aération et les vibrations structurelles. Bien que le niveau de fréquence soit toujours faible, il varie en fonction du mode de fonctionnement des appareils. Le bruit mécanique est contrôlé par la conception du système de CVC, l'isolation des conduits et l'isolation acoustique entre les espaces.
- Le *bruit lié à l'activité* provient des activités à l'intérieur du bâtiment, dans la même pièce ou dans les pièces adjacentes. Il peut s'agir d'un large éventail de sons tels que des voix, de la musique, ou bien des équipements comme les ventilateurs et les ordinateurs. La fréquence et la durée de ces sons sont variables, ce qui les rend plus difficiles à filtrer pour les utilisateur(s) de l'espace. Les sons qui proviennent d'espaces adjacents se propagent dans l'air (par exemple, les voix) ou à travers les structures (par exemple, les bruits de pas) et sont contrôlés à l'aide de la conception structurelle et de l'isolation acoustique.

4.2. Réflexion et échos

Les échos dans un couloir m'aident à localiser les toilettes. Les sons qui viennent de l'extérieur m'aident à trouver les portes. Les sons qui proviennent du sol m'aident à suivre les mouvements des autres. – Participant(e) à la cocréation

Le comportement d'une onde sonore lorsqu'elle se heurte à une surface dépend des propriétés acoustiques de ladite surface (Long, 2005) :

- Les matériaux doux et poreux, comme la mousse, la fibre de verre, les tapis et les panneaux acoustiques utilisés dans les plafonds suspendus, absorbent les sons, ce qui transforme leur énergie en chaleur et réduit leur intensité.
- Les surfaces dures et lisses, comme le béton, le métal et le verre réfléchissent les sons sans diminuer leur énergie, ce qui donne des réflexions distinctes et des échos audibles.
- Les surfaces irrégulières diffusent les ondes sonores dans de multiples directions, créant un champ sonore diffus sans source apparente, plutôt que des échos distincts.

Les réflexions sonores qui arrivent à l'oreille tout de suite après le son d'origine fusionnent par le biais de nos systèmes auditifs, ce qui amplifie le son et le rend plus facile à entendre. Nous entendons les réflexions plus tardives comme des échos. S'il y a une grande quantité d'échos, cela devient des réverbérations qui masquent ou brouillent le son d'origine, transformant le signal désiré en bruit. Les environnements réverbérants multiplient également les effets du bruit en lui permettant de s'accumuler au lieu de s'atténuer. Ces niveaux sonores accrus amènent les gens à élever inconsciemment la voix dans les conversations par un processus appelé l'effet Lombard (Garber et coll., 1976), ce qui augmente encore plus le niveau sonore.

Les échos et les réverbérations ne sont pas toujours accidentels ou indésirables. Les réflexions sur les murs voisins, ou l'absence de réflexions dans les entrées de porte ou les cages d'escalier fournissent des informations non visuelles sur la structure d'un espace et sur ses caractéristiques. Dans les salles de concert, les réflexions sont soigneusement contrôlées et façonnées pour créer le riche mélange d'instruments de musique dans une représentation symphonique, et dans les lieux de culte, elles sont pensées pour renforcer la voix de l'orateur(trice) sans système d'amplification sonore (Kahn, 2021).

4.3. Conception acoustique et éducation

La configuration d'un espace et les propriétés acoustiques des matériaux qui le composent déterminent la façon dont les sons vont s'y comporter, appelée « caractère acoustique ». L'acoustique architecturale est l'art et la science de créer des lieux avec un « bon » caractère acoustique. Dans ce contexte, le terme « bon » est subjectif et les paramètres clés diffèrent selon le type de lieu. Par exemple :

- Les environnements de travail nécessitent une intimité acoustique entre les postes de travail, une grande intelligibilité de la parole pour le travail collaboratif et de faibles niveaux de bruit distrayants pour favoriser la concentration.

- Les environnements éducatifs exigent une bonne transmission du son et une grande intelligibilité de la parole pour l'enseignement, ainsi que de faibles niveaux de bruits parasites pour favoriser la concentration.
- Les restaurants privilégient une intimité acoustique entre les tables, une grande intelligibilité de la parole entre les client(e)s d'une même table et un champ de bruit diffus pour favoriser un sentiment de convivialité et d'anonymat (Roy, 2019).

Historiquement, la conception acoustique était basée sur des modèles et des principes issus de l'expérience et de l'expérimentation; les bonnes constructions étaient mises à l'échelle, reproduites et améliorées. Il reste des exemples réussis de ces conceptions, comme les théâtres grecs et romains où des milliers de spectateur(trice)s pouvaient entendre les artistes sans système d'amplification sonore (Long, 2005; Sheridan & Van Lengen, 2003). Bien que le caractère acoustique de ces structures continue d'impressionner l'auditoire, ce processus de conception itératif ne se prête pas à des formes et des dimensions arbitraires. Ce n'est qu'au 20^e siècle qu'apparaît l'acoustique architecturale moderne, fondée sur une compréhension scientifique du son et de la science des matériaux (Long, 2005).

Le besoin d'améliorer les lieux de performances, tels que les théâtres et les salles de concert, à encourager l'étude de l'acoustique architecturale (Milo, 2020), mais pour les environnements de la vie quotidienne, c'est un aspect de la conception qui reste grandement négligé. L'architecture est considérée comme un art essentiellement visuel et son appréciation est le plus souvent décrite par son attrait visuel (Sheridan & Van Lengen, 2003). La sensation visuelle est plus facile à comprendre et à reproduire. En effet, un croquis, un modèle ou une photographie peuvent transmettre ces aspects d'une structure, mais la réponse d'un lieu au son est dynamique et doit être vécue.

À la suite d'entrevues avec des architectes de profession, des chercheurs en acoustique architecturale ont constaté que l'acoustique est considérée comme un domaine d'étude spécialisé qui se voit généralement confié à des expert(e)s externes (Harvey, 2021). Dans les cas où les architectes jugent qu'une conception bénéficierait d'une expertise acoustique, ils hésitent tout de même à proposer le coût supplémentaire à la clientèle, qui estime que le service devrait déjà être compris dans le prix. Dans la plupart des cas, les architectes s'appuient sur les données techniques des entreprises manufacturières pour répondre aux exigences en matière de performance acoustique.

La perception de l'acoustique comme d'un domaine distinct de l'architecture se reflète également dans les logiciels utilisés pour la conception acoustique. Les progrès technologiques ont permis la création d'outils de simulation acoustique qui peuvent « sonoriser » une conception (en plaçant des sources sonores virtuelles dans l'environnement et en écoutants les réponses simulées à différents endroits), mais ces outils ne sont pas vraiment intégrés dans le processus de conception en architecture (Harvey, 2021; Peters, 2015). Des enquêtes ont montré que l'utilisation de ces outils est limitée aux grands cabinets d'architectes et aux spécialistes de l'acoustique (Milo, 2020).

De plus, un bilan sur l'enseignement de l'acoustique dans les programmes d'architecture au Canada a révélé que les étudiant(e)s considèrent ce domaine plus étroitement lié à l'ingénierie qu'à l'architecture, une vision qui se reflète dans les cours offerts pour chaque programme : le génie mécanique et le génie civil proposent plusieurs cours sur l'acoustique, les vibrations et le contrôle du bruit, tandis que les programmes d'architecture n'en proposent souvent aucun, ou un seul qui combine éclairage et acoustique (Berardi, 2017). Certain(e)s enseignant(e)s tentent d'améliorer les connaissances de leurs

étudiant(e)s sur le son et sur la façon dont il influence la participation humaine dans les environnements en utilisant de nouveaux outils, tels que des simulations acoustiques à plus petite échelle et des mesures sur le terrain enregistré avec des téléphones intelligents (Berardi, 2017; Milo, 2020; Sheridan & Van Lengen, 2003).

Considérer l'acoustique comme un simple détail de construction plutôt que comme une caractéristique de conception entraîne l'absence de considération des incidences de choix importants, telles que la forme de la pièce, son agencement et ses finitions, sur l'acoustique. Ce n'est souvent qu'après-coup, ou lorsque les problèmes surviennent, que les questions acoustiques sont prises en compte (Sheridan & Van Lengen, 2003). Ce phénomène est courant non seulement dans les structures quotidiennes, mais même dans les espaces conçus spécifiquement pour une utilisation sonore, comme dans le cas des récentes rénovations de la salle de spectacle de l'Orchestre philharmonique de New York. Des modifications drastiques ont été nécessaires pour améliorer la sonorité, car les tentatives précédentes ne pouvaient pas résoudre le « défaut irrémédiable inhérent à la forme de la pièce » (Nathoo, 2019; Reyes, 2023) [traduit par nos soins].

4.4. Acoustique inclusive et accessible

Une réflexion devrait être menée au stade de la conception de nouvelles structures destinées à offrir des services, afin de s'assurer que l'environnement bâti atténue le bruit, même en l'absence de technologie, pour garantir une communication maximale. Les technologies d'amplification ne sont plus disponibles en cas de panne d'électricité et d'échec comportementale, mais l'environnement bâti peut être une constante en matière d'adaptation. – Participant(e) à la cocréation.

Un environnement accessible sur le plan acoustique minimise les sons distrayants et nuisibles tout en façonnant le mouvement des sons pour faciliter la communication et l'orientation. Dans les dernières décennies, une recherche auprès de jeunes élèves a mis en évidence le rôle d'une bonne acoustique dans la promotion d'un environnement d'apprentissage sain et a démontré comment une mauvaise acoustique est en mesure de dégrader l'expérience des élèves et des éducateur(trice)s tout en créant des obstacles importants pour les personnes en situation de handicap auditif. Les plus récents guides de conception des écoles, tels que ceux des États-Unis (Acoustical Society of America, 2010) et du Royaume-Uni (Daniels, 2015), fournissent des normes de performance acoustique qui visent principalement à limiter le bruit et la réverbération afin de faciliter la communication orale.

En dehors des salles de classe, l'accessibilité acoustique a fait l'objet de moins d'attention de la part des équipes de recherches, à l'exception notable de Camila Ryhl. Cette architecte danoise, chercheuse en accessibilité et professeure de conception universelle a étudié l'accessibilité sensorielle du point de vue des utilisateur(trice)s et des concepteur(trice)s. Ryhl a constaté que l'accessibilité acoustique est entravée par une vision de l'accessibilité non pas comme un élément de conception, mais comme un

concept législatif associé à des exigences de caractéristiques de conception spécifiques pour accommoder les utilisateur(trice)s ayant des handicaps, en particulier des handicaps physiques (Ryhl, 2013, 2016a). Cette perspective conduit à des aménagements ciblés qui sont greffés sur une conception existante, plutôt qu'à une véritable approche de conception universelle où la prise en compte de la diversité des utilisateur(trice)s est intégrée dans la conception.

La différence entre ces approches est mise en évidence dans une étude de cas sur la conception du siège d'organisations danoises de personnes handicapées. L'accessibilité était un aspect central de la conception, mais « les quelques spécifications concernant le son étaient principalement liées à la boucle à induction et à d'autres technologies d'assistance » (Ryhl, 2016b) [traduit par nos soins], ce qui explique que les performances acoustiques varient à l'intérieur du bâtiment :

- Concernant les salles de réunion, la spécification prévoyait un temps de réverbération de 0,6 seconde et l'installation de boucles auditives. Les salles de réunion sont des lieux courants et ont donc été conçues avec des approches et des matériaux standards. La mesure du temps de réverbération dans les salles achevées est d'environ 1 seconde. Des entrevues avec les utilisateur(trice)s ont d'ailleurs révélé que la communication dans les salles était difficile et que la bonne performance des boucles auditives était mitigée. Des entretiens avec l'équipe de construction ont montré qu'elle n'a pas considéré la performance acoustique comme un facteur de qualité important puisque la boucle d'induction était déjà une solution pour les personnes malentendantes.
- Pour l'atrium central de cinq étages, la spécification prévoyait un temps de réverbération maximal de 1,6 seconde. En raison des dimensions de la pièce, il n'était pas possible d'atteindre cet objectif avec des conceptions standards, et la qualité acoustique est donc devenue un élément central de la conception. L'environnement présente des surfaces irrégulières et des plantes qui diffusent et absorbent le son. La mesure du temps de réverbération qui en résulte est de 1,3 seconde et les utilisateur(trice)s avec différentes capacités soulignent une expérience acoustique positive de l'atrium.

Dans le cas de l'atrium, les concepteur(trice)s ont réussi à trouver un équilibre entre la volonté de créer un espace ouvert et accueillant, et la nécessité de contrôler le bruit et la réverbération. Lorsque les objectifs de conception sont contradictoires, l'acoustique et l'accessibilité acoustique peuvent être considérées comme des caractéristiques « souhaitables » plutôt que comme des indicateurs clés de performance, de sorte qu'elles sont sacrifiées pour privilégier d'autres éléments.

Un contrôle efficace du bruit et de la réverbération nécessite des surfaces réalisées à partir de matériaux absorbant les sons, matériaux qui sont généralement doux et texturés. Ce besoin entre souvent en conflit avec la nécessité de disposer de surfaces nettoyables et hygiéniques, non poreuses, dures et lisses. Dans les environnements sanitaires, l'exigence de l'hygiène est primordiale, ce qui conduit à l'utilisation de matériaux tels que l'acier inoxydable et le carrelage, et produit des lieux très réfléchissants sur le plan acoustique, avec de longs temps de réverbération et une accumulation de bruit.

Je trouve que le bon type de musique d'ambiance diminue généralement le stress d'un moment d'intense concentration. – Participant(e) à la cocréation

Je n'ai pas entendu de sons indirects dans le bâtiment qui m'aurait permis d'atteindre plus facilement mon objectif. Normalement, les sons indirects sont des bruits ambiants qui perturbent ma concentration. – Participant(e) à la cocréation

Outre les questions d'hygiène, les activités ou l'équipement de certains endroits peuvent entraver les objectifs de confort acoustique et d'accessibilité :

a) Espaces médicaux

Les salles d'urgence et les unités de soins intensifs ont un environnement sonore complexe avec un niveau de bruit de fond créé par des systèmes mécaniques et des conversations multiples, ponctué par des rafales sonores de systèmes de sonorisation et d'équipements de surveillance médicale. Le bruit et le niveau sonore général sont des sources fréquentes de plaintes et sont connus pour être préjudiciables au sommeil et au bon rétablissement des patient(e)s, ainsi qu'à la santé, au bien-être et aux performances du personnel médical (Mackrill et coll., 2014; Salandin et coll., 2011). La fatigue psychologique due aux alarmes est un exemple de préoccupation, car elles sont censées être fortes et difficiles à ignorer, mais la majorité d'entre elles ne donnent lieu à aucune action (Lawson et coll., 2010). De plus, les espaces ouverts et les longs couloirs faits de matériaux réfléchissants qui facilitent les mouvements, mais qui transmettent et retiennent également les sons renforcent les bruits. Dans ces espaces, c'est le besoin de protéger contre les infections, l'usure et le coût qui dictent le choix des matériaux (Busch-Vishniac et coll., 2005).

b) Centres d'hébergement et de soins de longue durée

Ces espaces sont confrontés à des défis de conception en raison de leur double rôle (vie quotidienne et prestation de soins de santé.) Étant donné qu'une grande partie des résident(e)s souffrent d'une forme ou d'une autre de handicap auditif, l'acoustique joue un rôle prépondérant dans de nombreuses activités quotidiennes. La recherche souligne l'importance de l'accès à des sons naturels et désirables pour créer un environnement accueillant et familial (Graham, 2020), ce qui améliore la qualité de vie et les résultats médicaux des résident(e)s (Janus et coll., 2021). Malheureusement, ces besoins acoustiques sont confrontés aux préoccupations sanitaires, de contrôle des maladies, ainsi qu'aux réalités pratiques et économiques de la dotation en personnel et de la prestation des services. Les établissements de soins de longue durée ont plus tendance à ressembler aux hôpitaux qu'à des maisons, avec les mêmes surfaces dures, les mêmes temps de réverbération et la même absence de sons naturels (Graham, 2020). Par exemple, le Guide sur l'aménagement des foyers de soins de longue durée, produit en 2015, ne mentionne qu'une seule

fois l'acoustique et le bruit pour indiquer que la minimisation du bruit est un objectif de conception de la salle à manger (Ontario, 2015).

c) Restaurants

Les restaurants s'appuient sur le niveau sonore pour créer une ambiance à la fois animée et privée. Certaines études montrent que l'augmentation du niveau sonore donne une impression plus positive à la clientèle, les incitant ainsi à passer plus de temps dans l'établissement et à y dépenser plus d'argent (Tarlao et coll., 2021). Ces résultats sont susceptibles d'encourager l'idée erronée selon laquelle « plus c'est fort, mieux c'est », ce qui donne naissance à des lieux excessivement bruyants pour la clientèle et le personnel (Bottalico et coll., 2020; Roy, 2019).

d) Établissements scolaires

Les guides de conception des écoles contiennent des recommandations sur les niveaux de bruit pour les espaces inoccupés, notamment les salles de classe et les espaces de soutien (Acoustical Society of America, 2010; Daniels, 2015). Ces recommandations ne tiennent pas compte des activités et des équipements dans la salle de classe, comme les ordinateurs, les projecteurs et les ventilateurs, bien que ceux-ci puissent interagir avec le bruit de base et les espaces réverbérants pour devenir des obstacles à la communication et à la concentration (Brill et coll., 2018). De même, les équipements des toilettes, tels que les chasses d'eau automatiques puissantes et les sèche-mains, produisent des sons dont les caractéristiques et le niveau peuvent être angoissants, en particulier pour les personnes atteintes d'hypersensibilité sensorielle (Drever, 2017).

Il est possible de résoudre certains différends apparents en reconnaissant que la qualité acoustique n'est pas seulement une préoccupation pour les personnes ayant des handicaps auditifs, de sorte que ce qui est considéré comme des aménagements devrait être reclassé comme des caractéristiques de conception à part entière. Comme le note Ryhl, les personnes en situation de handicap, « en raison de leur sensibilité accrue, peuvent nous informer des détails de l'environnement acoustique auquel nous sommes tous exposé(e)s et, par conséquent, contribuer à fournir des informations importantes sur le rôle de nos expériences acoustiques » (Ryhl, 2016b) [traduit par nos soins].

Dans d'autres cas, les objectifs acoustiques des différents groupes d'utilisateur(trice)s peuvent être fondamentalement opposés, mais il est possible de trouver un compromis en acceptant cette diversité. Le Guide de conception du milieu de travail GC du gouvernement du Canada reconnaît que les individus ont des préférences personnelles et des besoins fonctionnels divers, et recommande des espaces de travail avec différents niveaux de stimulation auditive et visuelle (SPAC, 2022). La création d'un mélange d'espaces collaboratifs et individuels, y compris des zones plus tranquilles au sein des espaces de travail communs, permet aux individus d'exercer un certain contrôle sur l'adaptation de leur environnement.

Lorsque la conception inclusive et soucieuse de la diversité ne peut pas atténuer les conflits de conception, la sensibilisation à l'environnement acoustique peut encourager les individus à agir directement sur la manière dont ils interagissent avec l'espace. Voici quelques exemples pratiques :

- Avis sur les restaurants et applications qui mesurent et signalent les niveaux sonores pendant les repas, ce qui permet à la clientèle de choisir le niveau sonore qu'ils préfèrent et de faire part de leurs commentaires aux restaurateur(trice)s (Roy, 2019).

- Représentation visuelle d'une production cinématographique sous la forme d'une « histoire sonore » qui met en évidence des événements sonores forts ou soudains, pour permettre au spectateur(trice)s qui vivent avec des sensibilités sensorielles de s'y préparer (Renel, 2019).

Dans la plupart des cas, une acoustique accessible signifie simplement une bonne acoustique. En effet, l'impact négatif d'une mauvaise acoustique est universel : les sons forts sont inconfortables et pénibles, les sons déformés sont désagréables, et la communication dans des environnements acoustiques bondés, avec du bruit et de la réverbération, augmente l'effort cognitif. Pour certain(e)s, ces impacts ne sont que des désagréments ou des inconvénients; pour d'autres, ils constituent des obstacles qui les excluent d'une pleine participation (Acoustical Society of America, 2010).

4.5. Recherche – Analyse du paysage sonore de l'Université Carleton

L'expression « paysage sonore » s'emploie pour décrire l'environnement acoustique tel que les humains le perçoivent. Les paysages sonores de l'environnement bâti décrivent les sons que nous percevons dans les espaces d'habitation et de travail créés par des êtres humains. Cela inclut les sons de l'extérieur, de l'infrastructure et des activités réalisées à l'intérieur du lieu. Ces sons interagissent avec l'espace lui-même pour créer l'environnement acoustique dont nous faisons l'expérience. Les récits et les descriptions présentés par les participant(e)s au sondage illustrent clairement que notre expérience du son dans un environnement bâti est entièrement subjective et qu'elle peut aller de l'agréable au nuisible. Afin de contextualiser les situations présentées dans le sondage et de mieux comprendre les réponses et les facteurs qui y contribuent, nous avons mené une enquête informelle sur le paysage sonore des espaces du campus de Carleton décrits par les participant(e)s. Les éléments suivants composent l'analyse :

- Une description de l'environnement physique, ce qui inclut tous traitements ou considérations acoustiques, ainsi que les activités qui s'y déroulent.
- Des mesures de niveau sonore effectuées à l'aide d'un sonomètre conforme à la norme ANSI S1.4 Type II (EXTECH Instruments, n° 407 764). Le réglage « lent » a été utilisé pour enregistrer le niveau sonore de fond moyen qui provient de sources sonores comme les appareils de ventilation, alors que le réglage « rapide » a été utilisé pour les sons qui changent plus rapidement, tels que la parole à proximité et le bruit des mouvements.
- Des enregistrements audio réalisés à l'aide d'un microphone à condensateur électret omnidirectionnel (Dayton Audio EMM-6) et d'une interface audio USB (Focusrite Scarlett 4i4). Ces enregistrements ont été utilisés pour décrire qualitativement les caractéristiques temporelles et fréquentielles des sons.

Les sections suivantes mettent en évidence les principaux éléments des environnements sonores en lien avec les réponses du sondage.

a) Salles de cours et lieux d'enseignement

Puisque les endroits dédiés à l'enseignement sont généralement de grandes zones ouvertes qui accueillent beaucoup de personnes en même temps, ils sont difficiles à gérer sur le plan acoustique. La communication et la concentration sont toutes deux essentielles dans ces locaux, alors leur conception se doit d'équilibrer les besoins contradictoires que sont transmettre la voix de l'orateur(trice) et contrôler le bruit et la réverbération.

Selon les participant(e)s aux sondages, l'obstacle le plus important dans ce genre d'environnement est le bruit. Plus des deux tiers des répondant(e)s ont déclaré avoir des difficultés à se concentrer sur le membre du corps professoral à cause des autres conversations, et une proportion encore plus importante s'est dite confrontée à des problèmes liés à d'autres sources sonores. Les personnes interrogées ont expliqué qu'à cause de l'attention accrue lors d'un cours et du stress lié au fait de se trouver dans un espace public bondé, il est quelquefois plus difficile de faire abstraction des intrusions sonores. L'intelligibilité de la parole est un autre obstacle puisque plus des deux tiers des personnes interrogées ont signalé des difficultés engendrées par le manque de clarté ou le volume sonore trop faible de l'orateur(trice). Les systèmes d'amplification sonore seule ne semblent pas suffisants pour surmonter ces obstacles, car dans la plupart des cas où des difficultés à entendre les locuteur(trice)s ont été signalées, le(la) professeur(e) utilisait un microphone.

Nous avons examiné deux lieux d'enseignement, le premier étant une grande salle de classe qui a une capacité d'accueil d'environ 100 personnes. La salle présente des traitements de surface standards : revêtement de sol en vinyle, cloisons sèches peintes et dalles acoustiques au plafond. Des rangées de pupitres sont composées de longs bureaux à surfaces stratifiées auxquels sont fixées des chaises avec dossiers et sièges rembourrés. Cette salle a été choisie en partie parce que les membres du corps professoral ont nommé l'effet distrayant du grincement des chaises fixées aux bureaux. L'orateur(trice) utilisait un microphone et les haut-parleurs du système se trouvaient à l'avant de la salle, dirigé vers l'auditoire. Le tableau suivant présente les niveaux sonores mesurés à différents moments pendant le cours :

Situation	Niveau sonore (dBA)
ambient (projecteur vidéo et CVC)	39
chuchotements	45 – 60
fermeture de la porte de la salle de classe	68
grincement des chaises	65 – 70
cours magistral (avec microphone)	50 – 65

Le second local est une plus petite salle de classe qui a une capacité d'accueil d'environ 40 personnes. Le traitement des surfaces est similaire à celui de la grande salle : sol en vinyle, murs en pierre et dalles acoustiques au plafond. Les bureaux sont également stratifiés, mais contrairement à la grande salle, les chaises ont des pieds en métal et ne sont pas fixées aux tables. Il y avait un système de microphone, mais le membre du corps professoral ne l'a pas utilisé. Le tableau suivant présente les niveaux sonores mesurés à différents moments pendant le cours :

Situation	Niveau sonore (dBA)
chuchotements (avant l'arrivée du(de la) professeur(e))	50 – 65
remuements et chuchotements (après son arrivée)	45 – 50
friction des chaises sur le sol	85
cours magistral (sans microphone)	50 – 60
cours magistral en regardant le tableau	55

Les données recueillies montrent que le niveau de bruit de fond dans les salles est suffisamment bas pour répondre aux directives ASA-ANSI S12.60 concernant les principaux espaces d'enseignement dans les écoles (Acoustical Society of America, 2010). Ce point est important, puisqu'un niveau de bruit de base élevé peut masquer le discours souhaité et ainsi réduire l'intelligibilité de la parole. Les mesures et les enregistrements montrent également que les claquements de la porte et les bruits de chaises sont plus forts que la voix du locuteur(trice) et qu'ils se produisent soudainement et de manière imprévisible, ce qui les rend plus pénibles et perturbants. Les bruits de chaises ont un contenu tonal important et une grande partie de l'énergie se situe dans les hautes fréquences, deux facteurs qui augmentent la nuisance sonore.

Les mesures semblent également montrer que le niveau du locuteur(trice) sans microphone dans la petite salle de classe est comparable à celui assisté par microphone dans la grande salle de classe, mais l'analyse des fréquences des enregistrements montre que cela ne donne pas une idée complète de la situation. Alors que le niveau général du signal reste constant, on observe une chute brutale du volume de la parole dans les hautes fréquences lorsque le(la) professeur(e) se tourne vers le tableau. Cette différence a un effet potentiel sur la compréhension, car la région des hautes fréquences contient la majeure partie de l'énergie des consonnes de l'anglais qui permettent de distinguer des mots tels que « sit » « fit » et « hit ». En outre, lorsque le(la) professeur(e) fait face au tableau, l'auditoire ne peut plus lire sur les lèvres et ne dispose plus d'autres repères visuels. Comme le montrent les résultats de l'enquête, il y a des limites aux capacités des microphones dans les environnements bruyants. Cependant, par rapport à une voix non assistée, un système d'amplification bien conçu fournit un signal audible sur une plus grande distance et un niveau sonore plus constant lorsque l'orateur(trice) se déplace dans la salle.

b) Zones d'études

Les zones d'étude sur le campus sont des lieux de concentration et d'attention. Il s'agit d'espaces communs où l'étiquette sociale, et parfois les règlements, impose de minimiser les bruits. Cette attente signifie que, contrairement à la plupart des espaces, l'acoustique est souvent une considération primordiale lors de la conception. Les zones d'étude de la bibliothèque que nous avons analysée sont dotées d'éléments absorbant les sons, tels qu'un tapis, des dalles de plafond et des cloisons, ainsi que d'éléments qui les diffusent, tels que des panneaux de bois texturés. Les surfaces absorbantes réduisent les niveaux sonores, tandis que les surfaces diffusantes brouillent l'emplacement des sons afin qu'ils se fondent plus facilement dans l'arrière-plan. La combinaison de ces éléments crée un « paysage sonore » composé d'un bruit de fond uniforme.

Les niveaux de bruit mesurés allaient de 42 dBA, dans l'espace le plus isolé, à 50 dBA dans l'espace le plus proche d'un comptoir de service. Avec le murmure des conversations des groupes d'étude voisins, le niveau de tous les espaces était environ de 55 dBA. Ces niveaux sont conformes au niveau de bruit recommandé pour les bureaux ouverts dédiés au travail individuel (48 dBA) et à la collaboration en petits groupes (52 dBA) (ISO, 2021). Malgré ces caractéristiques de conception et ces niveaux de bruit, de nombreux répondant(e)s à l'enquête ont déclaré avoir rencontré des difficultés dans les zones d'étude du campus, et leurs réponses mettent en évidence la diversité des expériences sonores.

En effet, les réponses illustrent l'éventail des préférences en matière de stimulation auditive. Certains participant(e)s sont hyposensibles et décrivent une incapacité à se concentrer en raison du calme extrême des bibliothèques et des espaces dédiés à l'étude. D'autres ont fait état d'une surcharge

sensorielle, même dans les environnements calmes. Pour certain(e)s, le défi était dû au niveau ou à l'imprévisibilité d'un son, par exemple des bruits forts dans un espace calme. Pour d'autres, c'est le type de son qui les empêche de se concentrer, même si le niveau est faible, ce qui est particulièrement vrai pour les sons porteurs d'informations. Les répondant(s) ont aussi décrit comment les bruits de l'activité humaine, tels que les conversations à proximité, la mastication ou le mouvement des papiers, interrompaient la concentration et l'attention. Pour gérer ces situations, de nombreuses personnes interrogées ont indiqué qu'elles utilisaient des écouteurs à suppression du bruit ou des écouteurs qui diffusent de la musique pour créer un environnement acoustique plus contrôlé et propice à la concentration. Malheureusement, la plupart des personnes interrogées ont déclaré que leur principale stratégie consistait à éviter les espaces communs, ce qui a conduit certaines d'entre elles à s'inquiéter de l'isolement social.

c) Comptoir de services

L'aire de repas du *University Center* (Nideyinàn) offre la possibilité de commander sans contact; les client(e)s passent leur commande sur des tablettes électroniques, les commerces impriment les reçus et il ne reste plus qu'à attendre que la commande soit appelée pour la récupérer. Tous les kiosques de restauration sont ouverts et disposent d'équipements de cuisine en acier inoxydable visibles. Pendant l'heure de pointe des repas, le « paysage sonore » se compose des sons humains provenant des commandes, de la cuisine, des repas et des relations sociales, ainsi que des ronflements, bourdonnements et bips des machines et des caisses enregistreuses. La complexité de la scène acoustique crée des obstacles à la communication, car les sons se chevauchent et se disputent l'attention de l'auditoire.

L'enquête acoustique s'est déroulée durant les examens, donc l'aire de repas n'était pas totalement occupée. Lors d'une heure de pointe (midi), environ 15 personnes (y compris les membres du personnel) se trouvaient dans l'air de repas et le niveau sonore a été mesuré à 70 dBA. Pendant une période plus calme (15 h 30), il y avait environ huit personnes (y compris les membres du personnel) et le niveau sonore est tombé à 65 dBA. Le niveau normal de conversation dans un environnement calme, mesuré à une distance de 1 m, est d'environ 55 dBA. Les individus commencent à élever la voix involontairement à des niveaux sonores d'environ 45 dBA; sachant que communiquer à distance dans un bruit de 70 dBA exige des niveaux de parole considérés comme forts (72 dBA) et très forts (78 dBA) (Lazarus, 1986).

Les personnes interrogées ont décrit cette situation du point de vue des clients et des employé(e)s. Certain(e)s ont évoqué leurs réactions négatives face aux sons de haute fréquence et aux tonalités des machines, et beaucoup ont commenté la difficulté à entendre et à être entendus, ainsi qu'à se concentrer et à comprendre ce qui est dit. Plusieurs répondant(e)s ont fait remarquer que les précautions prises pour la COVID-19 concernant les masques et les écrans en plexiglas présentaient un défi supplémentaire. Pour surmonter ces obstacles, la plupart ont dit avoir recours à des solutions non technologiques, comme demander à la personne de se répéter ou répéter mentalement un « texte » préparé pour leurs interactions. Néanmoins, plusieurs ont indiqué qu'ils omettaient souvent la communication orale et qu'ils préféraient taper directement leurs messages sur un téléphone pour le montrer à leur interlocuteur(trice).

d) Autres espaces

Nous avons également étudié certains lieux qui n'étaient pas mentionnés dans les scénarios du sondage, mais que les participant(e)s avaient évoqués dans leurs commentaires ou dans leurs réponses aux questions ouvertes.

Salles de bain

La salle de bain inspectée est de type universel (unisexe) avec un sol en céramique et des murs carrelés en porcelaine. Une toilette et un lavabo en porcelaine sont situés en face d'un sèche-mains automatique. Une bouche d'aération au plafond produit un bruit de cliquetis audible au-dessus des toilettes, ce qui crée un niveau de bruit ambiant de 45 dBA.

Le carrelage dur et les surfaces inoxydables de la pièce ont été choisis pour des raisons sanitaires, mais ils créent également un espace clos très réverbérant qui retient le son. L'effet est particulièrement perceptible lorsque le sèche-mains à haute puissance de type « jet » fonctionne. Le niveau sonore de base du sèche-mains a été mesuré à 90 dBA et le son émis est une combinaison du souffle de l'air en mouvement et du bourdonnement du puissant moteur. Lorsque les mains sont placées sous le jet d'air, les turbulences ajoutent un sifflement chaotique qui varie en temps et en fréquence en fonction du mouvement des mains; le niveau de ce son a été mesuré à 97 dBA. Le niveau sonore remarquablement élevé de ces appareils et leur effet potentiel sur les personnes atteintes d'hypersensibilité sensorielle ont déjà été signalés (Drever, 2017).

Tunnels

Un réseau de tunnels pour piétons relie les bâtiments de l'Université Carleton. Les tunnels ont des murs et des sols en béton, et des plafonds avec des systèmes de CVC apparents. Les enregistrements et les mesures ont été effectués à l'intersection de deux tunnels, à côté d'un escalier en béton qui mène à un bâtiment. Le « paysage sonore » typique de l'endroit est composé d'un niveau de bruit ambiant relativement élevé de 60 dBA qui émane des bruits mécaniques et de la ventilation, qui monte à 70 dBA lorsque des groupes de personnes passent et qui est ponctué par les bips occasionnels des chariots d'entretien, compose. L'effet réverbérant des surfaces en béton apparaît clairement dans l'audio. Les sons prennent du temps à se dissiper et l'énergie sonore s'accumule pendant les périodes d'activités, lorsque des groupes de personnes ou des chariots passent. Les chariots s'arrêtent et klaxonnent à chaque intersection du tunnel, et les klaxons des différents chariots ont des intensités et des durées variables. Plusieurs personnes interrogées ont fait part d'expériences sonores négatives dans l'espace réverbérant des tunnels, en particulier à cause du bruit des chariots, qui est décrit comme fort et anxiogène.

L'analyse des enregistrements a montré que les sons des chariots ont des caractéristiques tonales et aiguës connues pour provoquer des réactions négatives chez les personnes qui présentent une hypersensibilité sensorielle. Le son du moteur du chariot et des roues en rotation est dominé par des tonalités harmoniques qui montent et descendent en fréquence à mesure qu'il accélère et décélère. Deux klaxons de chariots différents ont été enregistrés. Il s'agissait dans les deux cas de courtes rafales de sons harmoniques, mais leur contenu en fréquence différait. Pour l'un des chariots, l'énergie décroissait lentement en fréquence, ce qui créait un « bip » aigu. Pour l'autre, la décroissance de la fréquence était plus rapide et il n'y avait pas d'énergie au-dessus du bruit de fond pour les fréquences supérieures à 5 kHz, ce qui créait un klaxon plus grave.

Le son des klaxons et les conditions de leur utilisation illustrent les défis posés par les espaces acoustiques partagés. L'objectif des klaxons est d'avertir les piétons et les autres conducteur(trice)s de chariots de leur approche; ils sont donc utilisés de manière répétée et le son est suffisamment distinct et fort pour être entendu au-dessus des bruits ambiants. Malheureusement, ce sont ces mêmes propriétés qui font que ces bruits sont plus susceptibles de déclencher des sentiments d'anxiété et d'autres réactions négatives.

Piano du centre Minto

Le piano du bâtiment d'ingénierie (centre Minto) a fait l'objet de commentaires divergents. Certain(e)s répondant(e)s au sondage ont indiqué qu'il était difficile de se concentrer sur la conversation lorsque quelqu'un jouait du piano, tandis qu'un(e) participant(e) à la cocréation a déclaré que cela lui permettait de mieux se concentrer :

« Pendant un certain temps, il y avait un piano dans le bâtiment d'ingénierie de l'Université Carleton. Ce bâtiment était toujours bruyant (espace ouvert, beaucoup de surfaces métalliques) et je n'y étudiais donc que rarement. Cependant, une fois, alors que j'attendais quelqu'un et que j'avais décidé de sortir un livre pour réviser certains concepts d'un cours, une personne s'est mise à jouer du piano. En fait, cela m'a permis de lire plus facilement... dans ce cas, la musique m'a permis de mieux comprendre ce que je lisais. La musique n'a pas duré longtemps (peut-être six minutes, tout au plus), mais c'était une expérience agréable. » – Participant(e) à la cocréation

Comme l'a noté le(la) participant(e) à la cocréation, les surfaces intérieures du bâtiment sont principalement en béton et en métal, et il y a un atrium ouvert qui s'étend sur deux étages au-dessus du rez-de-chaussée. Le piano se trouve dans une niche de béton et de verre au rez-de-chaussée. Le niveau sonore du piano a été mesuré entre 65 et 80 dBA dans l'atrium directement adjacent au piano. Deux étages au-dessus du piano, dans une zone d'étude, le piano était encore clairement audible et son niveau sonore était de 65 - 70 dBA.

Cet exemple met en évidence le concept de diversité acoustique et la nécessité d'un contrôle du son. Le son du piano peut créer une expérience sensorielle partagée qui constitue un ajout positif à un paysage sonore autrement terne. Cependant, le caractère réfléchissant et réverbérant du bâtiment permet au son du piano de se propager dans tout l'espace et de s'attarder dans le temps, ce qui le transforme en un bruit difficile à éviter qui perturbe les autres activités.

Conclusions

La synthèse des réponses au sondage et de l'étude de l'environnement sonore met en évidence les difficultés rencontrées lors de la conception de l'acoustique de l'environnement bâti et de son utilisation. L'analyse des salles de cours et des lieux d'enseignement démontre que des niveaux sonores et de bruit que beaucoup considèrent comme acceptables peuvent néanmoins poser problème aux personnes qui sont en situation de handicap auditif et souligne que les technologies d'assistance peuvent réduire ces obstacles. L'étude des espaces partagés expose l'importance de la diversité acoustique. Lorsqu'il n'existe pas un paysage sonore parfait pour tout le monde, la diversité permet aux individus de rechercher l'environnement qu'ils préfèrent. Enfin, les toilettes et les tunnels présentent les

conséquences d'accorder une moins grande priorité aux considérations acoustiques par rapport à d'autres exigences de conception.

4.6. Résumé de la section

- À l'intérieur d'une pièce, les sons que nous entendons proviennent des activités et des équipements présents dans la pièce, dans les espaces connexes et à l'extérieur du bâtiment.
- L'acoustique architecturale consiste à concevoir des espaces de façon à contrôler la quantité de sons qui peut entrer dans l'espace, la manière dont le son est réfléchi ou absorbé pour créer des échos et de la réverbération, et le temps nécessaire pour que les sons s'atténuent.
- De nombreuses personnes, y compris des architectes et des concepteur(trice)s, accordent plus d'importance à l'aspect visuel d'un bâtiment ou d'une pièce qu'à son caractère acoustique. L'acoustique est seulement une préoccupation majeure pour des espaces où le son est une caractéristique essentielle, tels que des salles de concert. Bien souvent, elle n'est prise en compte que lorsqu'il y a des problèmes liés au bruit ou aux échos, mais ceux-ci peuvent être difficiles à résoudre une fois le bâtiment construit.
- Une acoustique accessible est généralement synonyme d'une bonne acoustique. Des espaces trop bruyants ou réverbérants nuisent à la communication, à la vie et au travail pour tous les individus. Les personnes en situation de handicap sont souvent plus sensibles aux conséquences du bruit. Elles remarquent et ressentent donc ces effets avant les individus qui ne présentent pas de handicap.
- L'accessibilité acoustique entre parfois en conflit avec d'autres objectifs de conception d'un espace. Par exemple, des salles de bains dotées d'un carrelage dur sont faciles à nettoyer, mais elles sont plus propices à la création d'écho et à l'amplification du bruit. Ces conflits de conception peuvent souvent être résolus en reconnaissant que l'accessibilité acoustique est une caractéristique qui doit être intégrée dans la conception dès le départ, et non quelque chose qui peut être ajouté plus tard. Les espaces peuvent également être rendus plus accessibles en reconnaissant la diversité des besoins sur le plan acoustique et en créant un éventail de choix d'environnements acoustiques différents parmi lesquels les individus peuvent choisir.

5. Le rôle de la technologie

Les environnements réellement accessibles facilitent au maximum la participation sans nécessiter de modifications ou d'ajouts. Il ne devrait pas incomber aux individus de « se réparer » à l'aide de la technologie pour accéder correctement à un lieu. Et pourtant, même dans les espaces qui ont été conçus avec le souci d'une bonne acoustique, des problèmes de communication et de tolérance au bruit persistent :

- la parole peut être difficile à percevoir en raison d'un handicap d'élocution du locuteur(trice), ou de faibles niveaux sonores engendrés par une distance nécessaire qui sépare l'orateur(trice) de son auditoire;
- le bruit entendu dans un lieu peut provenir de sources externes incontrôlées ou d'activités qui se déroulent dans l'environnement lui-même, comme lors d'événements sportifs;

- les temps de réverbération peuvent être longs à cause de la taille de l'espace ou de la nécessité de disposer de surfaces hygiéniques.

Dans tous ces cas, utiliser la technologie réduirait les obstacles, augmenterait la participation et améliorerait le fonctionnement dans l'espace. Les technologies sont parfois intégrées directement dans l'environnement, mais peuvent aussi prendre la forme d'une technologie d'assistance personnelle qui appartient à un individu, ou encore celle d'un appareil public ou personnel reconfiguré pour être utilisé comme technologie d'assistance.

5.1. Appareils auditifs à usage personnel

Les prothèses auditives et les implants cochléaires sont les dispositifs d'aides les plus associées aux handicaps auditifs. Les prothèses amplifient le son afin d'améliorer l'audibilité des personnes atteintes d'une perte auditive légère à modérée. Quant aux implants cochléaires, ils contournent le système auditif périphérique et stimulent directement le nerf auditif à l'aide d'impulsions électriques pour fournir une certaine sensation sonore aux personnes atteintes d'une perte auditive sévère à profonde. Les processus et les buts de ces appareils sont similaires, mais la quantité d'information sonore transmise par l'implant cochléaire est plus limitée. Les deux types d'appareils apportent des avantages substantiels dans de nombreuses situations et les taux de satisfaction déclarés par les utilisateur(trice)s des appareils modernes sont assez élevés (Picou, 2020).

Les prothèses auditives numériques ne se contentent pas d'augmenter le volume du signal. Le volume est plutôt appliqué différemment selon les fréquences pour correspondre au niveau d'audition de l'utilisateur(ère), et la quantité de gain est contrôlée dynamiquement, de sorte que les sons faibles sont augmentés de façon importante sans rendre les sons forts douloureux. La réduction numérique du bruit et les microphones directionnels sont aussi utilisés pour réduire le bruit de fond et éviter que tout ne devienne trop fort. De nombreux appareils sont équipés de plusieurs microphones, ce qui permet de modifier la directivité microphonique en fonctions des différentes situations, que ce soit automatiquement, par le biais de boutons programmables sur l'appareil, ou à l'aide d'une application sur téléphone intelligent. En règle générale, il existe un mode « conversation » pour renforcer les sons qui arrivent par l'avant et supprimer ceux qui viennent des côtés et de l'arrière, ainsi qu'un « mode omnidirectionnel » qui traite sans distinctions les sons de chaque direction (Wagener et coll., 2018).

Ces caractéristiques d'augmentation du niveau sonore et de gestion du son en fonction de l'espace offrent des avantages en matière de communication dans des situations calmes ou modérément bruyantes, mais les environnements acoustiques complexes restent un défi. En effet, les prothèses auditives augmentent la quantité d'énergie sonore perçue, mais elles ne sont pas en mesure d'améliorer la qualité et la résolution des détails temporels et fréquentiels des sons, ni les processus cognitifs de haut niveau nécessaires pour se concentrer dans un environnement bruyant (Murphy et coll., 2006). Par ailleurs, les personnes atteintes de trouble du traitement auditif, dont les seuils auditifs ne sont plus élevés, peuvent ne pas bénéficier de l'amplification fournie par les prothèses auditives.

Le coût des appareils, le besoin d'une ordonnance et la stigmatisation liée à la nécessité et à l'utilisation d'un appareil d'assistance sont des obstacles à l'accès de ces aides. De récentes modifications réglementaires aux États-Unis visent à améliorer l'accessibilité des prothèses auditives et à réduire le coût des appareils en autorisant les détaillant(e)s et les commerçant(e)s en ligne à les vendre sans ordonnance aux personnes atteintes d'une perte auditive légère à modérée. Un changement similaire

est attendu au Canada, mais sa mise en place nécessiterait une coordination entre les agences de santé fédérales et provinciales (Crawley, 2022).

5.2. Suppléance à l'audition

« Je pense que le passage aux appareils portables est fantastique! Comme beaucoup de gens l'ont découvert lorsque le monde s'est retrouvé enseveli sous le plexiglas et les masques, de nombreuses personnes peuvent bénéficier d'aménagements que l'on associe généralement aux personnes Sourdes ou malentendantes, et ce même si elles ne s'identifient pas comme telles. » – Participant(e) à la cocréation

Les utilisateurs(trices) d'appareils auditifs individuels peuvent élargir leurs fonctionnalités à l'aide d'accessoires tels que des microphones à distance, des téléphones, des téléviseurs ou d'aides de suppléance à l'audition (ASA). L'accessoire émet un signal sans fil capté par l'appareil à l'aide d'un récepteur électromagnétique miniature appelé bobine d'induction ou, avec les avancées technologiques plus récentes, d'un récepteur Bluetooth. La technologie sans fil Bluetooth est plus connue des utilisateurs(trices) de téléphones intelligents, mais la plupart des systèmes Bluetooth ne permettent de connecter qu'un émetteur à un seul récepteur, ce qui les limite aux accessoires personnels. Dans les deux cas, le signal sans fil remplace, ou se mélange, au signal du microphone qui est diffusé à l'auditeur(trice) et, de cette façon, lui transmet le son directement. Cette transmission directe signifie que le signal de l'accessoire ne recueille pas de sons concurrents supplémentaires, de réverbérations, ou d'autres distorsions lorsqu'il parcourt le chemin acoustique de la source vers l'auditeur(trice).

Bien que certains accessoires d'écoute personnels, tels que les microphones à distance, utilisent le Bluetooth, dans les espaces publics, les ASA diffusent des signaux à l'aide d'un petit émetteur radio MF ou d'une boucle d'induction intégrée à la salle. Des récepteurs portés au cou comme un collier captent les signaux MF et les transmettent à l'appareil par Bluetooth ou par bobine d'induction. Ainsi, toute personne dans la pièce équipée d'un appareil ou d'un récepteur doté d'une bobine d'induction peut directement capter les signaux de la boucle. Cette accommodation invisible qui utilise l'appareil de l'auditeur(trice), sans qu'il(elle) ait besoin d'emprunter du matériel ou même de révéler son handicap, fait des boucles auditives le choix privilégié en matière d'ASA (Audiology, 2019). Les autres avantages de l'ASA utilisé avec des boucles auditives sont les suivantes :

- consommation d'énergie : le mode bobine d'induction n'augmente pas la consommation d'énergie des appareils auditifs.
- latence : le mode bobine d'induction n'ajoute aucun retard au signal, ce qui garantit que le son des spectacles en direct est synchronisé avec la parole de l'orateur(trice).

La simplicité d'un système analogique signifie que les boucles d'induction présentent également des inconvénients, notamment :

- interférence : la transmission par ondes électromagnétiques est moins sensible aux bruits acoustiques, mais l'est plus aux signaux électromagnétiques tels que ceux qui émanent des systèmes de boucle dans les pièces adjacentes, du câblage électrique ou des systèmes d'éclairage.

- absence de stéréophonie : les boucles auditives ne peuvent recevoir qu'un signal monophonique, de sorte que le même son est diffusé aux deux oreilles et que les informations relatives à la direction sont perdues, ce qui rend les films, les présentations scéniques et les conversations à plusieurs participant(e)s plus difficiles à suivre.

« Je suis aveugle et j'utilise souvent les casques d'audiodescription dans les cinémas; 90 % du temps, ils n'ont plus de piles, ils sont cassés, ou autres. » – Participant(e) à la cocréation

Le plus grand défi posé par les boucles auditives n'est pas leur performance, mais plutôt leur accessibilité. En ce qui a trait à l'infrastructure, des groupes tels que l'Association des malentendants canadiens s'efforcent d'accroître la sensibilisation et de faire en sorte que les boucles soient installées dans un plus grand nombre d'endroits. En ce qui concerne les appareils, les bobines à induction sont analogiques et leur sensibilité dépend de leur taille, de sorte qu'elles n'ont pas bénéficié des progrès de la miniaturisation des autres composants des appareils auditifs. En concurrence avec d'autres caractéristiques par rapport au coût et volume, la proportion des nouveaux appareils auditifs équipés de bobines à induction est passée de 30 % en 1999 (Bakke et coll., 1999) à 20 % en 2020 (Picou, 2020).

Le flux numérique sans fil est considéré comme la prochaine étape logique de la suppléance à l'audition. En 2020, 54 % des utilisateur(trice)s de prothèses auditives ont déclaré que leurs appareils étaient dotés de dispositifs sans fil, contre 43 % en 2015 (Picou, 2020). Malheureusement, la technologie Bluetooth classique des appareils auditifs actuels ne peut être utilisée que pour jumeler deux appareils ensemble, et non pour de la diffusion à grande échelle. De plus, la consommation d'énergie et le décalage des profils de flux audio sont trop élevés pour être utilisés dans des appareils auditifs. En l'absence d'une norme uniforme, les entreprises manufacturières de téléphones mobiles ont proposé des solutions de flux audio concurrentes, telles que la certification des appareils auditifs Made for iPhone d'Apple et le mode Android LE-ASHA de Google (Audiology, 2019). La nouvelle norme audio Bluetooth LE, qui a été publiée en 2022 et qui comprend Auracast, un mode de diffusion numérique conçu spécifiquement pour les applications d'écoute assistée (Bluetooth, 2022), devrait permettre à cette fragmentation technologique de se résorber.

Une solution numérique sans fil de diffusion de flux audio qui utilise du matériel standardisé apporte des avantages significatifs :

- l'audio numérique peut prendre en charge plusieurs flux audio pour la stéréophonie ou plusieurs langues;
- les signaux numériques sont plus résistants aux interférences électromagnétiques;
- les émetteurs sans fil utilisent une technologie standard connue du grand public et peuvent être intégrés dans les espaces existants sans nécessiter de modifications à l'infrastructure;
- les récepteurs sans fil sont offerts dans une plus large gamme d'appareils que les bobines à induction, y compris les appareils auditifs, les téléphones intelligents, les écouteurs et les oreillettes intelligentes. Cela permet d'étendre les avantages de l'écoute assistée aux personnes qui n'utilisent pas d'appareils auditifs et à celles qui ne sont pas malentendantes, mais qui présentent un trouble du traitement auditif ou d'autres handicaps liés au son.

L'état actuel de l'écoute assistée est résumé dans une déclaration de politique sur le flux audio numérique et l'obsolescence des boucles auditives publiée par l'International Hearing Access Committee, un groupe composé d'entreprises manufacturières d'appareils auditifs et d'organisations de défense des droits des personnes en situation de handicap. Le groupe s'est dit enthousiasmé par les avantages potentiels de cette technologie, mais craint que des délais d'adoption trop optimistes n'entraînent un ralentissement ou un recul de l'adoption des boucles auditives avant qu'il n'y ait une solution de remplacement viable. Il estime qu'il y aura une période de transition de 10 à 15 ans (se terminant entre 2029 et 2034) pendant laquelle les boucles auditives coexisteront avec les solutions de flux audio (IHAC, 2019).

Bien qu'une ASA soit en mesure de réduire considérablement les obstacles à la communication, un système d'écoute ne remplace pas une bonne acoustique. Dans les environnements plus complexes, le microphone du système d'écoute peut capter et transmettre le bruit et la réverbération, ce qui réduit les avantages de l'ASA (Heylighen et coll., 2008). Aussi, lorsque l'ASA remplace le signal du microphone par un signal sans fil, ses utilisateurs(trices) sont susceptibles de se retrouver isolé(e)s de leur environnement immédiat au niveau acoustique.

« Je me souviens de l'isolement que j'ai ressenti lors de mon cours de psychométrie, alors que j'étais connecté à un système MF. Je ne pouvais entendre que le professeur et ses réponses aux questions des étudiant(e)s. Puisque je n'étais pas en mesure d'entendre la réponse, de l'étudiante à côté de moi, je ne pouvais pas lui demander de clarifier les mots exacts ou le sens de la question qui venait d'être lancée... Je devais faire le choix entre entendre toute discussion autorisée (c'est-à-dire distincte du murmure ambiant) et entendre clairement le professeur. En fin de compte, j'ai choisi de ne pas continuer à utiliser un système MF pour cette raison. L'équipement destiné à "résoudre le problème" a réduit à néant mon sens inné d'adaptation personnelle qui m'aurait le mieux servi dans cette situation. » – Participant(e) à la cocréation

5.3. Sous-titrage

Les sous-titres sont des versions écrites des sons vocaux et non vocaux, tels que les applaudissements ou les effets sonores, qui s'affichent à l'écran en même temps que le média ou sur des visionneuses de sous-titres séparées. Le sous-titrage a gagné en popularité en raison d'une combinaison de facteurs tels que la disponibilité, la sensibilisation croissante et l'évolution des attitudes sociétales. Des enquêtes récentes ont montré que des individus qui ont diverses capacités d'écoute adoptent le sous-titrage, avec le taux d'utilisation le plus élevé chez les plus jeunes (BBC News, 2021).

Pour les films et les épisodes de séries télévisées, les sous-titres sont produits à l'avance (hors ligne). Ils sont donc précis et bien synchronisés avec l'image. Les sous-titres lors d'événement en direct sont générés en temps réel, ce qui cause toujours un décalage entre le son et les sous-titres. Pendant longtemps, la présence de rédacteur(trice)s de profession qui utilisent une machine à sténotyper pour

effectuer la traduction en temps réel des communications (TTRC) était requise. De rapides avancées assez récentes en recherche sur les réseaux neuronaux ont produit de puissants modèles de reconnaissance automatique de la parole (RAP) qui peuvent atteindre des performances de transcription de niveau humain dans plusieurs langues (Radford et coll., 2022). Des modèles plus petits qui fonctionnent en temps réel ont permis à la transcription automatisée de se répandre sur les plateformes de vidéo en continu, les médias sociaux et les applications de vidéoconférence à domicile et au bureau comme Zoom et Microsoft Teams. Les participant(e)s à la cocréation de notre projet ont discuté de l'utilisation d'applications de transcription en direct sur les téléphones intelligents pour réduire les obstacles à la communication. De plus, des équipes de recherche ont documenté d'autres utilisations novatrices de ces technologies, comme pour parler à travers les panneaux en plexiglas installés pour prévenir contre propagation de la COVID-19 (Loizides et coll., 2020).

Le sous-titrage n'est pas une technologie d'assistance auditive puisqu'elle n'améliore pas la capacité de ses utilisateurs(trices) à entendre le signal acoustique complet, avec la richesse et la complexité de la musique ou la nuance et l'émotion de la langue parlée. Cependant, il a été montré que les sous-titres améliorent la compréhension des informations qui sont communiquées oralement pour des personnes ayant un large éventail de handicaps auditifs et cognitifs, et même pour des personnes sans handicap avéré (Gernsbacher, 2015). En plus de présenter le son sous des formes visuelles et en plusieurs langues, le sous-titrage offre la possibilité aux individus de traiter l'information à des vitesses différentes et même de revoir le contenu. Lorsque les sous-titres sont intégrés, cet avantage est largement accessible et ne nécessite pas un diagnostic précis ou du matériel spécialisé pour y accéder.

5.4. Contrôle du son

Alors que les technologies d'assistance pour les handicaps auditifs se concentrent sur la réduction des obstacles de communication, une nouvelle approche de la technologie vise à réduire les conséquences émotionnelles et physiologiques des bruits indésirables et des environnements sonores chaotiques. Dans ce cas, « technologie d'assistance » ne fait pas référence à un seul appareil, conçu pour répondre à un besoin d'accessibilité, mais plutôt à une large gamme d'équipements reconvertis pour permettre aux individus de contrôler leur expérience du son et de créer un « paysage sonore personnel ». Il peut s'agir de dispositifs passifs, tels que des bouchons d'oreille et des protections auditives, mais aussi de casques d'écoute standard et à suppression du bruit. Malgré l'absence de conseils médicaux, ces dispositifs sont devenus des accommodements courants dans les écoles et dans les espaces de travail ouverts où les sons incontrôlés empêchent l'attention et la concentration.

En milieu scolaire, des protections auditives ou serre-têtes antibruit peuvent être utilisés pour réduire les stimuli sensoriels et sont souvent recommandées aux élèves qui présentent des sensibilités sensorielles, en particulier celles qui sont associées aux TSA. Un casque d'écoute qui ne diffuse aucun son, parfois associé à des bouchons d'oreille, est une forme moins visible de réduction passive du son, tandis que s'il diffuse du son ou de la musique agréable, il peut fournir un niveau supplémentaire de protection contre le bruit non désiré. Des expérimentations ont montré qu'un casque d'écoute qui émet un bruit blanc peut également accroître la concentration des personnes atteintes de TDAH (Cook et coll., 2014; Söderlund et coll., 2007), alors que des recherches ont constaté que les protecteurs auditifs ou les casques peuvent augmenter la participation des enfants qui présentent un TSA à l'école, ainsi que dans la collectivité et à la maison (Pfeiffer et coll., 2019).

Dans les espaces de travail ouverts, les casques d'écoute à suppression du bruit, qui produisent ou non des sons et de la musique, offrent une isolation acoustique encore plus importante et sont une méthode populaire pour réduire les distractions causées par les discussions à proximité. Une étude sur leur utilisation a montré que bien que ces casques n'amélioraient pas les performances des utilisateurs(trices) durant les tâches cognitives, les participant(e)s ont tout de même rapporté une diminution significative de la gêne occasionnée par le bruit de fond ainsi qu'une augmentation de leur concentration. À noter : l'étude n'identifie pas le statut de handicap des participant(e)s (Mueller et coll., 2022).

Pour les situations où un isolement complet n'est pas souhaitable, de nombreux casques à suppression du bruit disposent désormais d'un mode de transparence qui laisse passer certains sons extérieurs. Ce type de transparence réglable et de contrôle du paysage sonore personnel étaient les principaux objectifs des premières générations de « produits auditifs », bien que le secteur plus large des écouteurs et des oreillettes ait largement absorbé cette portion d'appareils spécialisés. L'évolution des dispositifs d'écoute en vue d'améliorer leurs objectifs secondaires illustre comment les recommandations des utilisateurs(trices) et des communautés en ligne, plutôt que la recherche médicale, guident cette catégorie de technologies d'assistance (Boxall, 2021). Le manque de recherche sur ces outils pose des problèmes aux parties prenantes telles que les organisations, les auxiliaires et les personnes en situation de handicap qui peuvent en bénéficier, mais qui n'ont pas accès à des lignes directrices concrètes concernant leur utilisation (Neave et coll., 2021).

5.5. Recherche – Caractéristiques du bruit résiduel des casques à réduction du bruit

Les casques d'écoute à annulation active du bruit (AAB) réduisent la quantité de sons extérieurs entendus par son utilisateur(trice). Bien que des écouteurs et casques d'écoute standards assurent une certaine réduction acoustique de base, leurs performances sont médiocres pour les bruits de basse fréquence, tels que le bruit d'origine industrielle ou des transports. L'AAB fonctionne en créant une onde en opposition de phase pour interférer avec l'onde du son indésirable. Puisque ce processus fonctionne le mieux pour les fréquences de moins de 1 kHz, il complète la réduction acoustique de base des casques d'écoute (Liebich et coll., 2018). Les premiers casques d'écoute à AAB visaient à réduire les effets négatifs sur la cognition et la communication d'une exposition continue au bruit en milieu professionnel dans des domaines comme l'aviation (Molesworth et coll., 2013). Les progrès récents de la technologie des casques grand public et l'introduction de circuits intégrés spécifiques à l'AAB ont permis d'introduire des fonctions de suppression de bruit dans des appareils plus petits et moins coûteux, ce qui a entraîné son utilisation dans des environnements sonores plus diversifiés (Ang et coll., 2017).

Les espaces de travail ouverts sont un des environnements qui voit une nette augmentation de l'utilisation des casques d'écoute avec AAB. Si les niveaux sonores sont, depuis longtemps, une source de mécontentement dans ces environnements (Navai & Veitch, 2003), l'évolution vers des modes de travail hybride et à distance causé par la pandémie, faisant des vidéoconférences la norme, a entraîné une hausse des niveaux de distraction vocale dans ces lieux (Cutter & Bobrowsky, 2023). À cause du manque de surfaces qui absorbent les sons, contrôler le bruit y est extrêmement difficile, ce qui nécessite un effort de conception important pour que la confidentialité de la parole soit à un niveau acceptable (Bradley, 2003). De plus, fonctionner dans ces environnements pose un défi pour les personnes en situation de handicap. Il a été prouvé que les environnements de travail bruyants augmentent le stress et la fatigue cognitive chez les personnes malentendantes (Jahncke & Halin, 2012),

et peuvent nuire à la concentration et aux performances des personnes présentant des troubles cognitifs ou des troubles de l'attention (Larsby et coll., 2005) (Freyaldenhoven et coll., 2005).

Les casques d'écoute avec AAB sont aussi utilisés dans les écoles par les élèves qui ont un trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) afin de réduire les distractions environnantes, et par ceux(elles) qui présentent des sensibilités auditives, en particulier les élèves ayant un trouble du spectre de l'autisme (TSA), pour améliorer leur engagement et réduire la détresse (Kulawiak, 2021).

Bien que les casques avec AAB soient des outils grandement utilisés par des individus en situation de handicap ou non, la recherche sur les avantages et les potentiels inconvénients de cette technologie est limitée. Une petite étude sur un groupe d'employé(e)s de bureau révèle un léger effet négatif sur la satisfaction au travail lors de l'utilisation d'écouteurs intra-auriculaires avec AAB, mais qui a peut-être été causé par l'inconfort dû au modèle choisi (Kari et coll., 2017). Une autre recherche, qui a utilisé des casques d'écoute supra-auriculaires (circum-aural), n'a montré aucun apport cognitif quant à leur utilisation, mais les participant(e)s ont tout de même identifié, de façon subjective, une amélioration concernant le bruit et la vie privée (Mueller et coll., 2022). Une autre petite étude a retenu que les protecteurs auditifs et les casques d'écoute amélioreraient la participation des enfants qui présentent un TSA à l'école, ainsi que dans la collectivité et à la maison (Pfeiffer et coll., 2019). Le manque de recherches relatives à l'utilisation généralisée de ces dispositifs a suscité l'inquiétude de certains utilisateur(trice)s et parties prenantes quant à l'absence de conseils sur le moment et la manière de les utiliser (Neave et coll., 2021).

En général, l'AAB est utilisée pour réduire les effets du bruit afin que la musique ou l'audio produit par le casque puissent être entendus à un volume plus faible. L'objectif principal est de maximiser la réduction du bruit; la qualité du bruit restant est moins importante puisqu'elle est masquée par le son souhaité. Lorsque les casques avec AAB sont utilisés pour réduire la distraction et l'anxiété induites par le bruit, ils ne produisent souvent pas de musique ou de son, de sorte que la qualité du signal résiduel devient cruciale. Les utilisateurs(trices) ne recherchent généralement pas une isolation sonore complète, mais un meilleur contrôle de leur environnement sonore. Si le bruit n'est pas naturel ou si son niveau fluctue dans le temps, le signal peut devenir plus gênant, même s'il est réduit. En outre, dans de nombreuses situations, telles que les lieux de travail, les écoles ou les espaces publics, il est important de conserver une certaine perception de la situation extérieure. Dans ce cas, la clarté du signal est importante pour la compréhension, alors que la cohérence des différences de temps et de niveaux entre les oreilles (indices binauraux) est nécessaire pour que l'auditeur(trice) puisse localiser la source sonore (Bregman, 1994).

Pour les moments où une isolation sonore complète n'est pas souhaitée, plusieurs casques d'écoute à suppression du bruit offrent un mode « transparence » qui laisse passer certains sons extérieurs. Les évaluations des caractéristiques techniques (Denk et coll., 2020) et perceptuelles (Schepker et coll., 2020) de ces fonctions chez les écouteurs intra-auriculaires sans fil ont révélé des performances mitigées. Les évaluations de la qualité perceptive des appareils grand public allaient de mauvaise à moyenne, puisque le mixage audio de l'appareil ne correspondait pas au son capté par l'oreille. L'évaluation technique a montré que les signaux binauraux étaient déformés par certains casques, bien que l'incidence sur la qualité ou la localisation n'ait pas été évaluée.

Nous avons mené des expériences pour étudier les caractéristiques du son résiduel non annulé par deux casques supra-auriculaires sans-fils avec AAB : un casque bon marché, Anker Soundcore Life Q30, et un casque haut de gamme, Bose QuietComfort 35 II. Nous avons choisi des casques supra-auriculaires parce

que leur forme offre un haut niveau d'atténuation sonore de base et parce qu'ils sont suffisamment confortables pour être portés durant une longue période, ce qui les rend bien plus propices à être utilisés comme moyen d'accommodation en matière de contrôle du bruit.

Les casques ont été testés en diffusant des signaux de parole, du bruit rose et un balayage de fréquence logarithmique par un haut-parleur de haute qualité, tout en enregistrant les signaux à l'intérieur du casque à l'aide d'oreilles artificielles et d'un dispositif de test de casque binaural (miniDSP EARS). Les enregistrements ont été effectués avec les casques éteints pour relever leurs capacités d'atténuation sonore de base, puis en utilisant leurs différents modes de traitement (le casque Anker avait des modes de suppression du bruit et de transparence, tandis que le casque Bose avait des modes de réduction de bruit qui allait d'élevé à faible.) De plus, les enregistrements effectués à partir du dispositif de test sans la présence d'un casque ont été utilisés comme point de référence du son capté par les oreilles, sans technologie. La performance binaurale a été étudiée en faisant pivoter le dispositif de test par rapport au haut-parleur pour créer des sources sonores à gauche, à l'avant et à droite.

Nous avons constaté que le caractère de l'audio était subjectivement bon dans tous les modes de suppression du bruit pour les deux casques : il n'y avait pas de parasites de traitement audibles, le niveau et le contenu en fréquence du signal ne variaient pas dans le temps, et le signal sinusoïdal balayé ne montrait pas de signes de distorsion non linéaire. Le mode transparence de l'appareil Anker ne présentait pas non plus de parasites ni de distorsion, mais l'analyse fréquentielle des signaux a montré que le niveau du signal en dessous de 500 Hz était jusqu'à 10 dB plus élevé que celui du point de référence (c'est-à-dire de l'oreille sans technologie). Cette observation d'une accentuation non naturelle des basses fréquences est cohérente avec une évaluation antérieure de la qualité perceptive des modes de transparence, selon laquelle les performances présentaient des distorsions similaires de la courbe de résonance par rapport à l'oreille sans technologie (Schepker et coll., 2020).

Nous avons utilisé l'analyse des fréquences pour comparer le niveau de réduction sonore offert par le casque lorsque la fonction d'AAB est activée et celui offert lorsqu'elle est désactivée. Lorsque la fonction d'AAB est désactivée, en présence de fréquences supérieures à 1 kHz, les casques offrent une atténuation sonore de base d'environ 20 à 30 dB par rapport au point de référence. Le niveau du signal augmentait à mesure que la fréquence diminuait sous la barre du 1 kHz, et en bas d'environ 200 Hz, il n'y avait pas de différence de niveau par rapport à l'oreille sans technologie. Cette réduction inégale créait une accentuation des basses fréquences que l'on pouvait entendre. L'activation de l'AAB a ajouté 25 à 30 dB de réduction à 100 Hz, mais l'avantage s'est estompé aux fréquences supérieures à 500 Hz, et il n'y a pas eu de gain par rapport à la capacité de réduction sonore de base pour les fréquences supérieures à 1 kHz. En résumé, l'AAB fonctionne mieux dans les basses fréquences, là où la réduction sonore de base est faible, et elle fonctionne moins bien dans les hautes fréquences, où la réduction sonore de base est meilleure. Ce comportement complémentaire signifie que lorsque l'AAB est activée, les appareils produisent une atténuation relativement uniforme de 20 à 30 dB sur toute la gamme de fréquences et un son plus naturel qu'avec la réduction de bruit de base seulement. Le type de bruit n'a pas affecté les deux modèles : ils ont démontré des performances de suppression du bruit constante pour le bruit rose stationnaire à large bande et le signal vocal variable dans le temps. En comparant les appareils, celui de Bose a fourni des niveaux de réduction légèrement plus élevés, et la réduction s'est étendue à une gamme de fréquences plus large dans les basses et les hautes fréquences.

Puisque l'AAB n'est efficace qu'au-dessous de 1 kHz, nous avons analysé les signaux binauraux séparément dans les fréquences inférieures et supérieures à 1 kHz afin d'isoler les effets du traitement auditif. Dans les hautes fréquences, où la capacité de réduction sonore de base est meilleure, les signaux binauraux des deux appareils correspondent largement à ceux de l'oreille sans technologie, quel que soit le mode de traitement. Le dispositif d'Anker présentait un décalage dans la différence de niveau qui était constant dans tous les modes de fonctionnement, même lorsque les écouteurs étaient éteints. Cette constance signifie que des variations dans l'ajustement ou le placement sur l'oreille en sont probablement la cause. En basses fréquences, le dispositif Bose a montré une certaine distorsion des informations binaurales dans le mode de suppression « élevée » qui indique que l'ampleur de la réduction était soumise à une certaine dépendance directionnelle. Cet effet n'a pas été observé en mode « faible », qui présentait des différences de niveau identiques à celles observées avec la réduction sonore de base du casque. Il n'est pas certain que le décalage entre les indices binauraux de basse et de haute fréquence observée pour le mode de réduction « élevée » a une incidence perceptuelle.

Conclusions

En résumé, nos expériences ont montré que les appareils bon marché et haut de gamme réduisent efficacement le son tout en préservant ses caractéristiques temporelles, fréquentielles et spatiales. En mode de suppression du bruit, les deux casques offrent une atténuation de plus de 20 dB sur l'ensemble de la gamme de fréquences, ce qui offre une protection contre les bruits perturbateurs et intrusifs, mais soulève le problème de l'isolement acoustique des utilisateur(trice)s par rapport à l'environnement qui les entoure. La configuration de la suppression offerte par l'appareil Bose permet de contrôler l'atténuation des basses fréquences, mais ne peut pas restaurer le contenu des hautes fréquences perdues à cause de la réduction sonore de base. Le mode transparence du casque d'Anker est conçu pour permettre une certaine conscience de l'environnement sonore aux utilisateurs(trices), mais l'amplification des bruits de basse fréquence nuit à l'objectif principal du port d'un casque pour contrôler le bruit. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour développer des stratégies de traitement capables d'équilibrer le niveau sonore et la perception de la situation extérieure, et ce afin de permettre aux individus de mieux contrôler leur environnement sonore personnel.

5.6. Résumé de la section

- Le recours à la technologie ne devrait pas être nécessaire pour participer aux activités dans un lieu, mais il peut accroître la participation des individus en facilitant l'audition, en augmentant le volume des sons souhaités et en réduisant le bruit.
- Dans le contexte de l'audition, le terme « technologie d'assistance » fait généralement référence aux dispositifs auditifs personnels tels que les prothèses auditives et les implants cochléaires, mais peut également désigner les systèmes de suppléance à l'audition intégrés dans les espaces. Les systèmes de suppléance à l'audition envoient le son de manière sans fil à l'auditeur(trice), ce qui permet d'entendre plus facilement de loin ou dans des environnements bruyants. Ils fonctionnent avec des appareils auditifs personnels, mais aussi avec des récepteurs séparés et des écouteurs.
- Les informations audio peuvent être diffusées autrement à l'aide, par exemple, de sous-titres, d'alertes visuelles ou d'alarmes. Sans toutefois remplacer une bonne acoustique ou une technologie d'assistance auditive, ces aides peuvent être utilisées conjointement pour faciliter

l'accès aux informations pour des personnes ayant des capacités auditives diverses, sans demander d'appareil supplémentaire.

- De nombreuses personnes utilisent des casques antibruit et des écouteurs à annulation du bruit pour les aider à contrôler leur environnement sonore, en particulier à l'école et au travail. Des recherches supplémentaires sont essentielles pour comprendre comment concevoir des appareils qui permettent de bloquer les bruits sans entraver la communication avec l'entourage et la pleine conscience de l'environnement.
- Des personnes en situation de handicap utilisent des technologies personnelles telles que les téléphones cellulaires et les écouteurs intelligents en tant qu'appareil d'assistance informel pour le sous-titrage et le contrôle du son. L'utilisation d'appareils qu'elles possèdent et avec lesquels elles sont familières permet un sentiment de confort et de contrôle.

6. Normes acoustiques en vigueur

6.1. Mesures objectives

Les normes réglementaires exigent des mesures de performance objectives qui peuvent être utilisées comme objectifs précis dans le processus de conception et dans les évaluations de conformité. Les mesures acoustiques idéales quantifieraient la qualité du son, le confort acoustique dans un environnement et la facilité de communication dans celui-ci. Malheureusement, l'expérience du son est subjective et il n'existe pas de définition établie du confort acoustique (Roy, 2019). La nature subjective et perceptuelle de l'audition signifie également que même les caractéristiques communément décrites, telles que la clarté, la réverbération et le sens de l'espace, n'ont pas de mesures concrètes convenues, et que certaines mesures, comme le temps de décroissance précoce, sont définies, mais n'ont pas de méthodes de calcul acceptées (Bradley, 2011).

Puisque le son est une propriété dynamique de l'espace (affectée par la taille et la forme du lieu, les matériaux des surfaces, le mobilier, les personnes présentes et leurs activités), utiliser des valeurs fixes pour saisir ses caractéristiques acoustiques constitue une difficulté. Si les activités sont connues, des mesures spécifiques peuvent être développées, comme le concept de « capacité acoustique » pour estimer le nombre de personnes qui peuvent confortablement être accueillies dans un restaurant (Rindel, 2012).

Compte tenu de ces défis, les paramètres les plus utilisés sont ceux qui sont bien compris et faciles à mesurer, de sorte que les normes acoustiques sont généralement basées sur des mesures numériques uniques et statiques pour le niveau de bruit, le temps de réverbération et l'isolation acoustique.

a) Niveau de bruit (dBA)

Le niveau de bruit est la plupart du temps exprimé sous forme de niveau de pression acoustique à pondération A. La pondération A atténue les sons de basse fréquence et accentue la bande de fréquences de la voix afin de se rapprocher de la sensibilité de l'oreille humaine à des volumes vocaux normaux. Le niveau est généralement indiqué en décibels avec le symbole dBA ou dB(A) (Acoustical Society of America, 2010). Il existe d'autres courbes de pondération, comme la pondération C, qui est plus plane. Dans les situations où le bruit à basse fréquence est un problème, une spécification peut inclure à la fois la pondération C et la pondération A.

Malgré son usage répandu, la pondération A est critiquée parce qu'elle utilise une pondération indépendante du niveau sonore et qu'elle sous-estime le rôle des bruits de basse fréquence (Nilsson, 2007). Cette lacune au niveau des basses fréquences est particulièrement préoccupante parce que ces dernières composent principalement de nombreuses sources de bruit courantes, notamment le bruit des routes et des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation. Les directives du Royaume-Uni sur les normes de qualité des écoles spécifient les niveaux de bruit en dBA, bien que le guide de conception associé en reconnaisse les lacunes et note que « pour de nombreuses personnes qui ont des besoins auditifs particuliers, les bruits de basse fréquence peuvent avoir un effet substantiel sur la reconnaissance de la parole, et masquer les sons importants de la voix d'une manière que les personnes qui ont une audition normale ne peuvent pas percevoir » (Canning et coll., 2015) [traduit par nos soins].

L'une des limites de toute mesure du niveau de bruit est que le niveau moyen ne suffit pas à définir la perturbation qu'il cause. Le degré de détresse ou de distraction qu'un bruit peut provoquer dépend de l'individu et de l'influence de facteurs tels que les propriétés tonales, c'est-à-dire les fréquences présentes et la nature des sons (purs ou à large bande), ainsi que les propriétés temporelles, à savoir si le son est continu, impulsif ou intermittent. La norme norvégienne NS 8175:2019 tient compte de cette répercussion perceptuelle et prévoit un ajout de 5 dB à la mesure faite du niveau de bruit si celui-ci contient des sons purs audibles ou présente un caractère impulsif avant de le comparer à la limite prévue.

b) Temps de réverbération (T_{60})

Le temps de réverbération est la durée nécessaire pour qu'un son dans un espace fermé diminue jusqu'à devenir inaudible, c'est-à-dire 60 dB au-dessous de son niveau initial. Cette variable se nomme T_{60} , $R_{t,60}$ ou, plus simplement, R_t . Comme la réverbération dépend de la fréquence (par exemple, les fréquences élevées sont absorbées plus facilement), le T_{60} peut être calculé pour toute la gamme de fréquences, une seule bande de fréquences ou la moyenne d'un ensemble de bandes de fréquences. La réverbération dépend également de l'emplacement des sources sonores et de l'auditoire, de sorte que la valeur rapportée est souvent une moyenne de plusieurs mesures effectuées à différents endroits dans la pièce. Cette moyenne spatiale est considérée comme une faiblesse du temps de réverbération comme mesure, car elle peut masquer les variations à l'intérieur d'une pièce. Le temps de réverbération est également critiqué comme mesure puisqu'il ne tient pas compte de la direction des réflexions et de la façon dont les différentes fréquences sont traitées dans l'espace (Ovans, 1996).

Pour les pièces à configuration simple et aux finitions uniformes, le temps de réverbération est étroitement lié aux propriétés générales de la pièce, en particulier à l'absorption acoustique des traitements des surfaces. Les temps de réverbération longs étant connus pour être nuisibles à la communication, on suppose souvent que des temps de réverbération plus courts sont toujours préférables, mais ce n'est pas tout à fait vrai. Chez le système auditif humain, les premières réflexions sont fusionnées avec le son direct pour créer un signal plus fort, et doivent donc être préservées pour maximiser l'intelligibilité (Bradley, 2009). Le temps de réverbération doit également refléter les dimensions de l'espace pour faciliter l'orientation et le déplacement des personnes malvoyantes, sachant que les surfaces trop absorbantes peuvent rendre difficile l'évaluation des distances par rapport aux murs et aux portes (Ryhl, 2013).

Le temps de réverbération et le niveau sonore des activités dans l'espace dépendent tous deux de la capacité d'absorption acoustique des surfaces exposées, puisqu'une absorption plus élevée réduit le

temps de réverbération et empêche l'accumulation du bruit. Compte tenu de ces éléments, un examen des normes européennes a révélé que certains pays délaissent les normes relatives à la durée de réverbération au profit d'objectifs d'absorption moyenne (Bergmark & Janssen, 2008).

c) Isolation acoustique

L'isolation acoustique est la capacité d'un ensemble de construction à isoler contre la transmission du son. Elle est essentielle à la protection de la vie privée et au confort acoustique, car elle empêche les sons des activités d'un environnement de se transformer en bruits dans un autre. Étant donné que les bruits aériens et les bruits de structure (d'impact) sont transmis de manière différente, ils sont généralement mesurés séparément et sont contrôlés par des objectifs de performance différents. Pour les deux types de bruit, l'isolation est décrite comme la différence de niveau sonore d'une source dans la pièce de transmission (source sonore pour les bruits aériens, machine à choc pour les bruits d'impacts) par rapport à la pièce de réception. Une valeur unique est calculée en pondérant et en additionnant les contributions des différentes régions de fréquence. Les diverses méthodes de mesure, de pondération et d'évaluation des performances ont conduit à l'utilisation de multiples mesures d'isolation et à des variations dans les multiples normes. Par exemple, la norme ISO 22955:2021 utilise la différence de niveau normalisée pondérée, tandis que la norme NS 8175:2019 utilise l'indice d'affaiblissement acoustique apparent pondéré, qui lui est étroitement lié, et inclut également un paramètre d'adaptation du spectre qui n'est pas utilisé dans la norme ISO 22955:2021. Des recherches ont montré que cet indice était nécessaire pour tenir compte de la gêne occasionnée par les bruits d'impacts et de la teneur en basses fréquences des bruits aériens du trafic routier et ferroviaire (Turunen-Rindel, 2018).

d) Évaluations des matériaux de construction

Le niveau de bruit, le temps de réverbération et les normes d'isolation caractérisent un espace après sa construction. La conception d'espaces qui répondent à ces exigences peut s'avérer difficile et il est souvent nécessaire de faire appel à des spécialistes de l'acoustique pour les espaces de grande taille ou conçus sur mesure. Pour les espaces plus standards, la performance est souvent prédite en utilisant une approche de « somme des divers éléments » basée sur les propriétés des matériaux et de l'assemblage, comme le coefficient d'absorption acoustique, l'indice d'affaiblissement acoustique ainsi que la classe de transmission du son (Harvey, 2021). Une discussion approfondie de ces mesures et d'autres mesures de performance des matériaux est présentée dans (Mahn, 2021).

6.2. Normes actuelles en vigueur

En Amérique du Nord, les normes d'accessibilité, telles que les suivantes, fournissent des indications sur l'accessibilité acoustique :

- ISO 21542:2021 *Cadre bâti — Accessibilité et usage de l'environnement bâti*
- 2010 ADA *Standards for Accessible Design* (Normes pour une conception accessible)
- ICC/ANSI A117.1-2017 : *Standard for Accessible and Usable Buildings and Facilities* (Normes pour les bâtiments et installations accessibles et fonctionnelles) et
- ICC G2-2010 *Guideline for Acoustics* (Ligne directrice pour l'acoustique)

C'est aussi le cas de normes de construction telles que :

- ISO 22955 *Acoustique — Qualité acoustique des espaces de bureaux ouverts*

- ANSI/ASA S12.60-2010 *Part 1 : American National Standard Acoustical Performance Criteria Design Requirements, and Guidelines for Schools* (Partie 1 : Critères de performance acoustique, exigences de conception et lignes directrices pour les écoles)

Ces normes, en particulier ISO 21542 et 2010 ADA *Standards for Accessible Design*, forment la base de la plupart des clauses relatives au son et à l'acoustique dans les guides de conception accessible des municipalités qui ont été examinés (Ottawa, Calgary, Winnipeg, Mississauga).

Les clauses acoustiques des normes d'accessibilité soulignent l'importance du contrôle de l'écho et du bruit, et fournissent des indications *générales* sur les caractéristiques de conception acoustique ainsi que des exigences précises quant aux systèmes d'assistance à l'écoute. Les sections acoustiques des normes de construction fournissent des objectifs de performance *explicites* pour le bruit et la réverbération dans certains espaces. Avec cette division entre les normes d'accessibilité et les normes de construction, l'acoustique accessible risque de passer entre les mailles du filet. En effet, l'acoustique des bâtiments est trop variable pour que les normes d'accessibilité puissent fournir des indications universelles, tandis que les normes de construction ont tendance à voir l'accessibilité comme distincte de la conception de base. Par exemple, les recommandations relatives au niveau de bruit de la norme ISO 22955 sont dérivées d'études sur l'intelligibilité de la parole pour les personnes sans handicap auditif, et l'accessibilité et les besoins spéciaux sont traités dans une section séparée qui se concentre principalement sur les aménagements tels que les technologies d'assistance et l'accessibilité des alertes d'urgence. En revanche, la norme ANSI S12.60 a été introduite expressément pour réduire les obstacles à l'apprentissage des élèves Sourd(e)s et malentendant(e)s.

La Norvège offre un exemple d'approche plus intégrée de la réglementation acoustique des bâtiments accessibles. Avant la rédaction des critères acoustiques norvégiens de 2012 pour la conception universelle, Standards Norway a mené une enquête socioacoustique auprès de personnes qui sont en situation de handicap auditif ou visuel afin de mesurer leur degré de gêne dans différents espaces. Les questions portaient sur la facilité de communication ainsi que sur les nuisances acoustiques susceptibles de gêner les performances de travail et d'apprentissage. Les réponses ont été utilisées pour déterminer quels types de bâtiments devraient être réglementés et quelles devraient être les limites. La norme de classification acoustique NS 8175:2019 (Standards Norway, 2019) qui en a résulté classe les bâtiments sur une échelle de A à D, où A est le niveau le plus performant, C est généralement le niveau minimum pour les nouvelles constructions et les rénovations, et D est utilisé pour décrire les bâtiments existants (Turunen-Rindel & Brynn, 2014). Plutôt que de prévoir des normes variées pour différents types de bâtiments, la norme couvre un large éventail d'espaces sans distinction et de manière cohérente sur la base de leur fonction. Par exemple, les cafétérias sur les lieux de travail sont soumises aux mêmes exigences acoustiques que les restaurants.

L'objectif du système de classification à plusieurs niveaux était de fournir un choix lié à la mise en œuvre des principes de conception universelle en ce qui concerne l'acoustique, mais dans la pratique, les résultats ne sont pas réellement concluants. Les praticien(ne)s mentionnent que les bâtiments sont presque toujours conçus pour répondre aux exigences légales les plus basses (Bradette, 2019); les espaces avec des classifications acoustiques sont conçus pour atteindre la classe C, alors qu'on présume que les espaces sans exigences explicites (par exemple, les toilettes) ne posent pas de problèmes acoustiques. Les concepteur(trice)s acoustiques qui cherchent à dépasser le minimum se heurtent à l'opposition de leur clientèle, qui souhaite réduire les coûts. Cette situation est conforme aux recherches

qui ont montré que la conception universelle est souvent considérée comme un concept législatif plutôt que comme une partie intégrante de la conception, et que, par conséquent, la législation sur l'accessibilité et les exigences en matière de conception sont considérées comme des cases à cocher, plutôt que comme des lignes directrices pour orienter une conception accessible (Ryhl, 2016a).

Traiter l'accessibilité comme un concept purement législatif peut tout de même produire des espaces utilisables si les normes sont alignées sur les besoins, mais de meilleures solutions sont obtenues lorsque les concepteur(trice)s reconnaissent la motivation sous-jacente à la réglementation et optimisent l'expérience plutôt que la conformité. Une étude de cas au sujet de la conception du musée Munch à Oslo illustre cette situation (Olshausen, 2019). L'observation de larges toiles nécessite de grands espaces ouverts, ce qui entraîne de longs temps de réverbération et une accumulation du bruit, mais les peintures elles-mêmes limitent la quantité de murs disponibles pour les traitements d'absorption du son. La modélisation acoustique a montré que les concepteur(trice)s ne pouvaient pas respecter les exigences en matière de réverbération, et ils ont donc eu recours à des stratégies créatives pour minimiser les effets néfastes d'une acoustique imparfaite, notamment :

- des murs mobiles avec des bords absorbant les sons pour les expositions temporaires,
- une circulation guidée à travers des cloisons d'absorption du son, et
- des audioguides personnels sur téléphone portable.

Pour mieux se prémunir contre les excès de bruit, les concepteur(trice)s ont calculé la capacité acoustique (Rindel, 2012) des salles, qui peut être utilisée pour limiter la taille de la foule dans un espace. Depuis l'ouverture en 2019, l'acoustique des salles principales a été reconnue comme une caractéristique marquante de l'endroit.

6.3. Recherche – Caractérisation acoustique d'une pièce à l'aide de la reconnaissance vocale automatisée sur téléphone intelligent

La conception acoustique a une incidence sur la fonctionnalité et l'accessibilité de l'environnement bâti, et en particulier sur celles d'espaces tels que les salles de conférence ou de réunion qui sont principalement utilisés pour la communication orale. Le bruit masque le signal de la parole qu'un(e) auditeur(trice) essaie de comprendre et peut également agir comme un élément de distraction, ce qui rend la concentration plus difficile. Les premières réflexions peuvent renforcer le signal et améliorer l'audibilité, mais les longues durées de réverbération le brouillent et rendent plus difficile le décodage de chaque mot. Les lieux accessibles facilitent la pleine participation des individus à des activités, quel que soit leur niveau d'aptitude ou de handicap. La caractérisation et le contrôle de la qualité acoustique d'une pièce sont donc importants pour garantir l'accessibilité de l'environnement.

Le passage à des modes de travail à distance à la suite de la pandémie a fait des réunions virtuelles et hybrides la norme. Puisque la plupart des logiciels de vidéoconférence ne disposent pas de fonctions stéréo, les sons de tous les participant(e)s sont mélangés, superposés et filtrés par la salle pour former un seul signal transmis. Les conséquences d'une mauvaise acoustique sont alors amplifiées puisque les participant(e)s à distance ne peuvent pas bénéficier des repères visuels et spatiaux qui sont généralement utilisés pour identifier, séparer et se concentrer sur chaque interlocuteur(trice) individuellement (Kidd et coll., 2005; Kitterick et coll., 2010).

Le nombre grandissant de réunions hybrides a également attiré l'attention sur l'accessibilité des plateformes de vidéoconférence. Grâce aux progrès rapides et récents de la reconnaissance automatique de la parole (RAP) basée sur les réseaux neuronaux, la transcription et le sous-titrage en temps réel sont désormais des fonctionnalités d'accessibilité couramment utilisées par les participant(e)s en personne et à distance. Ces modèles de RAP dernier cri, qui tirent parti des structures de réseau popularisées dans les modèles linguistiques, ont approché des taux d'erreurs humains en transcription (Radford et coll., 2022), tandis que des modèles plus petits et qui fonctionnent en temps réel sur des appareils mobiles ont été utilisés comme dispositifs ad hoc et portable d'écoute assistée (Loizides et coll., 2020).

Nous avons mené des expériences pour déterminer si ces systèmes de RAP sur téléphones intelligents pouvaient être utilisés comme indicateur de l'intelligibilité de la parole pour évaluer l'acoustique d'une pièce. Le temps de réverbération et le niveau de bruit sont des mesures de performance courantes, mais il s'agit de mesures statiques qui peuvent être difficiles à évaluer et à interpréter pour des non-spécialistes. L'effet de la réverbération dépend de l'emplacement du locuteur(trice) par rapport à l'auditeur(trice) à l'intérieur de la pièce. La mesure rapportée est par conséquent souvent une moyenne spatiale de plusieurs emplacements. De même, les objectifs de niveau de bruit sont des moyennes temporelles sur un minimum de 4 heures, ce qui peut masquer l'impact d'un bruit fluctuant ou impulsif.

Le nombre d'erreurs commises par un système RAP est un indicateur intéressant de l'intelligibilité. Il est facile à interpréter, car il mesure directement la compréhensibilité de la parole, et son calcul ne nécessite que la transcription de la parole plutôt que le signal de parole original non déformée. Les systèmes RAP ont été utilisés pour estimer l'intelligibilité de la parole (Karbasi & Kolossa, 2022) et il a été constaté qu'ils pouvaient la prédire précisément pour un auditoire sans handicap auditif et malentendant, bien que la correspondance soit rompue dans des conditions de faible rapport signal sur bruit (Fontan et coll., 2017). L'omniprésence des téléphones intelligents, combinée à la vaste gamme de capteurs acoustiques pris en charge par de puissantes ressources informatiques mobiles, en fait un outil utile pour la détection portable ad hoc.

Pour nos expériences, nous avons mesuré le taux d'erreur de *Live Transcribe* de Google utilisé sur un téléphone intelligent durant des réunions réalistes dans une salle construite en 2020 sur le campus de l'Université Carleton. Un haut-parleur placé à l'extrémité de la table émettait une authentique voix humaine pour représenter le(la) locuteur(trice). Le son a été enregistré à l'aide d'un microphone omnidirectionnel, pour représenter un(e) participant(e) à distance, et d'un réseau de microphones à formation de faisceau pour représenter un(e) participant(e) en présentiel doté(e) d'une audition binaurale.

- Pour tester la meilleure performance possible, des enregistrements audios ont été réalisés à chaque place assise le long d'un des côtés de la table, avec une distance entre le haut-parleur et le microphone de 50 cm jusqu'à 5 m, par bonds de 50 cm. Dans cet environnement, l'atténuation, le bruit de la ventilation et la réverbération naturelle de la salle de réunion sont les seuls éléments à dégrader le signal.
- Pour imiter l'écoute dans le bruit, le microphone qui représente l'auditoire a été placé à 200 cm du haut-parleur, et la diffusion de bruit avec des haut-parleurs stéréo imitait un champ de bruit diffus. Le bruit ambiant de base dans la pièce était de 35 à 40 dBA et le bruit ajouté variait de 40 à 65 dBA, par paliers de 5 dB, ce qui rejoint les niveaux de bruit cible pour les espaces de bureau conformément à la norme ISO 22955:2021 (ISO, 2021).

- Pour imiter une conversation concurrente, deux haut-parleurs ont été placés l'un en face de l'autre à l'extrémité opposée de la table et ont joué une séquence de segments alternés de parole inversés dans le temps. L'inversion temporelle créait un signal de non-sens qui se comportait comme de la parole, mais que la RAP ne pouvait pas interpréter.

Conclusions

Nous avons constaté que dans une pièce calme avec un microphone proche, les systèmes RAP atteignent des taux de reconnaissance presque parfaits, et que la performance se dégrade progressivement à mesure que le niveau de bruit ou la distance du microphone augmentent. Lorsque le haut-parleur est très éloigné de la source sonore, ou lorsque le bruit environnant est trop fort, le signal principal est submergé et les performances de la RAP diminuent rapidement. Ces difficultés, auxquelles est également confronté l'auditoire humain, montrent que le taux d'erreur des systèmes de RAP peut servir d'indicateur de la qualité acoustique. Le traitement en faisceau améliore la stabilité et permet d'obtenir de meilleures performances dans des conditions plus bruyantes, à l'instar des avantages spatiaux dont bénéficie un auditoire humain. Ce résultat montre qu'une application RAP pour téléphone intelligent telle que *Live Transcribe* peut fournir une évaluation en temps réel, pratique et facilement disponible des effets du bruit et de la réverbération sur les auditeur(trice)s à distance, même lorsque ces distorsions ne sont pas apparentes pour les auditeur(trice)s sur place.

Les résultats de ce travail sont décrits plus en détail dans l'article *Room Acoustic Characterization with Smartphone-based Automated Speech Recognition* (Caractérisation acoustique d'une pièce à l'aide de la reconnaissance vocale automatisée sur téléphone intelligent), qui a été accepté au terme d'un examen par les pairs pour être présenté au *2023 IEEE Sensors Application Symposium* (Symposium sur le déploiement des capteurs de l'IEEE 2023).

6.4. Recherche – Lacunes et limites des normes acoustiques

Pour mieux comprendre et saisir l'impact de l'acoustique sur les personnes ayant un handicap, nous avons travaillé avec l'Inclusive Design Research Centre (IDRC) et des personnes ayant une expérience vécue du handicap, généralement désigné par le terme « expert(e)s ». Cela s'est fait par une enquête et deux sessions de cocréation avec les experts. Le sondage en ligne a demandé aux experts d'envisager des scénarios dans l'environnement bâti et à travers d'une approche de cocréation, ils ont été invités à raconter leur vie et l'impact de l'acoustique dans leur environnement à travers des récits.

L'IDRC a recruté 25 expert(e)s au sein de la communauté et leur a demandé de répondre à un court sondage et de participer à deux séances de cocréation de deux heures chacune. L'équipe de recherche a par la suite utilisé le sondage comme un outil de départ afin de fournir aux expert(e)s un contexte pour l'étude. Le sondage a recueilli des informations sur les expériences des experts avec le son et les obstacles au son dans les espaces publics. Le sondage a été utilisé pour recueillir les commentaires sur l'impact des normes existantes sur les personnes handicapées, tout en identifiant les domaines où les normes ne répondent pas à leurs besoins.

Les sessions de cocréation ont adopté une approche de création collective où le siège de l'expertise réside avec les personnes ayant une expérience vécue du handicap. La première des deux séances a permis de présenter les participant(e)s les un(e)s aux autres et de discuter du thème pour l'histoire qu'ils souhaitaient créer, en tant que groupe, lors de leur deuxième séance. Cette dernière a été utilisée

pour rédiger, créer et finaliser le récit que le groupe voulait partager. Les 25 expert(e)s ont été réparti(e)s en 4 groupes de 4 à 6 participant(e)s, chacun accompagné d'un membre de l'IDRC pour diriger et animer les séances. L'objectif de ces séances était d'écouter et d'apprendre de la réflexion des expert(e)s sur leur expérience de vie et sur l'acoustique dans l'environnement bâti.

L'approche narrative a permis aux expert(e)s d'utiliser leurs propres expériences pour illustrer l'impact réel de l'acoustique sur leur fonctionnement quotidien.

Résumés des récits

Récit 1 : De sa tête à son corps

Sous forme d'un balado, ce récit présente l'expérience d'un entraînement à la salle de sport pour les personnes en situation de handicap. Les participant(e)s expliquent comment l'endroit peut être inconfortable à cause des bruits forts, ce qui ne leur apporte pas de sentiment de bien-être, mais au contraire leur demande de dépenser de l'énergie simplement pour y être. Un(e) des narrateur(trices) a raconté que les bruits ambiants de la salle de sport étaient trop soudains et trop forts pour son animal

« En tant que personne qui ne peut pas voir, je me sers de la façon dont les sons rebondissent sur les différents objets dans mon environnement pour déterminer où je me situe. Par exemple, je peux entendre s'il y a une porte ouverte dans le couloir. Je peux aussi trouver la quatrième porte à droite en marchant le long du couloir et en comptant les ouvertures. Dans une salle d'entraînement, l'environnement est vaste. Il n'y a aucun moyen de savoir où l'on se trouve, si ce n'est grâce au toucher. » – Participant(e) à la cocréation

d'assistance, et qu'il était donc impossible pour cette personne et son animal de s'y aventurer.

Récit 2 : Aurel n'est pas étrangère aux obstacles

Cette histoire suit le déroulement d'une journée dans la vie d'une personne en situation de handicap. Elle met en évidence l'utilisation de technologies d'assistance et l'importance, ainsi que les particularités, de l'utilisation de ces technologies dans la vie quotidienne. L'accent est mis sur le nouvel environnement de travail alors que les employé(e)s sont de retour au bureau, et sur la préoccupation des niveaux de bruit pour cette personne, en particulier dans un environnement qui ne semble pas tenir compte de l'inclusion acoustique.

« Lorsque l'on fait un effort concret, même si l'expérience n'a pas été excellente, l'intention de la rendre plus inclusive peut tout de même la rendre plus agréable. » – Participant(e) à la cocréation

Récit 3 : Les sens : cocréation acoustique et au-delà

Cette histoire suit une personne malentendante qui donne des formations à des individus et à des

entreprises qui souhaitent mieux comprendre les besoins des personnes en situation de handicap auditif. Cette formation se déroule dans un centre de congrès, un lieu dont l'acoustique n'a pas été conçue pour atténuer les bruits, où les échos créent un environnement sonore qui rend la communication avec ses collègues presque impossible pour cette personne. Son histoire met l'accent sur la façon dont certains environnements excluent les personnes en situation de handicap, en plus de leur donner l'impression d'être incapables de contribuer à la conversation et d'être, de manière plus générale, inutiles.

Récit 4 : Un lieu communautaire inclusif

Ce récit raconte l'histoire d'une personne, Trevor, qui a récemment perdu l'ouïe et qui doit faire face aux difficultés liées à son handicap auditif lors d'un événement social avec ses amis (une séance de cinéma). Trevor était confiant, car il devait être accompagné d'amis pour l'aider à s'orienter dans la salle de cinéma, puisqu'il ne peut pas entendre par lui-même. Cependant, ses amis sont arrivés en avance et sont entrés sans l'attendre. Trevor se sent alors très anxieux et stressé par les interactions qu'il doit avoir avec l'agent(e) du guichet, puisque ses difficultés à entendre auront une incidence sur sa capacité à communiquer. Finalement, l'agent(e) lui propose un écran pour communiquer à l'écrit, ce qui permet à Trevor de se sentir très à l'aise et confiant dans cette expérience cinématographique.

Discussion

Cette approche narrative a mis en évidence l'importance de l'acoustique pour les personnes qui vivent avec différents types de handicaps. En effet, les personnes malentendantes ne sont pas les seules à être affectées par l'acoustique de leur environnement. De nombreux participant(e)s ont, par exemple, souligné les effets négatifs de l'augmentation du volume des sons destinés à être entendus par le plus grand nombre de personnes. Les thèmes communs et les émotions ressenties par les individus dans les récits sont des sentiments d'anxiété et de dépression en lien avec leur situation de handicap. Les histoires font également référence au sentiment d'incompétence que ressentent ces personnes qui ne peuvent pas contribuer à leur environnement social, ce qui les conduit à un état dépressif.

Les participant(e)s à ce projet de cocréation semblaient intéressé(e)s par le sujet et enthousiastes à l'idée de partager leurs points de vue et leurs expériences. Après la deuxième séance de cocréation, quelques groupes ont même demandé plus de temps pour développer et terminer leur récit afin de s'assurer qu'ils représentaient correctement leurs expériences. Ces heures supplémentaires, pour lesquelles ils n'ont pas été rémunérés, illustrent leur passion pour le partage de ces informations.

Cette approche a permis aux personnes ayant un handicap, qu'elles soient ou non atteintes de déficiences auditives, de partager leurs expériences et de souligner l'importance d'un environnement inclusif sur le plan acoustique.

Résumé et analyse

Une analyse plus approfondie des récits permet de formuler des recommandations basées sur différents éléments fréquemment mentionnés par les expert(e)s.

- Contrôle individuel des sons
 - Possibilité de contrôler, d'annuler et d'éviter chacun des bruits dans un environnement
- Systèmes et conception pour favoriser l'accessibilité
 - Dispositif pour les sous-titres
 - Boucles d'écoute

- Systèmes de localisation, d’alarme et d’assistance
 - Représentation visuelle de l’alarme auditive
- Structurel;
 - Grands espaces ouverts : les grands espaces peuvent avoir besoin d’un moyen physique ou technologique pour aider les personnes qui doivent s’orienter grâce aux sons
 - Locaux silencieux et accessibles pour équilibrer les endroits bruyants
 - Bureaux fermés ou cubicules
 - Mesures de réduction des bruits
 - Une réduction des surfaces dures pour améliorer l’acoustique
 - Une optimisation acoustique des murs, des plafonds et des revêtements afin de limiter la réverbération, la transmission du son et les bruits de fond dans les pièces.

L'autorisation éthique pour le projet a été obtenue de l'Université Carleton et tous les expert(e)s ont donné leur consentement éclairé. Les expert(e)s ont également été invités à signer un accord de licence de contributeur indiquant que le travail du groupe sera sous licence Creative Commons (CC By 4.0). Une analyse plus approfondie et des recommandations, qui se trouvent dans le rapport complet fourni par l’IDRC, intitulé « Projet acoustique : Cocréer les récits des expériences ».

6.5. Résumé de la section

- Les normes d’accessibilité acoustique ont pour objectif la création d’environnements bâtis utilisables et confortables pour les personnes en situation de handicap. La facilité d’utilisation et le confort ne peuvent pas être mesurés directement; c’est pourquoi les normes utilisent des mesures telles que le niveau de bruit, le temps de réverbération et l’insonorisation pour prédire le comportement des individus dans un espace. Ces mesures sont utiles, mais ne décrivent pas pleinement un lieu.
- L’accessibilité acoustique est abordée dans la section acoustique des normes d’accessibilité des bâtiments, et dans la section accessibilité des normes acoustiques des bâtiments. Ces différents types de normes ont une vision différente de l’accessibilité. La norme norvégienne et sa classification acoustique des bâtiments constituent un exemple d’une norme de construction rédigée en considérant l’accessibilité comme une caractéristique principale.
- De bonnes normes acoustiques ne garantissent toutefois pas une bonne acoustique dans les bâtiments. En effet, le succès des normes d’accessibilité dépend des personnes qui les mettent en application, et plus précisément de la compréhension et de l’appréciation par ces personnes des raisons à l’origine de ces recommandations. En bref, l’accessibilité est plus efficace lorsqu’elle est considérée comme un élément essentiel de la conception, plutôt que comme une composante que l’on peut greffer à la toute fin.

7. Recommandations et considérations

Dans cette section, nous présentons des stratégies pour limiter les obstacles et créer des environnements acoustiques bâtis plus accessibles. Les obstacles ont été identifiés à partir de revues de la littérature et auprès des personnes avec une expérience vécue du handicap qui ont participé à nos séances de cocréation, à notre sondage et à nos entretiens. Bon nombre de ces obstacles découlent d'un manque de compréhension des effets du son et du bruit sur le fonctionnement des personnes ayant divers handicaps. Puisque les sons sont invisibles, il est facile de négliger l'acoustique; même des personnes malentendantes n'en sont parfois pas conscientes et ne sont pas en mesure d'identifier ce qui les empêche de fonctionner dans un espace. L'accessibilité acoustique est souvent traitée comme une caractéristique accessoire centrée sur les formes de handicaps les plus visibles, telles qu'une perte auditive périphérique, et les obstacles les plus visibles, telles que des difficultés liées à la communication.

Les lignes directrices suivantes proposent des pratiques exemplaires et des recommandations en lien avec diverses priorités qui devraient faire l'objet d'une attention particulière lors de la conception et de la création d'un environnement bâti où l'acoustique et l'accessibilité ne sont pas accessoires, mais sont au contraire des propriétés essentielles de l'espace.

a) Concevoir pour la diversité

La conception accessible est une approche centrée sur l'humain. Lors de l'étape de conception, les espaces peuvent être rendus plus accessibles en reconnaissant et en intégrant la diversité des individus et les différentes façons dont elles accèdent à ces espaces :

1. **Diversité de fonctionnement** – De nombreux problèmes de santé peuvent avoir une incidence sur la réaction d'une personne face au son. Les plans d'accessibilité pour les espaces construits ne peuvent pas supposer qu'un handicap sera visible ou qu'il suivra un profil précis.
2. **Diversité de l'utilisation de la technologie** – L'utilisation des technologies d'assistance est déterminée par des facteurs personnels tels que le diagnostic, l'accès aux appareils, ainsi que la familiarité et l'aisance avec la technologie. L'utilisation d'un espace ne doit pas supposer ou exiger l'utilisation d'une technologie d'assistance précise.
3. **Diversité de sensibilité sensorielle** – Il existe une grande diversité de préférences et de niveaux de tolérance à la stimulation sonore, et cette diversité est encore plus grande chez les personnes en situation de handicap sensoriel. La possibilité de choisir un niveau de stimulation ou d'utiliser une technologie pour contrôler l'environnement sonore favorise l'autonomie des individus.
4. **Diversité des espaces** – Les zones calmes sont un élément d'accessibilité important dans les espaces aux environnements acoustiques bruyants et complexes. Elles constituent un refuge où les personnes atteintes d'hypersensibilité peuvent se reposer. Elles peuvent être utilisées pour des conversations tranquilles à l'abri du bruit et des sons concurrents, et permettent l'utilisation de technologies d'assistance, telles que des lecteurs d'écran et des logiciels de reconnaissance vocale.

b) Identifier et assister les fonctions du son;

Les sons remplissent de multiples rôles dans l'environnement bâti et s'accompagnent de différents défis et considérations :

1. **Le son pour communiquer** – La communication orale exige qu'un signal de parole parvienne à l'auditeur(trice) avec un volume et une clarté suffisante, ainsi qu'avec un minimum de bruits concurrents et de réverbération. Il faut tenir compte des troubles de la parole et de l'audition des locuteur(trice)s et de l'auditoire, tout en considérant la nature de la communication (conversation personnelle, présentation à un public ou réunion avec des participant(e)s en présence et à distance).
2. **Le son comme source d'information** – Le son est souvent utilisé pour diffuser des informations par le biais d'annonces, d'alarmes et de notifications. Ces diffusions doivent être claires et audibles. Dans les environnements complexes, l'amplification du son n'est pas suffisante pour garantir la compréhension du message. Il faut donc envisager de séparer l'information du son et de la présenter autrement, par exemple sous forme d'alertes visuelles.
3. **Le son pour s'orienter** - Les indices sonores peuvent fournir des informations d'orientation et de localisation aux personnes malvoyantes. Ces signaux doivent donc refléter fidèlement l'espace physique. D'autres méthodes d'orientation sont nécessaires dans de grands espaces ouverts ou dans des environnements acoustiques complexes, où les indices sonores peuvent se perdre ou être déformés.
4. **Le son comme source de plaisir** – Le son fait partie intégrante de l'expérience de certaines activités telles que la musique et les spectacles. Il faut mettre à disposition des sièges adaptés et des technologies d'assistance pour assurer un accès adéquat à ces activités.

c) Identifier et réduire les conséquences du bruit

Pour contrôler efficacement le bruit, il faut comprendre ses propriétés et la manière dont celles-ci contribuent aux répercussions du bruit sur le fonctionnement des personnes en situation de handicap :

1. **Le bruit comme obstacle à la communication** – Le bruit peut interférer avec les procédés d'audition et de traitement du son nécessaires lors d'une communication orale. Dans des scènes acoustiques complexes, des sources de bruit ou des locuteur(trice)s multiples complexifient la concentration sur un seul signal sonore, et ce même si chacun des bruits concurrents n'a pas un volume assez fort pour bloquer le son désiré.
2. **Le bruit comme obstacle à l'attention et à la concentration** – La capacité du bruit à distraire dépend davantage de ses caractéristiques que de son volume. Un bruit fort et régulier, tel que le son d'un ventilateur, peut être plus facile à ignorer qu'un son calme dont le niveau ou la fréquence fluctue. Même à faible niveau, la parole et les autres signaux qui contiennent des informations ont fortement tendance à distraire et peuvent donc constituer un obstacle à la concentration.
3. **Le bruit comme obstacle au bien-être émotionnel** – Les conséquences du bruit sur l'état émotionnel sont souvent liées à son imprévisibilité et à l'impossibilité de le contrôler. Les sons forts et soudains, ou l'anticipation de tels sons, peuvent déclencher des réactions négatives, en particulier chez les personnes anxieuses, stressées ou hypersensibles. L'exposition prolongée au bruit, même si elle est régulière et de faible intensité, peut aggraver les problèmes de santé mentale.

d) Évaluer et réévaluer l'accessibilité acoustique

Concevoir en considérant l'acoustique et l'accessibilité comme des éléments essentiels signifie prendre en compte et évaluer la qualité acoustique dans toutes les phases du cycle de vie du bâtiment :

1. **Planification** – Choisir un emplacement et une orientation pour le bâtiment qui tiennent compte des bruits présents dans l’environnement. Attribuer et aménager les espaces en tenant compte des activités et des bruits associés à chacune d’entre elles, ainsi que des bruits d’entrée, de sortie et de mouvement à travers et entre les pièces.
2. **Conception** – Identifier les impératifs acoustiques d’un espace. Déterminer la forme, le volume et les caractéristiques acoustiques de la pièce pour contrôler la transmission et la réflexion du son afin de répondre à ces impératifs. Concevoir des espaces de transitions, tels que des couloirs, pour assurer la conduction du son et l’isolation entre les pièces.
3. **Construction** – Choisir des finis de surface et des méthodes de construction qui répondent aux objectifs de conception. S’assurer que l’espace comprend, ou est compatible avec, des technologies d’assistance. Mesurer les performances après la construction pour vérifier que les objectifs sont atteints.
4. **Utilisation** – Évaluer les performances acoustiques de l’espace fini et meublé pour vérifier qu’il répond aux besoins des activités qui s’y déroulent. Puisque les espaces évoluent au fil du temps, il faut surveiller les performances acoustiques et les réévaluer en cas de changement en matière d’activités, d’équipement ou d’ameublement.

Les mesures de performance de l’insonorisation, du niveau de bruit et du temps de réverbération sont utiles pour évaluer et vérifier une conception ou un espace bâti. Toutefois, à elles seules, ces mesures ne sont pas suffisantes pour déterminer si un espace est pleinement accessible.

e) Normaliser et favoriser l’utilisation des technologies d’assistance

Bien que les technologies d’assistance ne remplacent pas une bonne conception acoustique, elles peuvent permettre une pleine participation aux activités au sein d’un espace. Nos recherches ont permis d’identifier des obstacles à l’accès et à l’utilisation des technologies d’assistance. Les sous-recommandations suivantes peuvent aider les individus, les organisations et les établissements à accroître l’adoption, la compréhension et l’acceptation des technologies d’assistance dans des environnements bâtis :

1. **Universaliser les fonctionnalités d’accessibilité** – L’utilisation d’appareils et de fonctionnalités que l’on qualifie d’accessibles ou d’assistance nécessite souvent de divulguer la situation de handicap. Le succès de technologies telles que le sous-titrage et la reconnaissance vocale automatisée montre que cette divulgation contre son gré peut être évitée. Il faut donc traiter les fonctionnalités d’accessibilité comme un autre moyen pour les individus de personnaliser leur expérience. Une technologie nécessaire pour certains peut être utile pour tous, et une utilisation accrue des fonctions d’accessibilité par toutes les personnes, qu’elles soient en situation de handicap ou non, peut réduire la stigmatisation et améliorer les performances de ces fonctions.
2. **Réduire les obstacles à l’accès aux technologies d’assistance** – Les mesures d’adaptation permettant l’utilisation des technologies d’assistance sur le lieu de travail et dans les écoles sont souvent basées sur un diagnostic précis et nécessitent de divulguer sa situation de handicap. De plus, l’achat de technologies d’assistance spécialisées pour un usage personnel peut représenter une lourde charge financière. Il faut faciliter l’accès et le rendre plus équitable en fournissant des appareils sur la base des bienfaits pour les individus plutôt que du diagnostic et offrir un soutien financier pour compenser leur coût.

3. **Fournir un soutien continu concernant les technologies d'assistance** – La technologie d'assistance reste souvent inutilisée en raison d'un manque d'entretien ou de sensibilisation du personnel. Les plans relatifs aux technologies d'assistance doivent être étendus au-delà de l'achat initial et comprendre une formation et un soutien continus pour leur utilisation adéquate.
4. **Intégrer aux technologies personnelles** – Lors de la sélection des technologies d'assistance, il faut privilégier les solutions qui s'intègrent à des dispositifs personnels, tels que des téléphones cellulaires ou des appareils auditifs personnels, plutôt que celles qui nécessitent du matériel spécialisé. Les téléphones mobiles sont omniprésents, polyvalents et couramment utilisés comme dispositifs d'assistance informels (comme microphones à distance, récepteurs de suppléance à l'audition ou systèmes de sous-titrage portatifs, par exemple). L'utilisation d'un appareil personnel est familière et permet aux utilisateur(trice)s de mieux contrôler leur utilisation de la technologie.
5. **Soutenir des solutions non technologiques** – Les stratégies relatives aux technologies d'assistance ne doivent pas omettre les solutions d'accessibilité qui ne sont pas, ou peu, associées à la technologie. Ces solutions sont souvent les plus universelles et les plus fiables. Il s'agit par exemple de signalisations pour l'orientation, de matériel d'écriture pour la communication non verbale, de notes de cours et de documents distribués comme formats supplémentaires pour l'apprentissage, et de règlements en matière de comportement et de bienséance pour aider à contrôler le bruit et les perturbations sonores.

8. Bibliographie

- Acoustical Society of America. (2010). ANSI S12. 60-2010-American National Standard : Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1. *Part 1 : Permanent Schools*.
- Alcántara, J. I., Weisblatt, E. J. L., Moore, B. C. J., & Bolton, P. F. (2004). Speech-in-noise perception in high-functioning individuals with autism or Asperger's syndrome. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(6), 1107–1114. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.t01-1-00303.x>
- American Speech-Language-Hearing Association. (n.d.-a). *Central Auditory Processing Disorder (Practice Portal)*. American Speech-Language-Hearing Association; American Speech-Language-Hearing Association. Retrieved January 30, 2023, from <https://www.asha.org/practice-portal/clinical-topics/central-auditory-processing-disorder/>
- American Speech-Language-Hearing Association. (n.d.-b). *Hearing Loss in Adults (Practice Portal)*. American Speech-Language-Hearing Association. Retrieved February 1, 2023, from <https://www.asha.org/practice-portal/clinical-topics/hearing-loss/>
- American Speech-Language-Hearing Association. (n.d.-c). *Hearing-Related Topics: Terminology Guidance*. American Speech-Language-Hearing Association; American Speech-Language-Hearing Association. Retrieved February 6, 2023, from <https://www.asha.org/practice-portal/hearing-related-topics-terminology-guidance/>
- American Speech-Language-Hearing Association. (2005). *(Central) auditory processing disorders-the role of the audiologist*.
- Ang, L. Y. L., Koh, Y. K., & Lee, H. P. (2017). The performance of active noise-canceling headphones in different noise environments. *Applied Acoustics*, 122, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.02.005>
- Audiology, C. A. of. (2019). Hearing Loop – the Preferred Large Area Assistive Listening System: Here's Why. *Canadian Audiologist*, 6(1). <https://canadianaudiologist.ca/hearing-loop-large-area-system-feature/>
- Bakke, M., Levitt, H., Ross, M., & Erickson, F. (1999). Large area Assistive Listening Systems (ALS): Review and recommendations. *Final Report to United States Architectural and Transportation Barriers Compliance Board*. Retrieved from <https://www.access-board.gov/Attachments/Article/1204/Als.Pdf>
- Bamiou, D.-E., Musiek, F. E., & Luxon, L. M. (2001). Aetiology and clinical presentations of auditory processing disorders—A review. *Archives of Disease in Childhood*, 85(5), 361–365. <https://doi.org/10.1136/ad.85.5.361>
- Bamiou, D.-E., Werring, D., Cox, K., Stevens, J., Musiek, F. E., Brown, M. M., & Luxon, L. M. (2012). Patient-Reported Auditory Functions After Stroke of the Central Auditory Pathway. *Stroke*, 43(5), 1285–1289. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.111.644039>
- Bavelier, D., & Neville, H. J. (2002). Cross-modal plasticity: Where and how? *Nature Reviews Neuroscience*, 3 (6), 443–452.
- BBC News. (2021, November 15). Young viewers prefer TV subtitles, research suggests. *BBC News*. <https://www.bbc.com/news/entertainment-arts-59259964>
- Bennett, R. J., Barr, C., Cortis, A., Eikelboom, R. H., Ferguson, M., Gerace, D., Heffernan, E., Hickson, L., van Leeuwen, L., Montano, J., Preminger, J. E., Pronk, M., Saunders, G. H., Singh, G., Timmer, B. H. B., Weinstein, B., & Bellekom, S. (2021). Audiological approaches to address the psychosocial needs of adults with hearing loss: Perceived benefit and likelihood of use. *International Journal of Audiology*, 60(sup2), 12–19. <https://doi.org/10.1080/14992027.2020.1839680>
- Berardi, U. (2017). Teaching acoustics in architectural programs in Canada. *Canadian Acoustics - Acoustique Canadienne*, 45.

- Bergmark, K., & Janssen, M. R. (2008). Developing acoustical policies around in EU countries. *Journal of the Acoustical Society of America*, 123(5), 3094.
- Bluetooth. (2022, September 30). *LE Audio Adds Support for Hearing Aids and Introduces a Major Audio Innovation*. Bluetooth® Technology Website. <https://www.bluetooth.com/blog/how-le-audio-will-enhance-audio-performance/>
- Boroujeni, F. M., Heidari, F., Rouzbahani, M., & Kamali, M. (2017). Comparison of auditory stream segregation in sighted and early blind individuals. *Neuroscience Letters*, 638, 218–221. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2016.12.022>
- Bottalico, P., Piper, R., & Legner, B. (2020). *Lombard Effect, Ambient Noise and Willingness to Spend Time and Money in a Restaurant Amongst Older Adults*. 3055–3062.
- Boxall, A. (2021, June 29). *Noise Canceling Headphones Are My Fortress of Solitude*. Digital Trends. <https://www.digitaltrends.com/mobile/how-noise-canceling-headphones-helped-me-cope-with-anxiety/>
- Bradette, A. (2019). The Acoustic Classification System in Norway. Overview and some conclusions after more than 20 years experience. *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, 259(7), 2804–2809.
- Bradley, J. S. (2003). The acoustical design of conventional open plan offices. *Canadian Acoustics*, 31(2), 23–34.
- Bradley, J. S. (2009). *A new look at acoustical criteria for classrooms*. 1–9.
- Bradley, J. S. (2011). Review of objective room acoustics measures and future needs. *Applied Acoustics*, 72(10), 713–720. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.04.004>
- Bregman, A. S. (1994). *Auditory scene analysis: The perceptual organization of sound*. MIT press.
- Brill, L., Smith, K., & Wang, L. (2018). Building a Sound Future for Students: Considering the Acoustics in Occupied Active Classrooms. *Acoustics Today*, 14(3), 14–22.
- Bronkhorst, A. (2000). The Cocktail Party Phenomenon: A Review of Research on Speech Intelligibility in Multiple-Talker Conditions. *Acta Acustica United with Acustica*, 86, 117–128.
- Buschman, T. J., & Miller, E. K. (2007). Top-Down Versus Bottom-Up Control of Attention in the Prefrontal and Posterior Parietal Cortices. *Science*, 315 (5820), 1860–1862. <https://doi.org/10.1126/science.1138071>
- Busch-Vishniac, I. J., West, J. E., Barnhill, C., Hunter, T., Orellana, D., & Chivukula, R. (2005). Noise levels in Johns Hopkins Hospital. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 118(6), 3629–3645. <https://doi.org/10.1121/1.2118327>
- Canning, D., Cogger, N., Greenland, E., Harvie-Clark, J., James, A., Oeters, D., Orłowski, R., Parkin, A., Richardson, R., & Shield, B. (2015). *Acoustics of Schools: A design guide*. Institute of Acoustics & Association of Noise Consultants, London.
- Conway, A. R. A., Cowan, N., & Bunting, M. F. (2001). The cocktail party phenomenon revisited: The <https://doi.org/10.3758/BF03196169>
- Cook, A., Bradley-Johnson, S., & Johnson, C. M. (2014). Effects of white noise on off-task behavior and academic responding for children with ADHD. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 47(1), 160–164. <https://doi.org/10.1002/jaba.79>
- Crawley, M. (2022, October 20). *Hearing aids just got dramatically cheaper in the U.S. Will it happen in Canada? | CBC News*. CBC. <https://www.cbc.ca/news/health/hearing-aids-over-the-counter-us-canada-1.6622197>
- Cutter, C., & Bobrowsky, M. (2023, February 16). Inside Meta’s Push to Solve the Noisy Office. *Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/inside-metas-push-to-solve-the-noisy-office-ba43042>

- Daniels, R. (2015). *BB93: Acoustic design of schools - performance standards*.
<https://www.gov.uk/government/publications/bb93-acoustic-design-of-schools-performance-standards>
- Denk, F., Schepker, H., Doclo, S., & Kollmeier, B. (2020). Acoustic transparency in hearables—Technical evaluation. *Journal of the Audio Engineering Society*, *68*(7/8), 508–521.
- Drever, J. L. (2017, July 23). *The Case For Auraldiversity In Acoustic Regulations And Practice: The Hand Dryer Noise Story*. 24th International Congress on Sound and Vibration (ICSV24), IIAV.
<http://www.icsv24.org/>
- Dunlop, W. A., Enticott, P. G., & Rajan, R. (2016). Speech Discrimination Difficulties in High-Functioning Autism Spectrum Disorder Are Likely Independent of Auditory Hypersensitivity. *Frontiers in Human Neuroscience*, *10*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2016.00401>
- Fontan, L., Ferran, é I., Farinas, J., Pinquier, J., Tardieu, J., Magnen, C., Gaillard, P., Aumont, X., & üllgrabe C. (2017). Automatic Speech Recognition Predicts Speech Intelligibility and Comprehension for Listeners With Simulated Age-Related Hearing Loss. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *60*(9), 2394–2405. https://doi.org/10.1044/2017_JSLHR-S-16-0269
- Freyaldenhoven, M. C., Thelin, J. W., Plyler, P. N., Nabelek, A. K., & Burchfield, S. B. (2005). Effect of Stimulant Medication on the Acceptance of Background Noise in Individuals with Attention Deficit/Hyperactivity Disorder. *Journal of the American Academy of Audiology*, *16*(9), 677–686.
<https://doi.org/10.3766/jaaa.16.9.5>
- Gallun, F. J. (2021). Impaired Binaural Hearing in Adults: A Selected Review of the Literature. *Frontiers in Neuroscience*, *15*, 610 957. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.610957>
- Gallun, F. J., Lewis, M. S., Folmer, R. L., Hutter, M., Papesh, M. A., Belding, H., & Leek, M. R. (2016). Chronic effects of exposure to high-intensity blasts: Results of tests of central auditory processing. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, *53*(6).
- Gallun, F. J., Papesh, M. A., & Lewis, M. S. (2017). Hearing complaints among veterans following traumatic brain injury. *Brain Injury*, *31*(9), 1183–1187.
<https://doi.org/10.1080/02699052.2016.1274781>
- Garber, S. F., Siegel, G. M., Pick, H. L., & Alcorn, S. R. (1976). The Influence of Selected Masking Noises on Lombard and Sidetone Amplification Effects. *Journal of Speech and Hearing Research*, *19*(3), 523–535. <https://doi.org/10.1044/jshr.1903.523>
- Gernsbacher, M. A. (2015). Video Captions Benefit Everyone. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, *2*(1), 195–202. <https://doi.org/10.1177/2372732215602130>
- Government of Canada, S. C. (2018, December 14). *Type of disability for persons with disabilities aged 15 years and over, by age group and sex, Canada, provinces and territories*.
<https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/en/tv.action?pid=1310037601>
- Graham, M. E. (2020). Long-term care as contested acoustical space: Exploring resident relationships and identities in sound. *Building Acoustics*, *27*(1), 61–73.
<https://doi.org/10.1177/1351010X19890478>
- Grandin, T. (1992). An inside view of autism. *High-Functioning Individuals with Autism*, 105–126.
- Harvey, K. (2021). *Should Acoustic Simulation Technology be Utilised in Architectural Practice? Does it have the Potential for BIM Integration?*
- Hein, E. (2022, July 19). *Where's the fun in accessibility?* <https://elisehe.in/2022/07/19/the-fun-in-accessibility.html>
- Heylighen, A., Vermeir, G., & Rychtarikova, M. (2008). *The Sound of Inclusion: A Case Study on Acoustic Comfort for All* (pp. 75–84). https://doi.org/10.1007/978-1-84800-211-1_8

- IHAC. (2019). *Telecoil and Hearing Loop Obsolescence 10-15 years and beyond*. International Hearing Access Committee. <https://www.efhoh.org/wp-content/uploads/2019/08/IHAC-Hearing-Loops-and-Telecoils-statement-June19AT-7.pdf>
- ISO. (2021). *22955: 2021 Acoustics—Acoustic Quality of Open Office Spaces*. International Organization for Standardization.
- Iva, P., Fielding, J., Clough, M., White, O., Noffs, G., Godic, B., Martin, R., van der Walt, A., & Rajan, R. (2021). Speech discrimination impairments as a marker of disease severity in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, *47*, 102608. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2020.102608>
- Jahncke, H., & Halin, N. (2012). Performance, fatigue and stress in open-plan offices: The effects of noise and restoration on hearing impaired and normal hearing individuals. *Noise and Health*, *14*(60), 260. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.102966>
- Janus, S. I. M., Kusters, J., Bosch, K. A. van den, Andringa, T. C., Zuidema, S. U., & Luijendijk, H. J. (2021). Sounds in nursing homes and their effect on health in dementia: A systematic review. *International Psychogeriatrics*, *33*(6), 627–644. <https://doi.org/10.1017/S1041610220000952>
- Jüris, L., Andersson, G., Larsen, H. C., & Ekselius, L. (2013). Psychiatric comorbidity and personality traits in patients with hyperacusis. *International Journal of Audiology*, *52*(4), 230–235. <https://doi.org/10.3109/14992027.2012.743043>
- Kahn, D. W. (2021). How Room Acoustics Design of Worship Spaces Is Shaped by Worship Styles and Priorities. *Acoustics Today*, *17*(3), 31. <https://doi.org/10.1121/AT.2021.17.3.31>
- Kanakri, S. M., Shepley, M., Varni, J. W., & Tassinari, L. G. (2017). Noise and autism spectrum disorder in children: An exploratory survey. *Research in Developmental Disabilities*, *63*, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2017.02.004>
- Karbasi, M., & Kolossa, D. (2022). ASR-based speech intelligibility prediction: A review. *Hearing Research*, *426*, 108606. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2022.108606>
- Kari, T., Makkonen, M., & Frank, L. (2017). The Effect of Using Noise Cancellation Earplugs In Open-Plan Offices On The Offices On The Work Well-Being And Work Performance Of Software Professionals. *MCIS 2017 Proceedings*. <https://aisel.aisnet.org/mcis2017/36>
- Kidd, G., Arbogast, T. L., Mason, C. R., & Gallun, F. J. (2005). The advantage of knowing where to listen. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *118*(6), 3804–3815. <https://doi.org/10.1121/1.2109187>
- Kitterick, P. T., Bailey, P. J., & Summerfield, A. Q. (2010). Benefits of knowing who, where, and when in multi-talker listening. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *127*(4), 2498–2508. <https://doi.org/10.1121/1.3327507>
- Koohi, N., Vickers, D. A., Lakshmanan, R., Chandrashekar, H., Werring, D. J., Warren, J. D., & Bamiou, D.-E. (2017). Hearing Characteristics of Stroke Patients: Prevalence and Characteristics of Hearing Impairment and Auditory Processing Disorders in Stroke Patients. *Journal of the American Academy of Audiology*, *28*(6), 491–505. <https://doi.org/10.3766/jaaa.15139>
- Kujala, T., Alho, K., Huotilainen, M., Ilmoniemi, R. J., Lehtokoski, A., Leinonen, A., Rinne, T., Salonen, O., Sinkkonen, J., Standertskjöld-Nordenstam, C.-G., & Näätänen, R. (1997). Electrophysiological evidence for cross-modal plasticity in humans with early- and late-onset blindness. *Psychophysiology*, *34*(2), 213–216. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02134.x>
- Kulawiak, P. R. (2021). Academic benefits of wearing noise-cancelling headphones during class for typically developing students and students with special needs: A scoping review. *Cogent Education*, *8*(1), 1957530. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2021.1957530>
- Larsby, B., Hällgren, M., Lyxell, B., & Arlinger, S. (2005). Cognitive performance and perceived effort in speech processing tasks: Effects of different noise backgrounds in normal-hearing and hearing-

- impaired subjects. *International Journal of Audiology*, 44(3), 131–143.
<https://doi.org/10.1080/14992020500057244>
- Lawson, N., Thompson, K., Saunders, G., Saiz, J., Richardson, J., Brown, D., Ince, N., Caldwell, M., & Pope, D. (2010). Sound Intensity and Noise Evaluation in a Critical Care Unit. *American Journal of Critical Care*, 19(6), e88–e98. <https://doi.org/10.4037/ajcc2010180>
- Lazarus, H. (1986). Prediction of Verbal Communication in Noise—A review: Part 1. *Applied Acoustics*, 19(6), 439–464. [https://doi.org/10.1016/0003-682X\(86\)90039-3](https://doi.org/10.1016/0003-682X(86)90039-3)
- Levine, R. A., Gardner, J. C., Stufflebeam, S. M., Fullerton, B. C., Carlisle, E. W., Furst, M., Rosen, B. R., & Kiang, N. Y. S. (1993). Binaural auditory processing in multiple sclerosis subjects. *Hearing Research*, 68(1), 59–72. [https://doi.org/10.1016/0378-5955\(93\)90065-9](https://doi.org/10.1016/0378-5955(93)90065-9)
- Liebich, S., Fabry, J., Jax, P., & Vary, P. (2018). Signal Processing Challenges for Active Noise Cancellation Headphones. *Speech Communication; 13th ITG-Symposium*, 1–5.
- Lin, F. R., Yaffe, K., Xia, J., Xue, Q.-L., Harris, T. B., Purchase-Helzner, E., Satterfield, S., Ayonayon, H. N., Ferrucci, L., Simonsick, E. M., & Health ABC Study Group, for the. (2013). Hearing Loss and Cognitive Decline in Older Adults. *JAMA Internal Medicine*, 173(4), 293–299.
<https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.1868>
- Lind, C., Meyer, C., & Young, J. (2016). Hearing and Cognitive Impairment and the Role of the International Classification of Functioning, Disability and Health as a Rehabilitation Framework. *Seminars in Hearing*, 37(3), 200–215. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1584410>
- Loizides, F., Basson, S., Kanevsky, D., Prilepova, O., Savla, S., & Zaraysky, S. (2020). Breaking Boundaries with Live Transcribe: Expanding Use Cases Beyond Standard Captioning Scenarios. *The 22nd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, 1–6.
<https://doi.org/10.1145/3373625.3417300>
- Long, M. (2005). *Architectural acoustics*. Elsevier.
- M. Kanakri, S. (2017). Spaces Matters: Classroom Acoustics and Repetitive Behaviors in Preschool Children with Autism. *American Journal of Pediatrics*, 3(6), 89.
<https://doi.org/10.11648/j.ajp.20170306.15>
- Mackrill, J., Jennings, P., & Cain, R. (2014). Exploring positive hospital ward soundscape interventions. *Applied Ergonomics*, 45(6), 1454–1460. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.04.005>
- Mahn, J. (2021). *The Effect of Acoustics on Accessibility in the Built Environment for Persons with Disabilities—Office Buildings* (No. A1-019011.2). NRC Construction.
- Millett, P., Jutras, B., Noel, G., Pichora-Fuller, K., Watson, C., & Nelson, A. (2012). Canadian guideline on auditory processing disorder in children and adults: Assessment and intervention. *Canadian Interorganizational Steering Group for Audiology and Speech-Language Pathology*.
- Milo, A. (2020). The acoustic designer: Joining soundscape and architectural acoustics in architectural design education. *Building Acoustics*, 27(2), 83–112.
- Molesworth, B. R. C., Burgess, M., & Kwon, D. (2013). The use of noise cancelling headphones to improve concurrent task performance in a noisy environment. *Applied Acoustics*, 74(1), 110–115. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2012.06.015>
- Moore, D., Campbell, N., Rosen, S., Bamiou, D.-E., Sirimanna, T., Grant, P., & Wakeham, K. (2018). *British Society of Audiology Position Statement & Practice Guidance: Auditory Processing Disorder (APD)*.
- Moore, D. R. (2018). Auditory processing disorder (APD). *Ear and Hearing*, 39(4), 617–620.
<https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000582>
- Mostafa, M. (2008). An architecture for autism: Concepts of design intervention for the autistic user. *International Journal of Architectural Research*, 2(1), 189–211.

- Mottron, L., Dawson, M., Soulières, I., Hubert, B., & Burack, J. (2006). Enhanced perceptual functioning in autism: An update, and eight principles of autistic perception. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(1), 27–43. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s10803-005-0040-7>
- Mueller, B. J., Liebl, A., Herget, N., Kohler, D., & Leistner, P. (2022). Using active noise-cancelling headphones in open-plan offices: No influence on cognitive performance but improvement of perceived privacy and acoustic environment. *Frontiers in Built Environment*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2022.962462>
- Murphy, D. R., Daneman, M., & Schneider, B. A. (2006). Why do older adults have difficulty following conversations? *Psychology and Aging*, 21, 49–61. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.21.1.49>
- Musiek, F., Baran, J., Bellis, T., Chermak, G., Hall, J., Keith, R., & Nagle, S. (2010). *American Academy of Audiology clinical practice guidelines: Diagnosis, treatment, and management of children and adults with central auditory processing disorder*.
- Naef, B., & Perez-Leclerc, M. (2019). *Bill C-81 : An Act to ensure a barrier-free Canada*. Library of Parliament.
- Nathoo, Z. (2019, December 2). *New York Philharmonic’s historic hall is getting a facelift—And a Canadian is leading it | CBC News*. CBC. <https://www.cbc.ca/news/entertainment/canadian-architect-revamping-ny-philharmonic-hall-1.5380203>
- Navai, M., & Veitch, J. A. (2003). *Acoustic Satisfaction in Open-Plan Offices: Review and Recommendations* (p. 22 p.). National Research Council of Canada. <https://doi.org/10.4224/20386513>
- Neave, -DiToro Dorothy, Fuse, A., & Bergen, M. (2021). Knowledge and Awareness of Ear Protection Devices for Sound Sensitivity by Individuals With Autism Spectrum Disorders. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 52(1), 409–425. https://doi.org/10.1044/2020_LSHSS-19-00119
- Neerinx, M. A., Cremers, A. H. M., Kessens, J. M., van Leeuwen, D. A., & Truong, K. P. (2009). Attuning speech-enabled interfaces to user and context for inclusive design: Technology, methodology and practice. *Universal Access in the Information Society*, 8(2), 109–122. <https://doi.org/10.1007/s10209-008-0136-x>
- Nelson, P. B., & Soli, S. (2000). Acoustical Barriers to Learning: Children at Risk in Every Classroom. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 31(4), 356–361. <https://doi.org/10.1044/0161-1461.3104.356>
- Nilsson, M. E. (2007). A-weighted sound pressure level as an indicator of short-term loudness or annoyance of road-traffic sound. *Journal of Sound and Vibration*, 302(1), 197–207. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2006.11.010>
- O’Connor, K. (2012). Auditory processing in autism spectrum disorder: A review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(2), 836–854. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.008>
- Olshausen, J. (2019). *Acoustic regulations and design of the multipurpose hall and exhibition halls of the new Munch museum in Oslo*. Universitätsbibliothek der RWTH Aachen.
- Ontario. (2015). *Long-Term Care Home Design Manual 2015*. Ontario Ministry of Health and Long-Term Care. https://www.health.gov.on.ca/en/public/programs/ltc/docs/home_design_manual.pdf
- Ovans, R. (1996). Equalization in sound reinforcement: Psychoacoustics, methods, and issues. *Canadian Acoustics*, 24(1), 13–22.
- Oxenham, A. J. (2018). How We Hear: The Perception and Neural Coding of Sound. *Annual Review of Psychology*, 69, 27–50. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122216-011635>
- Peelle, J. E., Troiani, V., Wingfield, A., & Grossman, M. (2010). Neural Processing during Older Adults’ Comprehension of Spoken Sentences: Age Differences in Resource Allocation and Connectivity. *Cerebral Cortex (New York, NY)*, 20(4), 773–782. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp142>

- Pelletier, M. -F., Hodgetts, H. M., Lafleur, M. F., Vincent, A., & Tremblay, S. (2016). Vulnerability to the irrelevant sound effect in adult ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 20(4), 306–316.
- Peters, B. (2015). Integrating acoustic simulation in architectural design workflows: The FabPod meeting room prototype. *SIMULATION*, 91 (9), 787–808. <https://doi.org/10.1177/0037549715603480>
- Pfeiffer, B., Erb, S. R., & Slugg, L. (2019). Impact of Noise-Attenuating Headphones on Participation in the Home, Community, and School for Children with Autism Spectrum Disorder. *Physical & Occupational Therapy In Pediatrics*, 39(1), 60–76. <https://doi.org/10.1080/01942638.2018.1496963>
- Pfleiderer, B., Zinkirciran, S., Michael, N., Hohoff, C., Kersting, A., Arolt, V., Deckert, J., & Domschke, K. (2010). Altered auditory processing in patients with panic disorder: A pilot study. *The World Journal of Biological Psychiatry*, 11(8), 945–955. <https://doi.org/10.3109/15622975.2010.490273>
- Pichora-Fuller, M. K., & Singh, G. (2006). Effects of Age on Auditory and Cognitive Processing: Implications for Hearing Aid Fitting and Audiologic Rehabilitation. *Trends in Amplification*, 10 (1), 29–59. <https://doi.org/10.1177/108471380601000103>
- Picou, E. M. (2020). MarkeTrak 10 (MT10) Survey Results Demonstrate High Satisfaction with and Benefits from Hearing Aids. *Seminars in Hearing*, 41(1), 21–36. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1701243>
- PSPC. (2022). *GCWorkplace Design Guide*. PSPC Accomodation Management and Workplace Solutions. https://wiki.gccollab.ca/images/9/9d/GCworkplace_Design_Guide_EN.pdf
- Purdy, S. C., Wanigasekara, I., Cañete, O. M., Moore, C., & McCann, C. M. (2016). Aphasia and Auditory Processing after Stroke through an International Classification of Functioning, Disability and Health Lens. *Seminars in Hearing*, 37(3), 233–246. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1584408>
- Radford, A., Kim, J. W., Xu, T., Brockman, G., McLeavey, C., & Sutskever, I. (2022). *Robust speech recognition via large-scale weak supervision*. Tech. Rep., Technical report, OpenAI.
- Remington, A., & Fairnie, J. (2017). A sound advantage: Increased auditory capacity in autism. *Cognition*, 166, 459–465. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.04.002>
- Renel, W. (2019). Sonic Accessibility: Increasing Social Equity Through the Inclusive Design of Sound in Museums and Heritage Sites. *Curator: The Museum Journal*, 62(3), 377–402. <https://doi.org/10.1111/cura.12311>
- Reyes, K. (2023, February 5). *Canadian architects help lift “curse” of bad sound at New York’s famed Lincoln Center* | CBC News. CBC. <https://www.cbc.ca/news/entertainment/lincoln-center-sound-diamond-schmitt-1.6736541>
- Riccio, C. A., Hynd, G. W., Cohen, M. J., Hall, J., & Molt, L. (1994). Comorbidity of central auditory processing disorder and attention-deficit hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 33(6), 849–857. <https://doi.org/10.1097/00004583-199407000-00011>
- Rindel, J. H. (2012). Acoustical capacity as a means of noise control in eating establishments. *Proceedings of BNAM*, 2429.
- Rosenthal, U., Nordin, V., Sandström, M., Ahlsén, G., & Gillberg, C. (1999). Autism and Hearing Loss. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 29(5), 349–357. <https://doi.org/10.1023/A:1023022709710>
- Roy, K. P. (2019). Satisfying Hunger, Thirst, and Acoustic Comfort in Restaurants, Diners, and Bars...Is This an Oxymoron? *Acoustics Today*, 15(2), 20. <https://doi.org/10.1121/AT.2019.15.2.20>
- Ryhl, C. (2013). Accessibility and sensory experiences: Designing dwellings for the visual and hearing impaired. *NA*, 22(1/2), Article 1/2. <http://arkitekturforskning.net/na/article/view/69>
- Ryhl, C. (2016a). So Much More Than Building Regulations: Universal Design and the Case of Practice. In *Accessibility as a key enabling knowledge for enhancement of cultural heritage* (pp. 115–130).

- Edizioni FrancoAngeli. <https://www.semanticscholar.org/paper/So-Much-More-Than-Building-Regulations%3A-Universal-Ryhl/6fbe1c59fd6d5080d15c875ea5fe9ac90a3e5341>
- Ryhl, C. (2016b). *Can You Hear Architecture: Inclusive Design and Acoustics in the Nordic Region* (pp. 191–200). https://doi.org/10.1007/978-3-319-41962-6_17
- Salandin, A., Arnold, J., & Kornadt, O. (2011). Noise in an intensive care unit. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *130*(6), 3754–3760. <https://doi.org/10.1121/1.3655884>
- Schepker, H., Denk, F., Kollmeier, B., & Doclo, S. (2020). Acoustic transparency in hearables—Perceptual sound quality evaluations. *Journal of the Audio Engineering Society*, *68*(7/8), 495–507.
- Sheridan, T., & Van Lengen, K. (2003). Hearing Architecture. *Journal of Architectural Education*, *57*(2), 37–44. <https://doi.org/10.1162/104648803770558978>
- Shinn-Cunningham, B. G. (2008). Object-based auditory and visual attention. *Trends in Cognitive Sciences*, *12* (5), 182 –186. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.02.003>
- Shinn-Cunningham, B. G., & Best, V. (2008). Selective attention in normal and impaired hearing. *Trends in Amplification*, *12* (4), 283 –299. <https://doi.org/10.1177/1084713808325306>
- Söderlund, G., Sikström, S., & Smart, A. (2007). Listen to the noise: Noise is beneficial for cognitive performance in ADHD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *48*(8), 840–847. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2007.01749.x>
- Stach, B. A., Spretnjak, M. L., & Jerger, J. (1990). The prevalence of central presbycusis in a clinical population. *Journal of the American Academy of Audiology*, *1*(2), 109–115.
- Standards Norway. (2019). *Acoustic conditions in buildings. Sound classification of various types of buildings*. (NS 8175).
- Tarlao, C., Fernandez, P., Frissen, I., & Guastavino, C. (2021). Influence of sound level on diners' perceptions and behavior in a montreal restaurant. *Applied Acoustics*, *174*, 107772. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107772>
- Tepe, V., Papesch, M., Russell, S., Lewis, M. S., Pryor, N., & Guillory, L. (2020). Acquired Central Auditory Processing Disorder in Service Members and Veterans. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research: JSLHR*, *63*(3), 834–857. https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-19-00293
- Turunen-Rindel, I. (2018, April 15). Revision of acoustic and vibration classification standards in Norway. *BNAM 2018. Baltic-Nordic Acoustic Meeting*, Reykjavik, Iceland.
- Turunen-Rindel, I., & Brynn, R. (2014). Norwegian acoustic building criteria and socio-acoustic study on accessibility for all. *Universal Design 2014 : Three Days of Creativity and Diversity*, 253–258. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-403-9-253>
- Tyler, R. S., Pienkowski, M., Roncancio, E. R., Jun, H. J., Brozoski, T., Dauman, N., Coelho, C. B., Andersson, G., Keiner, A. J., Cacace, A. T., Martin, N., & Moore, B. C. J. (2014). A Review of Hyperacusis and Future Directions: Part I. Definitions and Manifestations. *American Journal of Audiology*, *23*(4), 402–419. https://doi.org/10.1044/2014_AJA-14-0010
- Vitoratou, S., Hayes, C., Ugluk-Marucha, N., Pearson, O., Graham, T., & Gregory, J. (2023). Misophonia in the UK: Prevalence and norms from the S-Five in a UK representative sample. *PLOS ONE*, *18*(3), e0282777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282777>
- Wagener, K. C., Vormann, M., Latzel, M., & Müller, H. E. (2018). Effect of Hearing Aid Directionality and Remote Microphone on Speech Intelligibility in Complex Listening Situations. *Trends in Hearing*, *22*, 2331216518804945. <https://doi.org/10.1177/2331216518804945>
- WHO. (2021, March 2). *WHO: 1 in 4 people projected to have hearing problems by 2050*. <https://www.who.int/news/item/02-03-2021-who-1-in-4-people-projected-to-have-hearing-problems-by-2050>
- World Health Organization. (2001). International classification of functioning, disability and health: ICF. *Classification Internationale Du Fonctionnement, Du Handicap et de La Santé : CIF*. WHO IRIS. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42407>

World Health Organization. (2011). *Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe*. World Health Organization. Regional Office for Europe.